

**RUTA PARA EL PROCESO DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN DEL  
1,3PDO**

**FABIO ANDRÉS QUITO TORRES**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERIA  
TECNOLOGIA EN GESTIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES  
BOGOTÀ  
2019**

**RUTA PARA EL PROCESO DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN DEL  
1,3PDO**

**ESTUDIANTE**

**FABIO ANDRÉS QUITO TORRES**

**DIRECTORA**

**MSC. ING. ADRIANA SUESCA DÌAZ**

**PROYECTO PRESENTADO PARA OBTENER EL TITULO DE TECNOLOGO  
EN GESTIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD ECCI**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**TECNOLOGIA EN GESTIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**BOGOTÀ**

**2019**

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	8
3. JUSTIFICACIÓN .....	9
4. OBJETIVOS .....	10
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	10
5. HIPÓTESIS .....	11
6. MARCO TEORICO.....	12
6.1. 1,3 PROPANODIOL .....	12
6.2. OPERACIONES UNITARIAS DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN .....	13
a. DESTILACIÓN.....	13
b. EVAPORACIÓN .....	14
c. ABSORCIÓN .....	14
d. EQUILIBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO.....	15
6.3. PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE 1,3 PDO .....	15
7. DISEÑO METODOLOGICO.....	17
7.1. Revisión bibliográfica.....	17
7.2. Gráfico de barras .....	17
7.3. Análisis de mercado .....	17
7.4. Balance de materia.....	18
8. CRONOGRAMA.....	20
9. RESULTADOS .....	21
9.2.1. Diagrama de flujo .....	35
9.2.1. Diagrama de flujo con ATPS .....	39
9.2.2. Comparación de las dos cadenas de producción .....	44
9.3 Análisis del mercado del 1,3 PDO .....	45
9.3.1 Usos del PDO.....	45
9.3.2 Información sobre importación y exportacion del 1,3PDO.....	46
9.3.3 Mercado colombiano de los subproductos del 1,3 PDO.....	54
10. CONCLUSIONES .....	64
11. RECOMENDACIONES .....	66
12. BIBLIOGRAFIA .....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. Información técnica del 1,3-PD [2].	12
Figura. 2. Relación de las propiedades fisicoquímicas presentes en el compuesto [2].	13
Figura. 3. Ruta de posibles productos obtenidos a través de glicerol [3].	16
Figura 4. Representación del balance de materia en un proceso	18
Figura 6. Representación del proceso ATPS [25].	25
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso para la producción de 1,3-PD [28].	29
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso sugerido para la producción de 1,3-PD con doble destilación.	34
Figura 9. Cálculos para el proceso de fermentación.	35
Figura 10. Cálculos para el proceso de filtración.	36
Figura 11. Cálculos para los dos primeros evaporadores.	37
Figura 12. Cálculos para el tercer evaporador.	37
Figura 13. Cálculos para el proceso de adsorción.	38
Figura 14. Cálculos para la destilación inicial.	39
Figura 15. Cálculos para la destilación final.	39
Figura 16. Cálculos para el proceso de fermentación.	40
Figura 17. Cálculos para el proceso de filtración.	40
Figura 18. Cálculos para el proceso ATPS	41
Figura 19. Cálculos para proceso de adsorción y primera destilación.	43
Figura 20. Cálculos para proceso destilación y resultado de la cadena de producción.	43
Figura 21. Comparativo de resultados al final de los ejercicios.	44
Figura 22. Dinámica anual de importaciones [40].	46
Figura 23. Dinámica anual de exportaciones PDO [40].	47
Figura 24. Comportamiento de exportaciones del mercado colombiano para el compuesto glicerina, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].	48
Figura 25. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para el compuesto glicerina, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].	49
Figura 26. Tamaño del mercado por regiones, periodo 2010 - 2015. Información obtenida de [41].	50
Figura 27. Tamaño del mercado por regiones, periodo 2012 - 2021. Información obtenida de [41].	50
Figura 28. Tamaño del mercado segmentado por producto, periodo 2012 - 2021. Información obtenida de [41].	51
Figura 29. Participación por regiones fabricantes de PTT, periodo 2012 - 2021. Información obtenida de [41].	52
Figura 30. Mayores productores de PDO según su capacidad. Tomado de referencia [41].	53
Figura 31. Mayores productores de PDO según precio ofertado. Tomado de referencia [41].	53

Figura 32. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria cosmética, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40] .....	54
Figura 33. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria cosmética, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40] .....	55
Figura 34. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de detergentes, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40] .....	56
Figura 35. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de detergentes, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40] .....	56
Figura 36. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de alimentos procesados, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].....	57
Figura 37. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de alimentos procesados, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].....	58
Figura 38. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria farmacéutica, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]..	58
Figura 39. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria farmacéutica, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]..	59
Figura 40. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria textil, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].....	60
Figura 41. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria textil, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].....	61
Figura 42. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de pinturas, barnices y revestimientos, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].....	61
Figura 43. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de pinturas, barnices y revestimientos, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].....	62

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Figura adaptada de [3].	26
Tabla 2. Figura adaptada de [3].	26
Tabla 3. Figura adaptada de [3].	27
Tabla 4. Figura adaptada de [26].	27
Tabla 5. Figura adaptada de [26].	28
Tabla 6. Figura adaptada de [27].	28
Tabla 7. Participación del catalizador en la selectividad de los productos por reacción. Figura adaptada de [29].	29
Tabla 8. Comportamiento de exportaciones del mercado colombiano para el compuesto glicerina, periodo 2010 - 2019. Figura adaptada de [38].	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 9. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para el compuesto glicerina, periodo 2010 - 2019. Figura adaptada de [38].	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 10. Tamaño del mercado por regiones, periodo 2010 - 2015. Figura adaptada de [39].	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 11. Tamaño del mercado por regiones, periodo 2012 - 2021. Figura adaptada de [39].	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 12. Tamaño del mercado segmentado por producto, periodo 2012 - 2021. Figura adaptada de [39].	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 13. Participación por regiones fabricantes de PTT, periodo 2012 - 2021. Figura adaptada de [39].	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 14. Producción de PDO de acuerdo a la tecnología usada. Figura adaptada de [39].	52

## 1. INTRODUCCIÓN

Mediante este trabajo se busca realizar un análisis de los posibles procedimientos alternativos para la obtención del 1,3-propanodiol (1,3-PD), que ofrezcan mayor eficiencia y rentabilidad. Lo anterior tiene como fundamento, el tratamiento del residuo en exceso de la producción de biodiesel, el compuesto conocido como glicerol.

El correcto tratamiento de este compuesto permite obtener un producto de alto valor agregado, sin embargo, la producción del 1,3-PD resulta bastante costosa, por tanto, la cadena de elaboración requiere ciertos cambios y/o adiciones que permitan la obtención del producto en sus concentraciones ideales ajustadas a los resultados económicos esperados.

Así mismo, se tomará en cuenta aquellos residuos que se obtengan al final de cada operación para ser reutilizados y poder brindar un proceso amigable con el planeta.

Finalmente es necesario destacar los posibles usos en las diferentes industrias de este compuesto, lo anterior teniendo en cuenta las características que ofrece este producto y como puede actuar bien sea de adición o complemento.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a los análisis presentados por diferentes proyectos de investigación en busca de encontrar alternativas a los combustibles fósiles, se logró identificar ciertas opciones que se hacen importantes debido a su origen y producción. Hablamos específicamente del biodiesel, dicho combustible puede ser extraído de aceite vegetal o de grasas animales, por supuesto después de pasar por diferentes tipos de proceso. Esta alternativa se ha hecho importante en ciertos países, ya que no todos cuentan con los requisitos necesarios para producirlo, tales como los campos o las plantas de producción.

Si bien es una alternativa importante en cuanto a combustibles se refiere, al producirlo se obtiene un residuo llamado glicerol, dicho compuesto ofrece diversas características que pueden ser aprovechadas por ciertos tipos de industria en específico. Uno de los productos derivados del glicerol resulta ser el 1,3- propanodiol (1,3-PDO), el cual, de acuerdo a su composición ofrece diversas alternativas de ser complemento, adición y producto de alto valor agregado [1]. Sin embargo, actualmente los distintos procesos por los que se puede obtener resultan muy costosos y poco rentables para la industria. Lo anterior en cuanto a la bioseparación se refiere, la cual se hace necesaria para obtener el producto final.

De acuerdo a esta última afirmación se hace importante indagar si existen alternativas para obtener el 1,3- propanodiol de manera que pueda ser rentable, procurando optimizar los recursos inmersos dentro de la cadena de producción, que permitan obtener un producto final con las concentraciones y características requeridas por las diferentes industrias.



### 3. JUSTIFICACIÓN

En el planteamiento de una biorefinería del aceite de palma, se tiene como proceso principal la obtención de biodiesel, del cual se obtiene como subproducto la glicerina o glicerol, un compuesto usado en la industria de los jabones y cosméticos, que actualmente está sobre producido. Una alternativa viable es utilizar el glicerol como fuente de carbono para la producción biotecnológica de solventes como el 1,3 propanodiol (1,3PDO). La etapa fermentativa ha sido ampliamente estudiada, y se han encontrado rendimientos apropiados para realizar la operación. Adicionalmente a esta etapa se requiere encontrar una estrategia para mejorar el sistema de separación y purificación.

El análisis de las posibles rutas que permitan la obtención de los resultados esperados al final del ejercicio químico, establecen la base para realizar este tipo de indagación. Si bien, la elaboración de biocombustibles es necesaria para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, su producción resulta en un residuo en exceso.

Este compuesto conocido como glicerol puede convertirse en un producto con características específicas requeridas por las diferentes industrias alrededor del mundo. Sin embargo, su cadena de producción requiere de operaciones adicionales, que permitan obtener mayor eficiencia y rentabilidad.

Actualmente existen diferentes métodos de separación y purificación del 1,3-PDO como destilación extractiva/reactiva, evaporación, destilación, tamizado molecular, pervaporación, adsorción, extracción líquido-líquido, y extracción con sistema acuoso de dos fases. Debido a que el medio de cultivo donde se encuentra contenido el PDO tiene una alta concentración de agua, la operación de evaporación se presenta como la alternativa más eficiente y puede ser configurada con multietapas. Se propone entonces los diferentes procesos de separación y purificación el proceso de separación y purificación del 1,3PDO.

Este proyecto se realizará como un apoyo para la realización de la simulación del proceso en AspenHysys, que fue realizada dentro del marco del proyecto "Optimización multiobjetivo del proceso de producción de 1,3 PDO utilizando la tecnología ATPE", aprobado por la convocatoria 04 de la Universidad, perteneciente a la línea de investigación Materiales y Procesos del grupo de investigación GIDMyM.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar una ruta para establecer el proceso de separación y purificación del 1,3-propanodiol

### **4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar los diferentes procesos de separación y purificación existentes según su grado de maduración y rendimientos.
- Establecer un proceso de separación y purificación de 1,3 PDO, de acuerdo a lo encontrado en la literatura, planteando el diagrama de proceso de separación y purificación del 1,3 PDO, teniendo en cuenta el balance de materia.
- Realizar un análisis sobre el posible mercado del 1,3 PDO en Colombia

## 5. HIPÓTESIS

¿Qué alternativa brinda una solución técnica en el proceso de separación y purificación del 1,3 propanodiol?

## 6. MARCO TEORICO

### 6.1. 1,3 PROPANODIOL

El tema central de estudio de este trabajo está enfocado en el compuesto 1,3-propanodiol, por esta razón es preciso dar a conocer algunas de las características de este monómero, así mismo los métodos existentes para realizar la purificación y extracción del mismo.

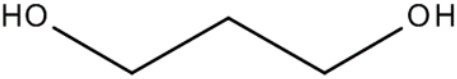
Información del producto	
Numero de CAS	504-63-2
Número CE	207-997-3
Fórmula Hill	C3H8O2
Fórmula química	HO(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH
Masa Molecular	76,09 g/mol
Imagen	

Figura. 1. Información técnica del 1,3-PD [2].

Se emplea para producir polímeros tipo politrimetilentereftalatos (PTT) reconocidos por sus excelentes propiedades de elasticidad. Los atributos ideales del PTT se conocen desde 1940 pero los altos costos de producción dificultaron su entrada al mercado. A comienzos de la década del noventa se desarrolló una ruta biotecnológica basada en procesos fermentativos a partir del glicerol que hizo posible la producción de PTT para aplicaciones de alto valor agregado. Estos procesos atrajeron la atención de diversas empresas para desarrollar fibras con propiedades ideales como la suavidad, adaptación, facilidad de tinción y resistencia, que han superado fácilmente al nylon en el desarrollo de cierres, sellos, conectores, cubiertas de extrusión y empaques tipo blister. El impacto del desarrollo de aplicaciones y procesos relacionados al 1,3 PD se refleja en las 499 patentes generadas entre 1970 y el 2006, 51 de las cuales se relacionan con su producción por vías biotecnológicas.

Adicional a su uso para el PTT, el 1,3 PD puede reemplazar a los glicoles tradicionales en la fabricación de otros sistemas poliméricos, mejorando la estabilidad térmica e hidrolítica sin afectar otras propiedades claves. Entre sus aplicaciones más frecuentes está el diseño de refrigerantes y tintas acuosas. La amplia variedad de aplicaciones ha permitido estimar que para el año 2020 el 1,3 PDO tendrá un mercado potencial de 230.000 toneladas métricas por año. [3]

Este compuesto orgánico bifuncional valioso, por mucho tiempo sólo ha sido usado como un solvente y en la producción de dioxanos. Ahora es muy llamativo usarlo como monómero para la polimerización por policondensación de poliésteres, poliuretanos, poliésteres y polietilenos, en especial el tereftalato de politrimetileno (PTT), que por sus propiedades no sólo ofrecerá biodegradabilidad, sino que los plásticos derivados de este monómero además presentan mejores propiedades al ser más livianos y estables a los rayos U.V, que los generados por otros dioles, como es el caso del 1,2-propanodiol, 2,3-butanodiol y etilenglicol, por lo que resultan polímeros atractivos para la industria cosmética. [1]

A continuación, se relacionan sus propiedades fisicoquímicas:

<b>Información fisicoquímica</b>	
<b>Punto de ebullición</b>	213-215 °C (1013 hPa)
<b>Densidad</b>	1.05 g/cm <sup>3</sup> (20°C)
<b>Límite de explosión</b>	2.5 % (V)
<b>Temperatura de ignición</b>	405 °C
<b>Punto de fusión</b>	- 32 °C
<b>Valor de pH</b>	4.5 – 7.0 (100 g/l , H <sub>2</sub> O, 20°C)
<b>Presión de vapor</b>	<0.1 hPa (20 °C)
<b>Solubilidad</b>	100 g/l

Figura. 2. Relación de las propiedades fisicoquímicas presentes en el compuesto [2].

Si bien se ha podido evidenciar las ventajas que produce este compuesto y las causas del porque se presenta como una opción a tener en cuenta para las diferentes industrias, es necesario mencionar y ofrecer una breve descripción de los procesos de separación y purificación presentes en la producción del 1,3 – propanodiol. Lo anterior debido a la importancia que toman estas dos fases presentes en la cadena de producción del PDO.

## **6.2. OPERACIONES UNITARIAS DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN**

### **a. DESTILACIÓN**

Una definición técnica para esta operación unitaria es la siguiente: “La operación unitaria de destilación es un método que se usa para separar los componentes de una solución líquida, el cual depende de la distribución de estos componentes entre una fase de vapor y una fase líquida. Ambos componentes están presentes en las dos fases. La fase de vapor se origina de la fase líquida por vaporización en el punto de ebullición” [4].

Cuando se habla de destilación es necesario tener en cuenta las dos fases presentes que la componen, tales estados son: la vaporización o transformación de líquido en vapor y la condensación o transformación del vapor en líquido.

La separación y purificación de líquidos por destilación constituye una de las principales técnicas para purificar líquidos volátiles. La destilación hace uso de la diferencia entre los puntos de ebullición de las sustancias que constituyen una mezcla. Las dos fases en una destilación son: la vaporización o transformación del líquido en vapor y la condensación o transformación del vapor en líquido. Existen varias clases de destilación, la elección en cada caso se hace de acuerdo con las propiedades del líquido que se pretenda purificar y de las impurezas que lo contaminan [5].

Existe cierta condición necesaria para utilizar este tipo de operación en una cadena de producción, depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases [6].

En palabras más simples la destilación se aplicará cuando sea necesario la separación de compuestos que se perciben como altamente volátiles.

## **b. EVAPORACIÓN**

Otro de las operaciones que debe ser tenida en cuenta es aquella conocida como evaporación, como definición se encuentra la siguiente: En la evaporación se elimina el vapor formado por ebullición de una solución líquida de la que se obtiene una solución más concentrada. En la gran mayoría de los casos, la operación unitaria de evaporación se refiere a la eliminación de agua de una solución acuosa [4].

Cabe resaltar que este tipo de operación puede darse bien sea en lotes o de manera continua. Refiere a un proceso de una sola etapa, se utiliza para obtener la separación de un líquido y un sólido, lo anterior se da cuando se lleva el líquido a su punto de ebullición y se mantiene hasta obtener el cambio de fase. Adicionalmente el vapor obtenido puede ser reutilizado en la cadena de producción presente, otorgando procesos más eficientes y amigables con el medio ambiente.

## **c. ABSORCIÓN**

La siguiente operación involucra dos estados de la materia, más específicamente la relación que existe entre un gas y un líquido, la definición técnica de esta operación unitaria es la siguiente: La absorción de gases es una operación en la cual una mezcla gaseosa se pone en contacto con un líquido, a fin de disolver de manera selectiva uno o más componentes del gas y de obtener una solución de éstos en el líquido [6].

Este proceso se hace necesario cuando se requiere la separación de componentes que se encuentran inmersos en un gas, lo anterior se hace en presencia de un líquido obteniendo como resultado final una solución.

#### **d. EQUILIBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO**

Es una operación que se presenta como alternativa a una destilación o evaporación, este proceso se constituye de dos fases químicamente diferentes; por consiguiente se realiza una separación de los componentes de acuerdo con las propiedades presentes en los compuestos empleados [4].

También se conoce como extracción con disolventes, en esencia es la separación de los componentes de una solución líquida por contacto con otro líquido insoluble. Como se mencionaba anteriormente es una alternativa a otros procesos, adicionalmente puede emplearse como sustituto de métodos químicos lo que conlleva a una reducción en los costos al no ser necesario la eliminación de subproductos. Cabe anotar que este tipo de ejercicio químico supone el uso de sistemas compuestos por tres sustancias [6].

### **6.3. PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE 1,3 PDO**

El interés por producir compuestos que permitan obtener mejoras tanto en el proceso como en los costos ha impulsado las investigaciones alrededor del mundo. Luego, la situación que atraviesa el planeta con los efectos de las emisiones de gases por el uso excesivo de combustibles fósiles, además del derroche de los recursos naturales conllevó a explorar diversas alternativas producidas a partir de desechos o subproductos de origen agrícola [7].

Uno de los compuestos de alto valor agregado es el 1,3- PDO su producción biotecnológica implica el uso de procesos y recursos que permitan el aprovechamiento de manera eficiente la energía empleada durante el proceso, de allí la fermentación se ve inmersa en la producción del 1,3 PDO. La fermentación refiere al uso de microorganismos que aprovechen la composición de ciertos compuestos orgánicos, el uso de organismos naturales para producir el monómero ha requerido diversos estudios lo cuales han permitido corroborar que son los adecuados para el proceso. Sin embargo, se sugiere el uso de compuestos anaeróbicos facultativos ya que no requieren de oxígeno [8].

En la figura 3, se evidencia la ruta metabólica en la cual se produce 1,3-propanodiol a partir de glicerol, junto con los demás subproductos.

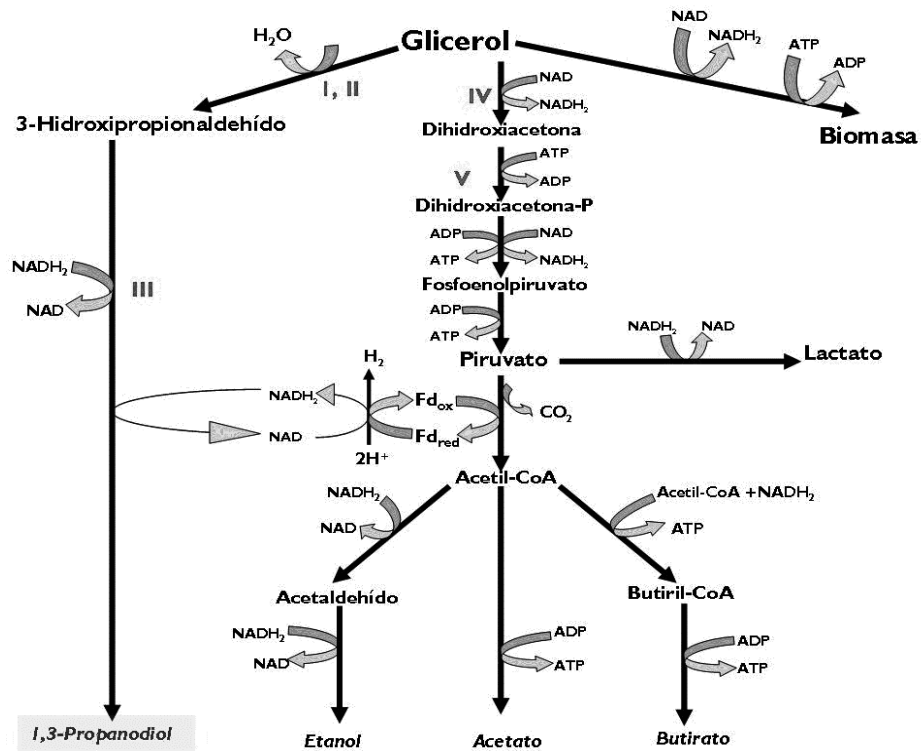


Figura. 3. Ruta de posibles productos obtenidos a través de glicerol [3].

El uso de microorganismos para producir 1,3 PDO ha sido muy bien estudiado con bacterias del género *Klebsiella*, *Clostridia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Lactobacilli*, de las cuales algunas tienen la capacidad de utilizar glicerol como fuente de carbono [8]. Las condiciones en las que se genera el solvente son ideales ya que el crecimiento de microorganismos no requiere altas presiones ni temperaturas para desarrollarse, usando valores entre 30-37°C y 1 atm, en procesos fermentativos de 2-4 días.

El caldo de fermentación obtenido resultante de la bioreacción contiene no solo 1,3 PDO sino que también está compuesto de agua, glicerol residual, glucosa y subproductos como acetato, lactato, succinato, proteínas, polisacáridos y sales residuales del medio de cultivo lo que hace que el proceso de separación y purificación sea un reto, el cual actualmente está siendo estudiado para mejorar su eficiencia técnica, económica y energética [8].



## **7. DISEÑO METODOLOGICO**

La metodología que se propone para el desarrollo y alcance de cada objetivo, se describe a continuación:

### **7.1. Revisión bibliográfica**

Consta de tres grandes objetivos: investigación documental, lectura y registro y la concluye con la elaboración de un texto escrito. Por tal razón es un paso obligado para el desarrollo del ejercicio investigativo. Los proyectos con enfoque investigativo e interpretativo deben estar solventados en información precisa y veraz, aquellas fuentes corresponden a los documentos que permitan establecer precedentes, comparativos y estructurar un análisis si acaso se requiere.

Sin embargo, es preciso aclarar que la sola recolección de información no es suficiente; se hace indispensable que el autor del texto cuente con competencias que permitan sintetizar en ideas claras y coherentes la información encontrada, obteniendo al final del ejercicio un documento con la estructura adecuada. Lo anterior es conocido como revisión bibliográfica, la siguiente definición permite ilustrar el concepto: “Es un texto escrito que tiene como propósito presentar una síntesis de las lecturas realizadas durante la fase de investigación documental, seguida de unas conclusiones o una discusión.” [9].

### **7.2. Gráfico de barras**

Es una herramienta que permite realizar una interpretación de los datos recolectados de manera gráfica, acompañada de pequeños apartados estadísticos que hacen de la información un conjunto de datos ordenados, de modo que se pueda asignar o establecer un orden de prioridades [10].

### **7.3. Análisis de mercado**

El análisis o estudio de mercado ofrece la posibilidad a las empresas e individuos de obtener conjuntos de datos de cierto producto o servicio, territorio y el comportamiento de la población hacia dicho beneficio. Determina tendencias de la población, permitiendo establecer objetivos claros orientados al alcance de resultados. Adicionalmente se emplea como punto de partida para realizar la toma de decisiones al interior de una organización.

Parte fundamental del análisis de mercado radica en las importaciones y exportaciones que registre el país, base del estudio. Estos datos permiten evidenciar el número de productos que recibe el país, provenientes del extranjero; tales productos no pueden ser producidos dentro del país importador; por tanto, se hace necesario este tipo de intercambio mercantil. Por otra parte, las exportaciones refieren a aquellos productos que salen de la nación, aquellos

productos que son ofrecidos y enviados al extranjero, son productos específicos. El intercambio entre países puede darse bien sea por materia prima y/o productos terminados [11]

Colombia cuenta con un sistema de registro especializado en consolidar la información estadística generada por las diferentes operaciones realizadas en el país, tal departamento es una dependencia directa de la Presidencia de la Republica. Esta dependencia es conocida como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, creado en octubre de 1953 mediante decreto 2666 bajo el gobierno del presidente Gustavo Rojas Pinilla [12].

Por otra parte, se debe tener en cuenta otro órgano importante de la nación colombiana, tal es el Ministerio de Comercio Industria y Turismo MINCIT. A continuación se relaciona la definición encontrada en la página oficial del ministerio, “El Ministerio de Comercio, Industria y Turismo apoya la actividad empresarial, productora de bienes, servicios y tecnología, así como la gestión turística de las regiones del país para mejorar su competitividad y su sostenibilidad e incentivar la generación de mayor valor agregado” [13].

#### 7.4. Balance de materia

La definición técnica para este concepto es la siguiente: “El balance de masa estudia la distribución de todos los materiales empleados en el proceso para obtener productos, subproductos y desechos” [14]. El estudio del que habla el anterior enunciado, se realiza a un sistema o cadena de producción previamente establecida.

Para el desarrollo del estudio se deben tener en cuenta ciertos aspectos relevantes presentes en el trabajo con productos químicos y los distintos tipos de operación que se llevan a cabo para el tratamiento de los mismos. Es fundamental tener en cuenta los estados involucrados en la transformación de la materia, y por consiguiente, todas aquellas variables inmersas en este proceso, tales como: presión, volumen, concentración y temperatura.

El balance de materia refleja a cada uno de los actores del proceso químico o bioquímico dentro de un proceso, este se puede representar mediante la figura 4 [15]. Generalmente el balance se presenta como un inventario sobre una sustancia en un sistema y puede escribirse de forma general como se presenta en la ecuación 1 [16].

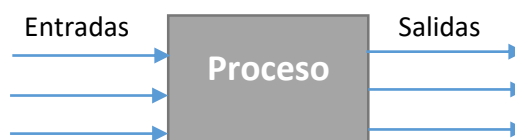


Figura 4. Representación del balance de materia en un proceso

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \quad (1)$$

Este balance se realiza para cada sustancia involucrada dentro del proceso de manera independiente, aunque también se puede realizar un balance general el cual se utiliza para tener un balance global del proceso. El balance de materia se realiza en cantidad de materia utilizando unidades como kilogramo (kg), gramo (g) ó libras (lb) en un balance integral; o se puede utilizar kg/s , kg/h , lb/min, ... etc, cuando se realiza un balance diferencial [15].

Cuando el sistema es reactivo el balance de una sustancia se representa por la ecuación 2, donde se debe tener en cuenta cuanto se consume o se genera de la sustancia en la reacción dependiendo de si es un reactivo o un producto.

$$\text{Entrada} + \text{Producción} = \text{Salida} + \text{Consumo} \quad (2)$$

Los balances pueden plantearse para sistemas estacionarios y no estacionarios. Un sistema estacionario es aquel en el que las variables del proceso no cambian en el tiempo y no estacionario, cuando alguna de las variables cambia en el tiempo. El balance del sistema 1 y 2 representa un balance sin reacción química y con reacción química estacionario [15].

## 8. CRONOGRAMA

CRONOGRAMA															
Actividades	Semanas														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Realizar una revisión bibliográfica de los diferentes procesos de separación y purificación del 1,3PDO, realizando búsqueda en google academics.															
Realizar un diagrama de barras con los resultados obtenidos de la vigilancia tecnológica.															
Realizar el diagrama de flujo de proceso con el respectivo balance de materia de las materias primas y cantidad de producto obtenido en un proceso continuo.															
Calcular el costo del proceso de producción, teniendo en cuenta costos de materias primas y costo de equipos.															
Recopilar información sobre los usos del 1,3PDO															
Recopilar información sobre las importaciones y exportaciones de propanodiolos en Colombia															
Recopilar información sobre las importaciones y exportaciones de propanodiolos en el mundo															
Analizar el tamaño del mercado de PDO en Colombia y las estrategias para una posible expansión del mismo basándose en el mercado mundial de PDO.															
Composicion del texto															

## 9. RESULTADOS

### 9.1. Revisión bibliográfica de los procesos de separación y purificación del 1,3 PDO

El compuesto conocido como 1,3-propanodiol tiene características importantes presentes en su composición, siendo incoloro e inodoro tiene baja toxicidad no es inflamable y es miscible en agua, alcoholes y éteres [17]. La creación de gran interés de las diferentes industrias, se debe a sus especificaciones, en el lenguaje técnico se conoce como monómero en la producción de distintos polímeros. Los monómeros son moléculas capaces de formar cadenas lineales o de manera ramificada de dos unidades en adelante, lo que lo convierte en un producto versátil para la síntesis de ciertos productos específicos especialmente el desarrollo de PTT o politrimetilen.tereftalato.

Este tipo de características permiten despertar el interés de diversas industrias tales como empresas químicas, farmacéuticas y se contempla también productoras de alimentos. Además, Los polímeros basados en 1,3-PD exhiben muchas propiedades especiales tales como buena estabilidad a la luz, elasticidad mejorada y capacidad de ser degradados por enzimas y microorganismos [17].

Ahora bien, su materia prima principal es el compuesto glicerol obtenido del proceso de producción del biodiesel, el cual durante la transesterificación, por cada 100 kg de biodiesel generados también se producen aproximadamente 10.8 kg de glicerol [18]. Sin embargo, los altos costos de producción del PDO han generado una sobreoferta de su materia prima ya que, a pesar de los diferentes estudios realizados no se ha podido determinar una cadena de producción que permita obtener dicho compuesto con las características deseadas a un costo asequible para ofrecerlo al mercado.

Uno de los problemas que limitan la rentabilidad de producción por el método biológico es la inhibición generada por el solvente, ya que se limita el crecimiento del microorganismo durante la fermentación, conllevando a la disminución de los rendimientos y características obtenidas al final del ejercicio experimental. Una de las alternativas que se sugiere podría solucionar este problema para por la sobreexpresión de proteínas de choque térmico; puesto que contribuyen en gran manera a que las enzimas y proteínas se replieguen, lo que se busca es generar un efecto protector frente al solvente [19].

En la siguiente figura se muestra la cadena de producción establecida para la obtención del compuesto:

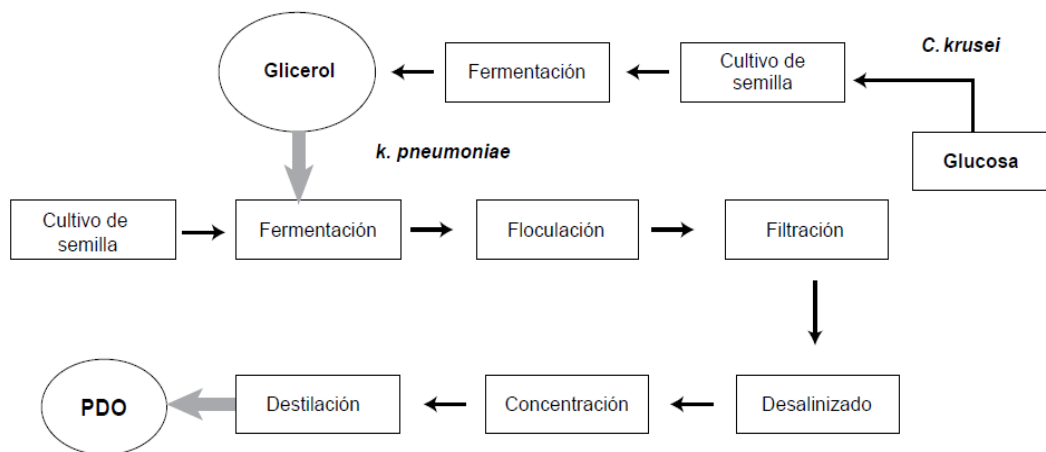


Figura 5. Proceso de fermentación en dos fases para la producción de 1,3-PDO [20].

Ahora bien, la cadena de producción permite clasificar los procesos inmersos en la creación del compuesto 1,3-PDO. Sin embargo, dichas actividades comprenden toda una ciencia que permite obtener resultados que conlleven a la obtención del producto de manera que no genere costos elevados y finalmente sea lo menos tóxico posible. Para esto se hace necesario definir lo siguiente:

La exploración realizada por el Grupo de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, determinó sus investigaciones a 4 diferentes tipos de compuesto, para el caso que compete a este argumento, se enfocará la atención en la línea de los microorganismos solvento génicos

De acuerdo con las investigaciones realizadas fue necesario recolectar información de suelos provenientes de distintos ambientes ecológicos, de los cuales se obtuvieron 13 muestras que pudieron ser identificadas del género *Clostridium* (base para la creación del compuesto 1,3-PDO), los análisis encontraron en estas cepas, alternativas de uso para la fabricación de solventes de interés comercial [21].

La identificación y selección final de los compuestos que podrían tomarse como alternativa para producir solventes de interés comercial, orientaron los siguientes pasos de la exploración biotecnológica al análisis más profundo del compuesto base de este escrito.

En la actualidad la compañía DuPont contempla la mayor parte del mercado del 1,3-PDO produciéndolo de dos maneras, por la vía química la cual requiere el uso de hidrólisis de la acroleína e hidrogenación usando como sustrato óxido de etileno; lo anterior derivado directamente de petróleo. Y por otra parte, se obtiene mediante fermentación de manera natural a partir de glicerol.

De acuerdo a lo enunciado anteriormente a continuación, se dará una breve explicación de cada proceso inmerso dentro de la cadena de producción del 1,3-PDO.

## **Fermentación**

Se trata de un proceso que requiere la ruptura de la molécula de glucosa en otras palabras se conoce como un proceso de oxidación incompleta el cual no requiere oxígeno y que permite obtener al final del ejercicio una sustancia orgánica, dependiendo del resultado final se determinara el tipo de fermentación. Es un proceso de tipo catabólico, es decir, de transformación de moléculas complejas a moléculas sencillas y generación de energía química en forma de ATP. Como se mencionó anteriormente, no requiere oxígeno lo que lo hace un proceso anaeróbico en el cual se ven involucrados microorganismos como bacterias o levaduras; el tipo de fermentación involucrado en la producción de PDO es entonces conocido como:

## **Filtración**

Es un proceso que se realiza para la extracción de sólidos o sustancias ajenas al líquido deseado para la continuación del proceso. La separación se realiza en presencia bien sea de un líquido o gases mediante la interposición de un medio permeable capaz de retener partículas sólidas que permitan únicamente el paso de líquidos.

En la práctica se utiliza papel filtro que hace las veces de tamiz, dicha herramienta tiene orificios muy pequeños que solo permiten el paso del líquido; el líquido recolectado al final del ejercicio se le conoce como filtrado y los compuestos atrapados en el papel filtro se les llama residuo.

Como información adicional y siendo que se trata de un proceso de producción industrial, la filtración se puede acelerar con el vacío y también con la presión. Al realizado al vacío, se emplea un embudo especial llamado embudo Buchner y un matraz Kitasato por donde se hace el vacío; Dicho vacío se puede producir mediante una trompa especial por donde pasa agua a cierta velocidad o con bombas de vacío que ahorran agua, pero significan un coste superior. [22]

## **Desalinizado**

Básicamente, consiste en retirar aquellas sales y otras impurezas presentes en el líquido mediante diferentes tipos de técnica según sea las especificaciones y/o recursos con los que se cuenta. Puede ser realizada por desalinización por membrana, por adsorción, térmica o por osmosis inversa.

## **Destilación**

Finalizando el proceso de elaboración actual de la cadena de producción de 1,3-PDO se encuentra la destilación, la cual se refiere a desarrollar un último filtro de separación de diferentes líquidos o sólidos que se encuentren disueltos en líquidos o incluso gases de una mezcla, lo anterior se realiza teniendo en cuenta los puntos de ebullición de cada sustancia involucrada en el proceso. Los puntos de ebullición son una propiedad de tipo inversa, por lo tanto, es indiferente la cantidad de masa o volumen de la sustancia ya que no va a cambiar.

Existen diferentes tipos de destilación sin embargo para el caso que importa al presente escrito se describirán solo la destilación simple y destilación al vacío.

Destilación simple. Se realiza mediante la utilización de un alambique donde se colocará la mezcla que se quiere destilar, la cual recibirá una fuente de calor; adicionalmente se involucra un condensador donde se encontrarán los vapores generados en la reacción, los cuales se verán inmersos en un proceso final de enfriamiento que permitirá obtener en un nuevo recipiente el producto líquido deseado.

Destilación al vacío. Es un complemento de la destilación realizada a presión atmosférica y que no es vaporizada, saliendo por la parte baja de la columna de destilación. Al final de este proceso se puede obtener: Gas Oil ligero, Gas Oil pesado o Residuo de vacío. [23]

### **Adsorción**

Proceso de gran importancia para las industrias debido a sus diferentes aplicaciones, en esencia se trata de un proceso fisicoquímico donde un material bien sea sólido o líquido atrae a la superficie y retiene bien sea vapores, gases, líquidos o cuerpos presentes. En este proceso se distinguen dos términos, la sustancia que resulta adsorbida se le llama adsorbato y el material que retiene se denomina adsorbente; Este proceso es diferente de la absorción, donde implica acumulación de todo el componente absorbido en el total del volumen del adsorbente y no solo en su superficie.

Se distinguen dos tipos de adsorción, la adsorción física y la adsorción química. Su diferencia radica en el tipo de interacciones generadas entre el adsorbente y el adsorbato. [24]

### **ATPS**

Conocidos como sistemas de dos fases acuosas, este tipo de sistema se forma cuando se mezclan dos polímeros inmiscibles o un polímero y una sal en alta presencia de agua. Cuando se alcanza el equilibrio el sistema se separa en dos fases cada una enriquecida en uno de los componentes. La descripción de este tipo de sistemas se representa en la siguiente figura “En este diagrama, la curva binodial marca el límite sobre el cual se forman las dos fases en los sistemas. De esta forma, sobre la curva existen dos fases y bajo ella sólo hay una”.



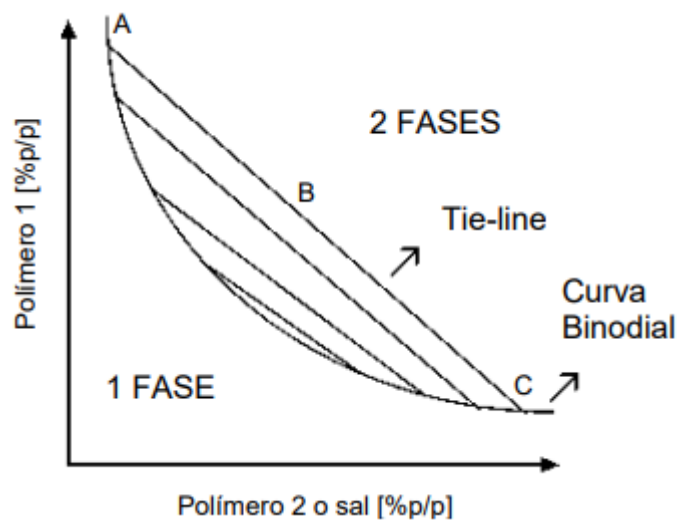


Figura 6. Representación del proceso ATPS [25].

## Presentación de distintos artículos para determinar la producción en concentración de 1,3-PDO

### Artículo 1 [3]

Ahora bien, después de ofrecer una breve descripción de los procesos inmersos en la cadena de producción, a continuación, se presentarán datos consolidados de distintas fuentes que permitirán sentar una base teniendo en cuenta el método utilizado, el porcentaje de rendimiento y las condiciones del tratamiento para obtener 1,3-PDO.

A razón del impedimento del crecimiento del microorganismo por el solvente que se use en el proceso, un grupo de investigación de la Universidad Nacional de Colombia evaluó 13 cepas nativas: IBUN 13A, IBUN 18A, IBUN 18Q, IBUN 18S, IBUN 22A, IBUN 62B, IBUN 62F, IBUN 64A, IBUN 95B, IBUN 125C, IBUN 137K, IBUN 140B, IBUN 158B, las cuales fueron aisladas por su producción de solventes y caracterizadas molecularmente. El ejercicio experimental se realizó en los medios G1A y G2, donde se usó glicerol como fuente de carbono al 50% y glicerol industrial al 68% para la siguiente composición:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.8 g, extracto de levadura 3 g, biotina 0,4 mg y PABA 0,3 mg, y 4,0 mL del "stock" de minerales preparado con la siguiente composición por litro:  $\text{ZnCl}_2$  70 mg,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  100 mg,  $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  200 mg,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  60 mg,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  20 mg,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  25 mg,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  35 mg, HCl 37% 0.9 mL, de acuerdo a lo descrito por Cárdenas D. *et al* [3]. El objetivo del ejercicio anterior fue determinar cuál cepa era la mejor productora de 1,3-PDO, la siguiente tabla muestra los resultados al final del ejercicio:

Tabla 1. Medios de cultivo. Información adaptada de [3].

Elemento	Medio G1A	Medio G1B
K (g/L)	0,517	0,517
Mn (g/L)	$1,1 \times 10^{-4}$	$6,7 \times 10^{-5}$
Co (g/L)	$1,9 \times 10^{-4}$	$5,4 \times 10^{-5}$
Mo (g/L)	$5,5 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$
B (g/L)	$4,2 \times 10^{-5}$	-(b)
Ni (g/L)	$2,4 \times 10^{-5}$	-
Cu (g/L)	$2,9 \times 10^{-5}$	-
Zn (g/L)	$1,3 \times 10^{-4}$	-
Ca (g/L)	-	$4,1 \times 10^{-4}$
Fe (g/L)	-	$2,0 \times 10^{-4}$
Mg (g/L)	-	$6,42 \times 10^{-5}$
Biotina	0,0004	0,004
PABA	0,0003	0,003
Extracto de levadura	1,8 g	1,8 g

La continuación del experimento pasa por evaluar los rendimientos de sustrato en producto y su productividad volumétrica de las 13 cepas mencionadas anteriormente en los medios seleccionados. El siguiente grafico ilustra los rendimientos obtenidos siendo las cepas IBUN 22A e IBUN 13A las únicas que crecieron en los dos medios.

Tabla 2. Rendimientos. Información adaptada de [3].

Cepa	Experimento 1 – medio G1A		Experimento 2 – medio G1B	
	$Y_{p/s}$ (mol.mol <sup>-1</sup> )	Q (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Y_{p/s}$ (mol.mol <sup>-1</sup> )	Q (g.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )
IBUN 13 A	0,232	0,060	0,951	0,069
IBUN 18 A	0,289	0,043	0,462	0,055
DSM 523	0,255	0,030	0,103	0,001
DSM 2478	0,081	0,015	0,380	0,034

“Los anteriores resultados demuestran que las condiciones ofrecidas por el medio G1B son más favorables para que las cepas nativas asimilen el glicerol y produzcan 1,3-propanodiol” [3].

Pudiendo establecer que cepa presenta el mejor comportamiento en los dos medios, pasa a prueba experimental, dicho informe evidenciara los resultados a partir de 72 horas de fermentación aplicado a la cepa 13A, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3. Rendimientos según sustrato. Información adaptada de [3].

Componente	Glicerol industrial		Glicerol USP	
	Concentración (mmol/L)	Rendimiento molar Yp/s (mol.mol <sup>-1</sup> glicerol consumido)	Concentración (mmol/L)	Rendimiento molar Yp/s (mol.mol <sup>-1</sup> glicerol consumido)
Glicerol inicial	369,204		542,950	
Glicerol final	12,880		295,440	
1,3-propanodiol	72,840	0,204	57,300	0,232
Acido butírico	17,460	0,049	16,340	0,066
Ácido acético	3,550	0,010	0,000	0,000

## Artículo 2 [26]

Para el siguiente caso se tomaron dos cepas identificadas como Clostridium sp. IBUN 158B y la cepa Clostridium Butyricum DSM 2478. Fueron elegidas del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia por sus características, ya que la primera cepa presenta mayor producción de 1,3-PDO y la otra se utilizó como control. Las condiciones de inoculación fueron las siguientes: Se llevó a cabo al 7.5% en viales con 100 ml de medio cultivo RCM.

Pasada la primera etapa, se procede con las fermentaciones que se realizaron por duplicado en un reactor RAF Plus bajo condiciones de anaerobiosis por burbujeo constante con nitrógeno N<sub>2</sub>. La composición del medio utilizado se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4. Medio de cultivo. Información adaptada de [26].

Ingredientes	Concentración
Glicerol (g-l <sup>-1</sup> )	50
Extracto de levadura (g-l <sup>-1</sup> )	2
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g-l <sup>-1</sup> )	4
L- cisteína clorhidrato (g-l <sup>-1</sup> )	0,5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (g-l <sup>-1</sup> )	1
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (g-l <sup>-1</sup> )	1
Biotina (mg-l <sup>-1</sup> )	4
PABA (mg-l <sup>-1</sup> )	3
Composición de minerales	4

La fermentación se llevó a cabo en un periodo de 36 horas y se obtuvieron los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 5. Rendimientos. Información adaptada de [26].

PARAMETRO	CEPA NATIVA	CEPA CONTROL
Glicerol consumido (G/L)	17	19
1,3-PD producido (g/L)	11	10
Y pd/s (mol/mol)	0,78	0,64
Y but/s (mol/mol)	0,04	0,04
Y acet/s (mol/mol)	0,12	0,11

De lo anterior se evidencia, el 1,3-PDO presento mayor concentración a partir de glicerol respecto a al acetato y butirato, un total de 0.78 mol/mol.

### Artículo 3 [27]

El siguiente experimento presenta los resultados del aumento en la eficiencia de la síntesis de 1,3-PDO a partir de glicerol crudo por concentración de biomasa. Para el ejercicio experimental se utilizó la cepa bacteriana, *C. butyricum* DSP1 recolectada del departamento de biotecnología y alimentación microbiológica de la Universidad Poznan, donde se evidencian los datos obtenidas a partir de distintas concentraciones de glicerina en un cultivo de 2 L. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 6. Productividad. Información adaptada de [27].

Concentración de glicerol crudo	20	40	60
Productividad 1,3-PD (g/L/h)	0,53	0,83	1,28

### Artículo 4 [28]

Otro de los experimentos tomados para realizar un análisis de concentración fue realizado en la Universidad Autónoma de Yucatán. Este ejercicio investigativo busco delimitar un diseño para el bioproceso de 1,3-PDO y posteriormente realizar un análisis de rentabilidad a partir de los resultados obtenidos al final del ejercicio, evidenciando que podría ser económicamente rentable siempre y cuando se amplíe el rango de combinaciones de escenarios.

Utilizando el software Super Pro Designer, el autor presenta un modelo del proceso llevado a cabo como ruta alternativa para la obtención del PDO.



La información anterior refleja que se tomaron diferentes muestras con variación en la cantidad del compuesto W, cuando se realiza el proceso de obtención químico se producen cuatro (4) compuestos similares tal como se evidencia en la tabla anterior, el resultante al final del ejercicio fueron los compuestos: 1,3-Propanodiol, 1,2-Propanodiol, 1-Propanol y 2-propanol.

#### **Artículo 6 [30]**

Para el desarrollo de este ejercicio el compuesto involucrado se obtuvo de la colección alemana de microorganismos y cultivos celulares y se utilizaron dos métodos distintos, fermentación y partición de 1,3-PDO en ATPS.

La fermentación se realizó en condiciones anaeróbicas y en condiciones específicas de temperatura, nivel de pH y velocidad de agitación. Como medio de separación se involucró el proceso ATPS (sistema de dos fases acuosas), para iniciar el proceso de partición se agregó 10 ml de un producto orgánico con 10 ml de un caldo saturado de sal. Posteriormente la mezcla se pasó por vórtice y luego se mantuvo a temperatura ambiente durante 10 horas.

Para el desarrollo del diagrama de fase se involucraron sulfato de amonio disuelto en agua desionizada y etanol, este último se agregó gota a gota hasta identificar turbidez en la mezcla lo que indicó la presencia de una segunda fase en la mezcla. De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo concluir que, el sistema ATPS resulta ser un método efectivo para la extracción del monómero, según la descripción del autor, cuanto más fuerte es la polaridad del disolvente mejor es la eficacia de extracción. Adicionalmente, al finalizar las pruebas se establece que el mejor sistema se compone por etanol y sulfato de amonio, permitiendo establecer el sistema de dos fases a costos económicos.

#### **Artículo 7 [31]**

El artículo en cuestión explica distintos sistemas que se han tomado como ruta de separación de compuestos que conlleven a la obtención del 1,3-PDO y otros similares en cuanto a composición se refiere. Informa sobre los altos costos en los que incurren las empresas de este tipo para conseguir un producto de alta calidad con concentraciones significativas, por otra parte, destaca la necesidad de invertir en los departamentos de desarrollo e investigación que les permita seguir innovando en procesos biotecnológicos que presenten mejores resultados.

Este documento habla sobre la implementación de un modelo específico que involucra el sistema ATPS como su principal novedad en la cadena de producción, destacando además un sistema basado en el estudio de cuatro componentes: alcohol, sal, agua y 1,3-PDO. Fue necesario realizar una variedad de combinaciones involucrando las sales y solventes encontrados en los caldos de fermentación, de allí se identificaron las particiones de los complementos que

permitieron obtener resultados favorables. A continuación, se relacionan los químicos trabajados para el desarrollo del ejercicio.

Tabla 8. Lista de químicos utilizados en el desarrollo del trabajo. Figura adaptada de [31].

Nombre	Pureza de la fracción de masa
<b>Acetona</b>	0,999
<b>Etanol</b>	0,995
<b>Etilenglicol</b>	0,995
<b>1-Propanol</b>	0,995
<b>2-Propanol</b>	0,995
<b>1,3-Propanodiol</b>	0,99
<b>Fosfato dipotasio</b>	0,99
<b>Carbonato de potasio</b>	0,99
<b>Carbonato de sodio</b>	0,99

Luego de involucrar los diferentes componentes en la variedad de modelos propuestos, se pudo identificar que la adición de las sales trabajado en un sistema de cuatro componentes permite la obtención del compuesto PDO en altas concentraciones, así mismo, se destaca la implementación de dichos modelos como una posible solución al problema encontrado en la extracción durante la producción.

### **Consolidado de los resultados de la revisión bibliográfica**

En la siguiente tabla se realiza un consolidado de la información obtenida de los artículos presentados anteriormente, de acuerdo al método utilizado y las condiciones específicas de cada experimento se obtuvieron diferentes tipos de concentraciones del compuesto 1,3-PDO.

Nombre	Proceso	Eficiencia	Ref.
Fermentación	Selección de cepas nativas para determinar cuál producía mejor asimilación del glicerol en dos medios seleccionados. Posteriormente pasa a 72 de fermentación la cepa que presento mejores resultados obteniendo una concentración de 72,840	72,840 %	[3]
Fermentación	Las condiciones de inoculación fueron las siguientes: Se llevó a cabo al 7.5% en viales con 100 ml de medio cultivo RCM. Seguido se realiza fermentación por duplicado en un reactor RAF durante 36 horas.	0,78 mol/mol	[26]

Nombre	Proceso	Eficiencia	Ref.
Fermentación y cromatografía líquida	La fermentación se realizó en un biorreactor con capacidad de 2L a una temperatura de 37 °C y con un pH automáticamente regulado con NaOH, para el método analítico fue utilizada cromatografía líquida de alta resolución seguido de un centrifugado y un proceso de filtrado	48,12%	[27]
Fermentación y destilación	El proceso establece un diagrama que involucra destilaciones al inicio y final del ejercicio involucrando una fermentación a la mitad del mismo	99%	[28]
Sistema catalítico con solución acuosa	Sistema de catalítico partiendo de una solución acuosa de glicerol que el autor denomina W	59%	[29]
ATPS	Para el proceso se agregó 10 ml de un producto orgánico con 10 ml de un caldo saturado de sal. Posteriormente la mezcla se pasó por vórtice y luego se mantuvo a temperatura ambiente durante 10 horas.	89,19%	[30]
Conversión bio-catalítica	Transformación de 1,3PDO a un éster, adicionando ácidos grasos y lipasa, seguido de una reacción de hidrolisis catalizada por lipasas para recuperar el compuesto	96%	[32]
ATPS	Extracción líquida utilizando etanol y carbonato de sodio	97,9%	[33]
Reacción y destilación	Reacción de acetilación con isobutil aldehído. La fase acuosa obtenida que contiene el 2-isobutil aldehído. Se realizan una destilación hasta el azeótropo, y luego una destilación reactiva con agua.	93%	[34]
ATPS	Se realizó por medio de un sistema acuoso de dos fases para la separación de biomoléculas. Se involucraron los compuestos K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> :K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> con el fin de enriquecer las soluciones acuosas y llegar al equilibrio líquido-líquido al final del ejercicio.	97.69 y 98.27%	[35]

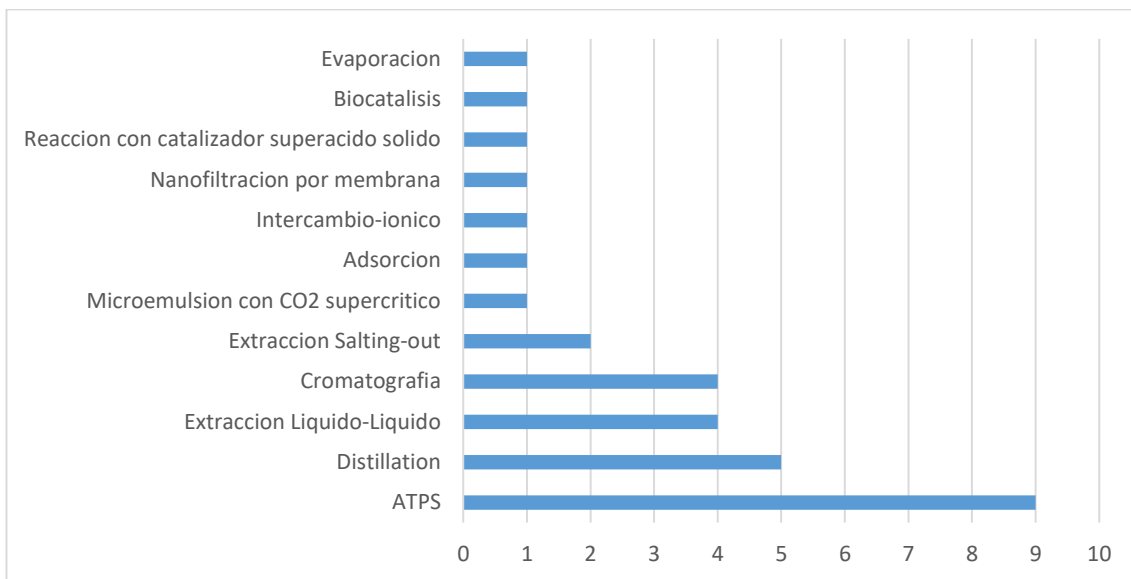
### Vigilancia Tecnológica

Para realizar la vigilancia tecnológica se llevaron a cabo las siguientes actividades: Se indago en el motor de búsqueda Google Academics artículos y



patentes que registraran resultados con coincidencias en los diferentes procesos involucrados para la obtención del compuesto 1,3-PDO. La ecuación de búsqueda utilizada fue: 1,3-propanodiol AND separation AND purification.

Se registraron los 100 primeros resultados más relevantes, la información se consolidó en un libro de Excel donde se especificó el número de la patente, autor del artículo, enlace web y las palabras claves registradas en los títulos de los documentos. Los registros obtenidos, se pueden evidenciar en el siguiente diagrama:



## 9.2. Balance de materia del proceso de separación y purificación del 1,3 PDO

### Diagrama de Flujo

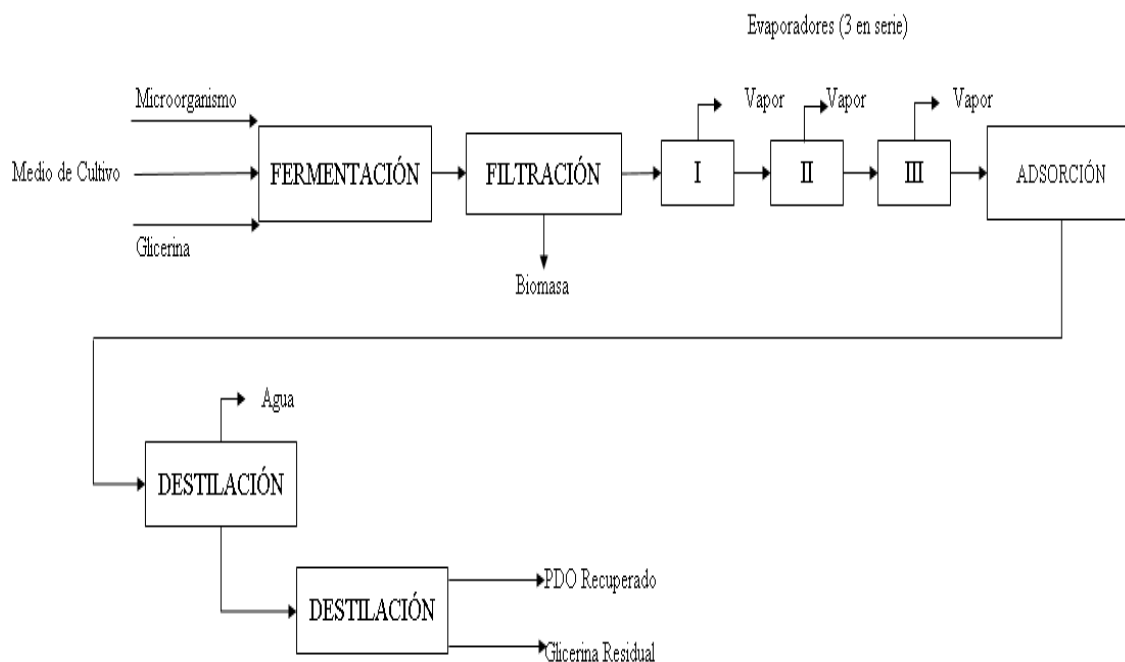


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso sugerido para la producción de 1,3-PDO con doble destilación.

### Cálculos del balance de materia

De acuerdo con la producción de una de las principales empresas productoras de biodiesel en el país, Bio D S.A. anualmente se produce 3270 toneladas por año de glicerina cruda residual [36], la cual equivale a 370 kg/h de glicerina. Esta glicerina proviene del proceso de transesterificación del aceite de palma para la producción de biodiesel, y generalmente contiene residuos de metanol, y ácidos grasos. Estos residuos se encuentran en un porcentaje de metanol 3.78%, ácidos grasos 0.25%, NaCl 2.7%, dando como resultado una corriente de glicerina cruda que contienen 93.2% de pureza.

El medio de cultivo se ajusta de tal manera que quede con una concentración del 14% de glicerina, que es la fuente de carbono que usará el microorganismo para crecer. Adicionalmente se le debe agregar una fuente de nitrógeno, extracto de levadura al 1%, la cual es limitada para que se favorezca la producción de 1,3PDO.

De acuerdo con el diagrama y las condiciones teóricas planteadas, el flujo total de entrada corresponde a 2718,07 Kg distribuidos en dos componentes de ingreso, el medio de cultivo y la glicerina. Sus valores de entrada se distribuyen en: 2321.07 Kg y 397 Kg respectivamente. Los dos componentes ingresan al proceso de fermentación donde se obtienen dos corrientes de salida, la primera es una emisión de CO<sub>2</sub> como residuo y la segunda refiere a la continuación del proceso, donde el consumo de glicerina alcanza el 95%; debido a la presencia de hidróxido de sodio a la salida de la fermentación se crean dos nuevos

compuestos; los ácidos presentes consumen la base originando acetato y butirato de sodio, previo al proceso de filtrado.

### 9.2.1. Diagrama de flujo

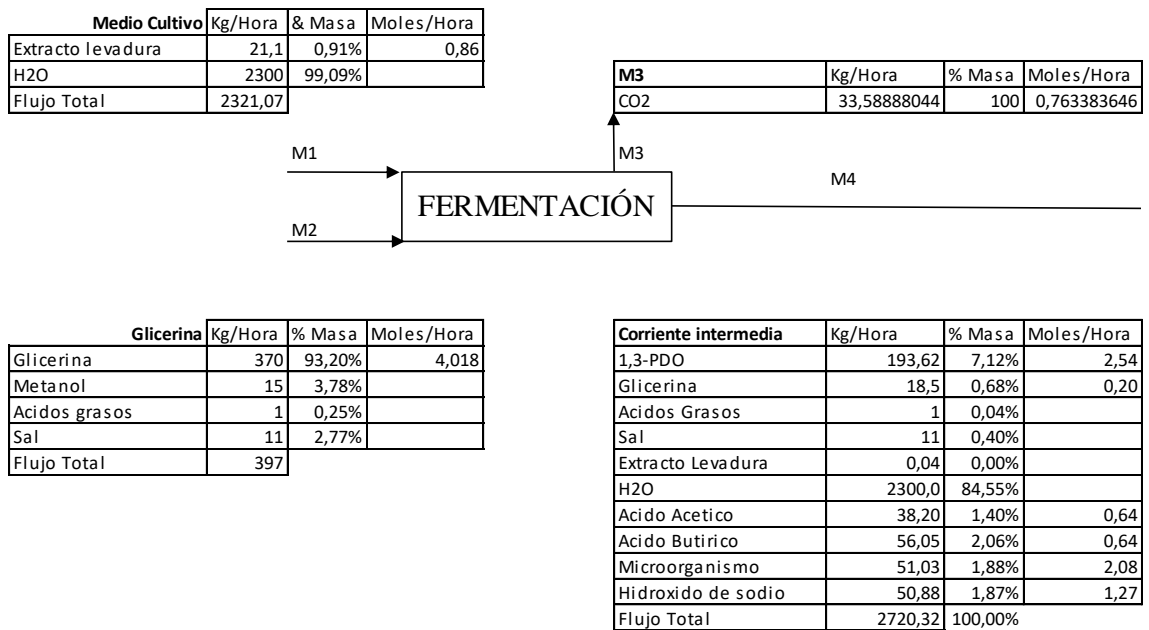
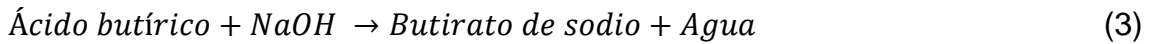
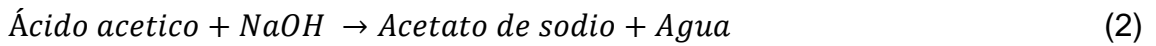
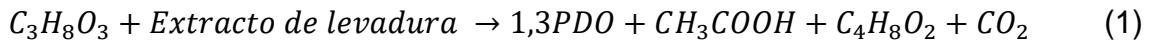


Figura 9. Cálculos para el proceso de fermentación.

## LAS REACCIONES

Posteriormente, la corriente M4 pasara por un proceso de filtrado donde se espera extraer el microorganismo en su 100 %. Originando así, la corriente M6, compuesta de los elementos antes mencionados, además de la presencia de una gran cantidad de agua.

$$\text{Balance General: } M4 = M5 + M6 \quad (4)$$

$$\text{Microorganismo: } X_m * M4 = M5 \quad (5)$$

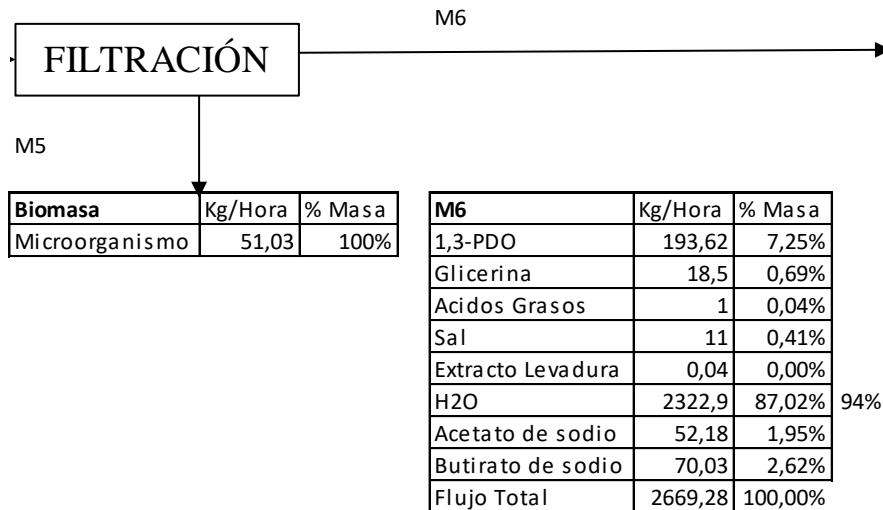


Figura 10. Cálculos para el proceso de filtración.

Ahora bien, los pasos siguientes refieren al diseño de tres evaporadores que permitan que los porcentajes de PDO producidos vayan en aumento, de acuerdo con esto se obtuvieron los siguientes porcentajes de salida: 20% la salida del primer evaporador, 28,75% para el segundo y 44,14 para el tercero. Adicionalmente, se percibe una clara disminución de la presencia de agua pasando de 2322,9 Kg a 92,28 Kg al final del tercer evaporador. Cabe resaltar que los evaporadores generan corrientes de salida donde se encuentra la mayor cantidad de agua extraída.

$$\text{Balance general Evaporador I: } M6 = M7 + M8 \quad (6)$$

$$1,3 \text{ PDO: } Xp * M6 = 0.2 * M8 \quad (7)$$

$$\text{Balance general Evaporador II: } M8 = M9 + M10 \quad (8)$$

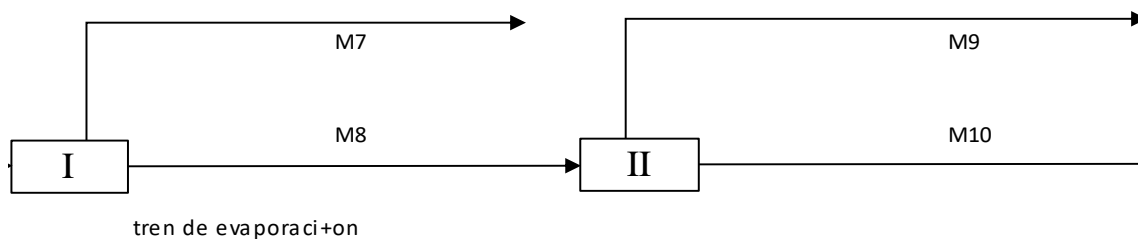
$$1,3 \text{ PDO: } Xp * M8 = 0.2875 * M10 \quad (9)$$

$$\text{Balance general Evaporador III: } M10 = M11 + M12 \quad (10)$$

$$1,3 \text{ PDO: } Xp * M10 = 0.4414 * M12 \quad (11)$$

Corriente 3	Kg/Hora	% Masa
Agua	1701,18	100,00%
Total	1701,18	

Corriente 6	Kg/Hora	% Masa
Agua	294,64	100,00%
Total	294,64	

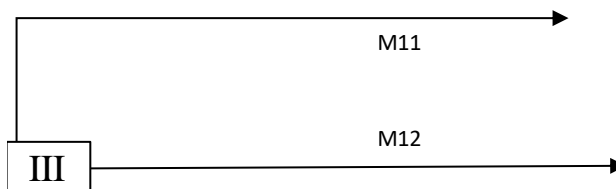


M8	Kg/Hora	% Masa
1,3-PDO	193,62	20,00%
Glicerina	18,5	1,91%
Acidos Grasos	1	0,10%
Sal	11	1,14%
Extracto Levadura	0,04	0,00%
H2O	621,72	64,22%
Acetato de sodio	52,18	5,39%
Butirato de sodio	70,03	7,23%
Flujo Total	968,10	100,00%

M10	Kg/Hora	% Masa
1,3-PDO	193,62	28,75%
Glicerina	18,5	2,75%
Acidos Grasos	1	0,15%
Sal	11	1,63%
Extracto Levadura	0,04	0,01%
H2O	327,09	48,57%
Acetato de sodio	52,18	7,75%
Butirato de sodio	70,03	10,40%
Flujo Total	673,46	100,00%

Figura 11. Cálculos para los dos primeros evaporadores.

M11	Kg/Hora	% Masa
Agua	234,81	100,00%
Total	234,81	



M12	Kg/Hora	% Masa
1,3-PDO	193,62	44,14%
Glicerina	18,5	4,22%
Acidos Grasos	1	0,23%
Sal	11	2,51%
Extracto Levadura	0,04	0,01%
H2O	92,28	21,04%
Acetato de sodio	52,18	11,90%
Butirato de sodio	70,03	15,96%
Flujo Total	438,65	100,00%

Figura 12. Cálculos para el tercer evaporador.

Seguidamente la corriente resultante ingresa al proceso de adsorción que busca la eliminación de iones en su 100%. Se evidencia que a la salida de dicho

proceso ya no componen el caldo componentes como, los ácidos grasos, la sal, el acetato y el butirato de sodio. La corriente M13 se compone de 3 ingredientes permitiendo concentrar el PDO en un 63,61% previo a la destilación inicial.

$$\text{Balance general} \quad M12 = M13 + M13' \quad (12)$$



M13	Kg/Hora	% Masa
1,3-PDO	193,62	63,61%
Glicerina	18,5	6,08%
Acidos Grasos	0	0,00%
Sal	0	0,00%
Extracto Levadura	0,00	0,00%
H2O	92,28	30,31%
Acetato de sodio	0	0,00%
Butirato de sodio	0	0,00%
Flujo Total	304,39	100,00%

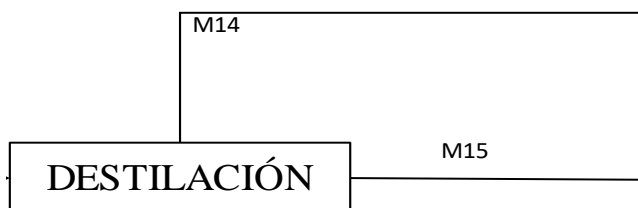
Figura 13. Cálculos para el proceso de adsorción.

Como se mencionó anteriormente la corriente de entrada M13 ingresa al proceso de destilación, donde se espera eliminar el restante de agua presente en el proceso. Sin embargo, se entiende que al final de dicho proceso se evidencia la presencia del líquido en una cantidad mínima correspondiente al 0,03%.

$$\text{Balance general:} \quad M13 = M14 + M15 \quad (13)$$

$$\text{Balance PDO: } X_p * M13 = X_p * M15 \quad (14)$$

M14	Kg/Hora	% Masa
Agua	92,21	100,00%
Total	92,21	



M15	Kg/Hora	% Masa
1,3-PDO	193,62	91,25%
Glicerina	18,5	8,72%
H2O	0,07	0,03%
Flujo Total	212,19	100,00%

Figura 14. Cálculos para la destilación inicial.

Finalmente, el líquido ingresa al proceso final de destilación secundario obteniendo al final del ejercicio glicerina residual en una cantidad mínima de 18,47%; resaltando la extracción exitosa del compuesto 1,3-PDO en una concentración de 99,95%.

$$M15 = M16 + M17 \quad (15)$$

$$\text{Balance 1,3PDO: } Xp * M15 = Xp * M16 + Xp * M17 \quad (16)$$

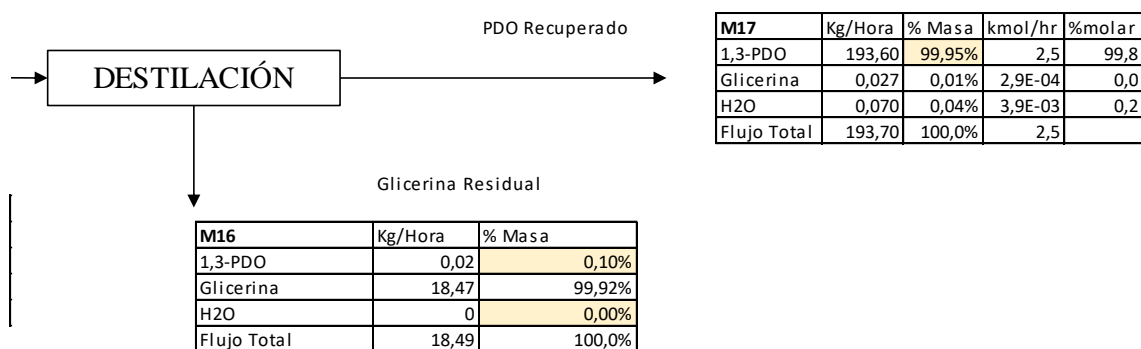
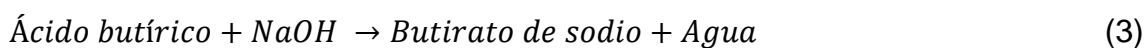
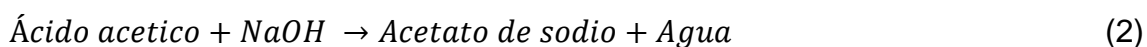


Figura 15. Cálculos para la destilación final.

### 9.2.1. Diagrama de flujo con ATPS



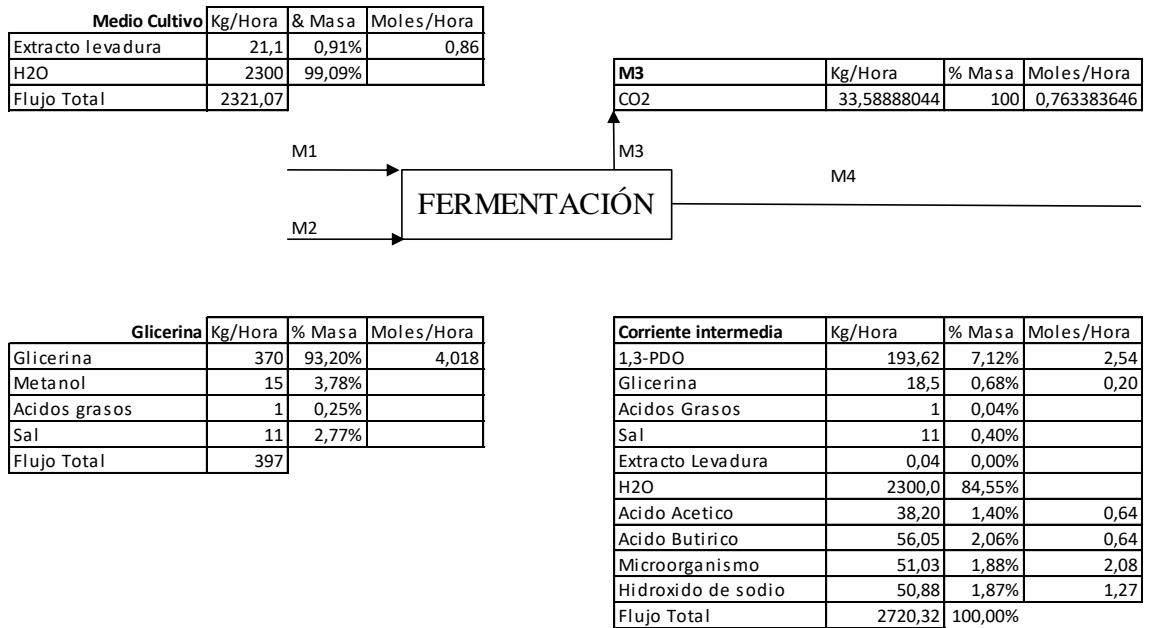


Figura 16. Cálculos para el proceso de fermentación.

## LAS REACCIONES

Posteriormente, la corriente M4 pasara por un proceso de filtrado donde se espera extraer el microorganismo en su 100 %. Originando así, la corriente M6, compuesta de los elementos antes mencionados, además de la presencia de una gran cantidad de agua.

$$\text{Balance General: } M4 = M5 + M6 \quad (4)$$

$$\text{Microorganismo: } X_m * M4 = M5 \quad (5)$$

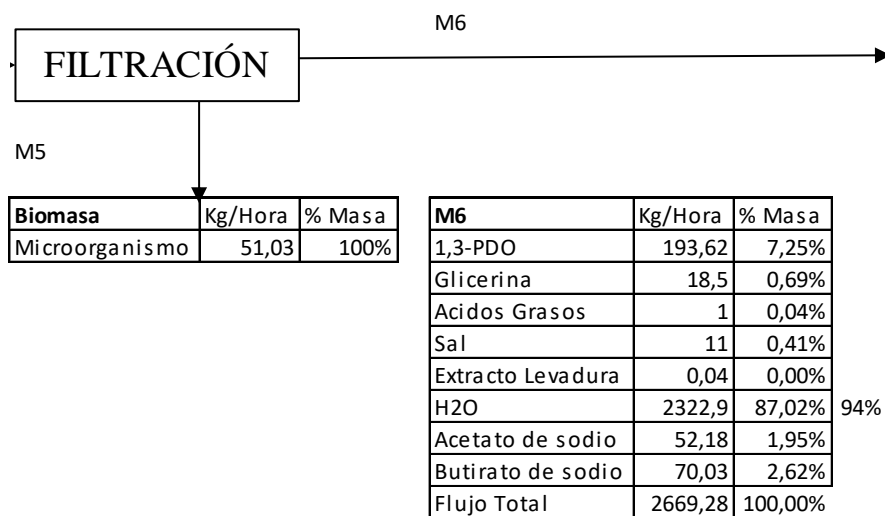


Figura 17. Cálculos para el proceso de filtración.



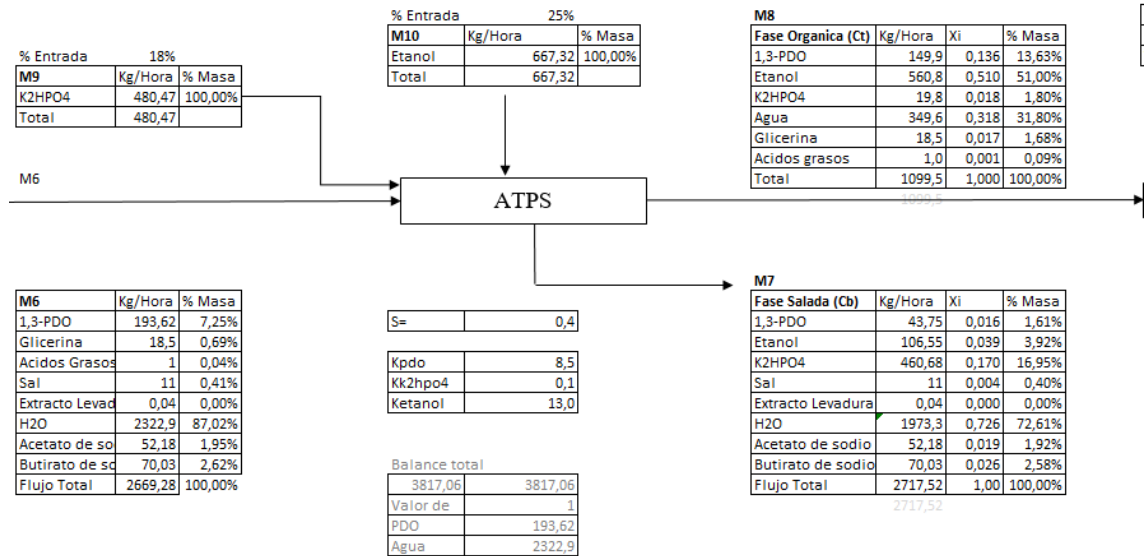


Figura 18. Cálculos para el proceso ATPS

Para el cálculo de estos datos fue necesario plantear un sistema cuaternario de equilibrio líquido-líquido compuesto por 1,3-PDO-K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-Etanol-Agua, ya que es el sistema con más datos conocidos, que posteriormente, permitió plantear el balance de materia [37].

Este sistema se realizó teniendo en cuenta una adición a la solución en proporción 18% K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 25% Etanol, 75 g/L de 1,3-PDO, para estar dentro del equilibrio de fases en el sistema cuaternario. De esta manera se aseguran dos fases según datos del autor [37]. Se debe tener en cuenta que el sistema planteado no sería el óptimo posible, si no únicamente una de las muchas posibilidades de reparto dentro del equilibrio.

El sistema ATPS se diseñó teniendo en cuenta la fracción másica correspondiente de PDO en la fase orgánica y en la fase rica en sal, de acuerdo con el análisis de los valores del equilibrio dado por [37]. Se comprobaron los valores de los coeficientes de reparto del 1,3-PDO, etanol y K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (K<sub>1,3-PDO</sub>, K<sub>etanol</sub>, K<sub>k2hpo4</sub>) que estuvieran en concordancia con los valores obtenidos en [37] K<sub>PDO</sub>=8,3 y en [31] K<sub>PDO</sub>=8,5, K<sub>K2HPO4</sub>=0,12 y K<sub>etanol</sub>=13,6.

En experimentos bajo condiciones similares de concentración reportados por los investigadores en condiciones experimentales, se planteó un balance de materia solucionado utilizando Excel que cumple las siguientes ecuaciones planteadas:

$$M \text{ total} = M6 + M9 + M10$$

Balance general

$$M \text{ total} = M7 + M8$$

$$M_{PDO6} = X_{PDO7} * M7 + X_{PDO8} * M8$$

$$M_{10} = X_{\text{Etanol}7} * M7 + X_{\text{Etanol}8} * M8$$

$$M9 = X_{\text{K}_2\text{HPO}_47} * M7 + X_{\text{K}_2\text{HPO}_48} * M8$$

$$M_{\text{Agua}6} = X_{\text{Agua}7} * M7 + X_{\text{Agua}8} * M8$$

$$M_{\text{glicerina}6} = X_{\text{glicerina}7} * M7$$

$$M_{\text{acidos}6} = X_{\text{Acidos}7} * M7$$

$$M_{\text{acetato}6} = X_{\text{Acetato}8} * M8$$

$$M_{\text{sal}6} = X_{\text{sal}8} * M8$$

$$M_{\text{extracto}6} = X_{\text{extracto}8} * M8$$

$$K_{\text{PDO}} = X_{\text{PDO}7} / X_{\text{PDO}8}$$

$$K_{\text{Etanol}} = X_{\text{Etanol}7} / X_{\text{Etanol}8}$$

$$K_{\text{K}_2\text{HPO}_4} = X_{\text{K}_2\text{HPO}_47} / X_{\text{Etanol}8}$$

$$S = M7 / M8$$

$$\sum_{i=1}^6 X_{i7} = 1$$

$$\sum_{i=1}^8 X_{i8} = 1$$

Donde K es el coeficiente de reparto entre la composición de cada componente en la fase orgánica y la acuosa y S es el coeficiente entre la masa de la fase orgánica y la fase acuosa.

Concluyendo el proceso de ATPS, es necesario mencionar que de allí se desprenden dos corrientes de salida donde encontramos la fase salada y la fase orgánica. En la fase orgánica se encuentran presentes algunos ácidos grasos que serán eliminados en el proceso posterior (adsorción).

La fase orgánica para este momento del proceso presenta una cantidad de 149,9 Kg/hora de PDO y es precisamente esta corriente la que continuará el proceso. La fase salada debería contemplarse para un posible proceso de recirculación que permita la recuperación del compuesto  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , sin embargo, dichos cálculos no se tendrán en cuenta en este ejercicio ya que se busca como resultado final la obtención de PDO en la mayor concentración posible.

En la adsorción se busca eliminar el compuesto  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  que aún está presente en la mezcla, para lo cual interviene una columna de intercambio de iones que permite retirar dicho compuesto.

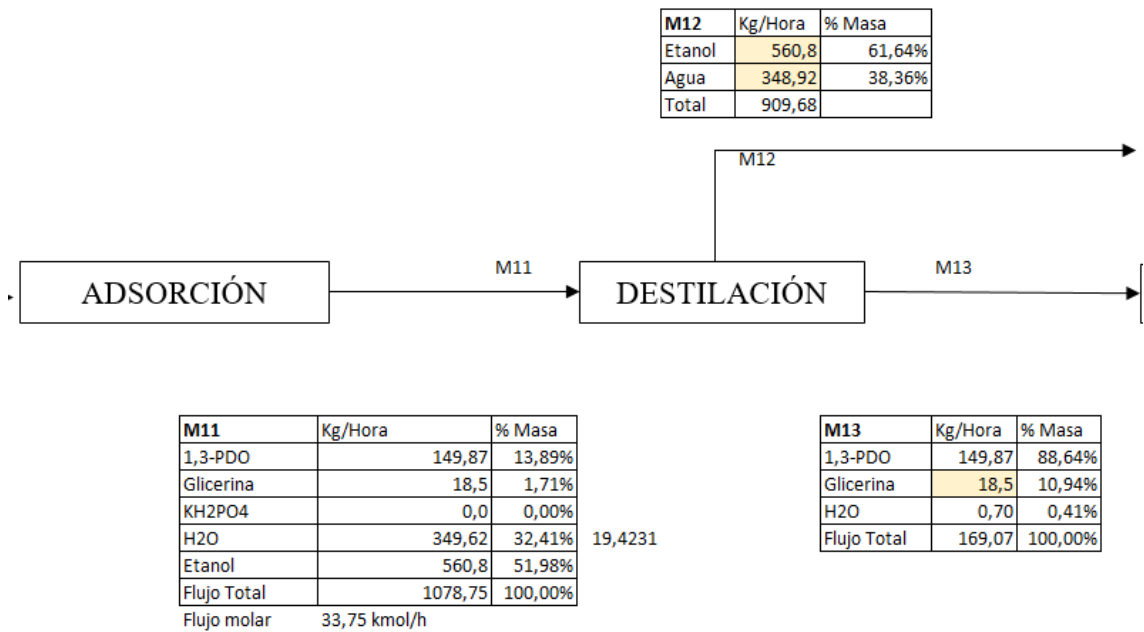


Figura 19. Cálculos para proceso de adsorción y primera destilación.

La corriente continua a la primera torre de destilación donde aún se perciben los componentes principales, en este punto se busca retirar tanto el etanol como el agua, para esto es importante tener en cuenta los puntos de ebullición de dichos compuestos, el etanol cambiara de fase al llevarlo a una temperatura de 78,37°C y el agua presentara el mismo resultado, pero a una temperatura de 100°C. De allí la corriente de salida está compuesta por tres componentes, que son PDO, glicerina y una pequeña cantidad de agua que se conservó de la primera torre de destilación.

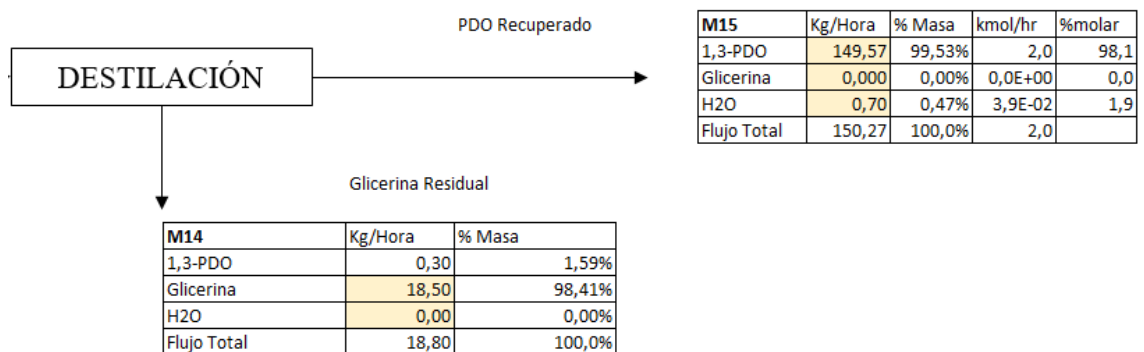


Figura 20. Cálculos para proceso destilación y resultado de la cadena de producción.

Para concluir la cadena de producción, la corriente ingresa en una segunda torre de destilación donde se busca apartar la glicerina y así obtener el compuesto de alto valor agregado. Como se evidencia en la figura 20, se obtiene PDO en una concentración de 99,53% en una corriente de 149,57 kg/hora. La presencia

mínima de agua no afecta el proceso ya que no representa ni el 1% en la mezcla final.

### 9.2.2. Comparación de las dos cadenas de producción

Una vez presentados los dos modelos de cadena de producción, a continuación, se relacionan los resultados al final de cada modelo:

CON ATPS					SIN ATPS				
M15	Kg/Hora	% Masa	kmol/hr	%molar	M17	Kg/Hora	% Masa	kmol/hr	%molar
1,3-PDO	149,57	99,53%	2,0	98,1	1,3-PDO	193,60	99,95%	2,5	99,8
Glicerina	0,000	0,00%	0,0E+00	0,0	Glicerina	0,027	0,01%	2,9E-04	0,0
H2O	0,70	0,47%	3,9E-02	1,9	H2O	0,070	0,04%	3,9E-03	0,2
Flujo Total	150,27	100,0%	2,0		Flujo Total	193,70	100,0%	2,5	

Figura 21. Comparativo de resultados al final de los ejercicios.

Estos resultados nos permiten proyectar algunas conclusiones y realizar un comparativo teniendo en cuenta que ambos ejercicios presentan diferencias significativas a la mitad de su desarrollo.

Para el proceso sin ATPS en primera instancia encontramos una diferencia significativa, destacando las cifras obtenidas en los flujos de corriente ya que permite obtener 44,03 kg/hora adicionales y por otro lado el porcentaje de concentración final presenta una diferencia mayor del 0,42% en su rendimiento.

Estos resultados finales podrían inclinar la balanza hacia un proceso ausente de ATPS, sin embargo, las principales diferencias radican en la cantidad de energía necesaria para realizar ambos ejercicios, encontramos que el no incluir ATPS implica la presencia de un proceso de filtrado y una cadena de evaporación. Estos procesos requieren la implementación de sus respectivos equipos, así como una cantidad de energía que representara una buena suma de dinero.

Si se decide incluir el proceso de equilibrio líquido-líquido encontramos que es un proceso que reduce considerablemente el uso de energía al no requerir uso de equipos, adicionalmente la segunda corriente de salida que deriva, es decir, la fase salada podría ser recirculada, permitiendo un flujo de recuperación significativo con la posibilidad de recuperar el compuesto  $K_2HPO_4$  que puede ser utilizado nuevamente en la cadena de producción, siendo este un proceso limpio que representa menor gasto tanto en la energía necesaria para ejecutarlo como el dinero que dicho recurso puede llegar a significar. Por lo anterior se sugiere optar por esta ruta para el proceso de separación y purificación de PDO, que en últimas es el objetivo principal de este documento.

Como observación adicional, se evidencia que un proceso que incluya ATPS permite obtener un producto más limpio en cuanto a composición se refiere ya que no presenta glicerina en la mezcla al final del ejercicio, lo que podría traducirse en mayor pureza del compuesto de valor agregado.

## **9.3 Análisis del mercado del 1,3 PDO**

### **9.3.1 Usos del PDO**

Si bien es cierto, el compuesto de alto valor agregado conocido como 1,3-PDO es apetecido por varias industrias para la creación o implementación en sus productos, es necesario ofrecer una información más detallada de sus posibles usos, por lo tanto, a continuación, se exponen algunos de los procesos donde se involucra el PDO.

#### **PTT Politrimetilentereftalato**

Como producto principal se encuentra el desarrollo de compuestos conocidos como polímeros politrimetilentereftalato (PTT), combinando excelentes propiedades de resistencia. Sus aportes al desarrollo de nuevos poliésteres biodegradables, destacan sin duda, teniendo en cuenta la lucha ambiental que cada vez se presenta más urgente por diferentes naciones, lo que ha conllevado a la unión de esfuerzos para la creación de estrategias que mitiguen este problema que aqueja a todo el mundo.

Si bien es cierto la producción de fibras en la industria textil ha ido en aumento, es evidente que este crecimiento surge a raíz de la presencia de fibras de origen químico, siendo el caso del polientilentereftalato (PET), del politrimetilentereftalato (PTT) y el poli (etilen-2,6- naftalendicarboxilato) (PEN) para usos industriales; sin embargo, se destaca que solo el PTT se considera como fibra de poliéster de acuerdo con el contenido del nombre genérico "poliéster" [38].

Compañías como DuPont o Shell fabricantes de alfombras y otros productos prefieren el compuesto PTT ya que reúne distintas propiedades, tales como: recuperación elástica, resiliencia, resistencia al manchado, ante la aplicación de tinturas exhibe firmeza ante radiación ultravioleta y óxidos de nitrógeno, además su resistencia a la abrasión es destacable, su nivel de absorción de agua es muy bajo y por ultimo genera bajos niveles de electricidad estática.

Los mercados donde ha establecido presencia las fibras de PTT son los siguientes:

Fabricación de prendas deportivas, donde se destacan ventajas como su elasticidad, suavidad, confort, durabilidad, entre otras.

Debido a sus diversas cualidades se ha incursionado en el desarrollo de nuevos productos, uno de estos se conoce como Solenio utilizado como compuesto para pisos, presente en hospitales donde se aprovecha su recuperación elástica y su durabilidad. [39]

En los hogares mediante alfombras en diversos colores, destacando su suavidad, resistencia a las manchas y facilidad en su limpieza.

Y finalmente prendas de vestir como: camisas y blusas donde se evidencia ausencia de arrugas, confort para el usuario y de fácil cuidado. [38]

### Otros productos

Además, se conoce que el compuesto es utilizado para el diseño de refrigerantes y tintas acuosas, para fabricación de solventes, productos de aseo como detergentes y cosméticos; además de su uso en el tratamiento de aguas residuales siendo utilizado como adición a los productos utilizados para desinfección industrial.

### 9.3.2 Información sobre importación y exportación del 1,3PDO

Habiendo hecho una recopilación de los usos del 1,3-PDO a continuación se expondrá información respecto al comportamiento del mercado colombiano de dioles, realizando la búsqueda por código CIU 2011, fabricación de sustancias de química básica, código arancelario 2905399000, en la base de datos MARO de Colombia Productiva.

En primer lugar, se expone la situación de las importaciones de dioles (que no incluyen butanodiol ni etanodiol) realizadas por el país, esta información es expresada en toneladas y evidencia una conducta irregular en el periodo comprendido entre el año 2010 y 2018.

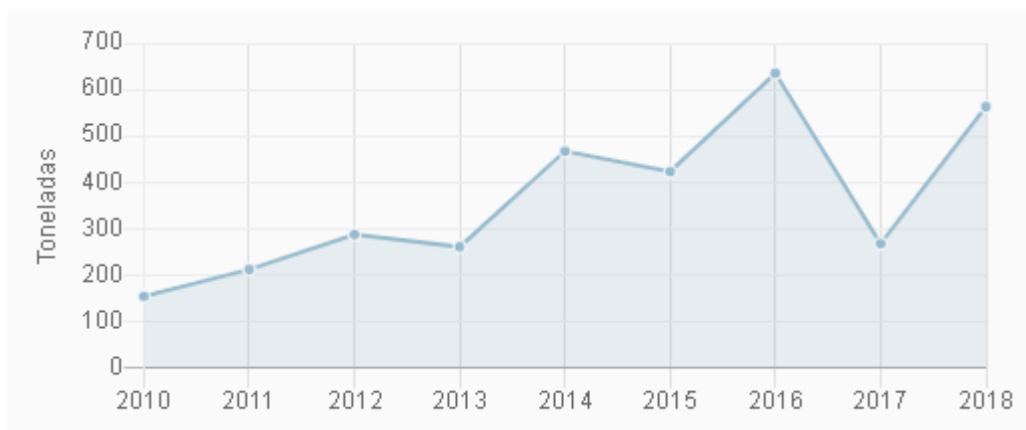


Figura 22. Dinámica anual de importaciones [40].

Se evidencia que en el año 2016 se tuvo una mayor participación en cuanto a importaciones se refiere, un total de 635 toneladas ingresaron al país provenientes en gran parte de Estados Unidos seguido por Suecia y Brasil con una participación de 319, 136 y 81 toneladas respectivamente. Del producto recibido en territorio nacional, se registró una participación por departamento donde Antioquia obtuvo la mayor cantidad del compuesto con un total de 549 toneladas.

Respecto a las exportaciones, se evidenció la siguiente información:

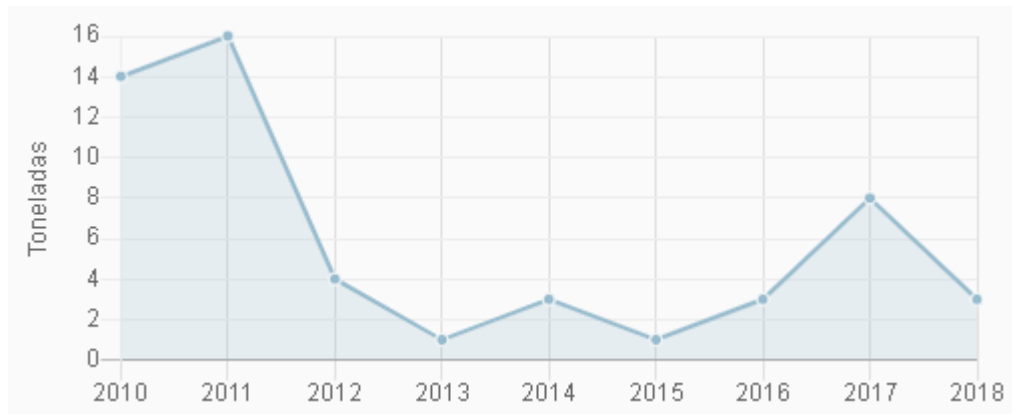


Figura 23. Dinámica anual de exportaciones PDO [40].

El comportamiento para el periodo comprendido entre los años 2010 y 2018 no ha sido estable y por el contrario presentó una caída muy fuerte en el año 2011, obteniendo un pequeño repunte en el año 2017 y posteriormente finalizó cayendo nuevamente para el año 2018. La cantidad exportada para el año 2011 fue de 16 toneladas, tomándose como un valor muy bajo si se compara con la cantidad de producto importado. Los destinos de estas exportaciones fueron Ecuador y Brasil con un total de 11 y 3 toneladas respectivamente.

De lo anterior se evidencia que el país aún no tiene una gran participación en el mercado exportador, la cantidad de importaciones ingresadas al país supera en gran número a pesar de los comportamientos irregulares para los periodos mencionados anteriormente.

Respecto a la glicerina en particular se logra evidenciar que se trata de cantidades mayores, encontrando la particularidad que con el transcurrir del tiempo las exportaciones presentan una disminución significativa, pasando de las 5322 toneladas en el año 2010 a tan solo 1139 toneladas al final del año inmediatamente anterior. Este comportamiento puede ser consecuencia de la disminución de plantas de producción de dicho compuesto en el territorio nacional. El comportamiento puede evidenciarse en la figura 24.



Figura 24. Comportamiento de exportaciones del mercado colombiano para el compuesto glicerina, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].

Ahora bien, la discriminación en cantidad de toneladas exportadas por cada departamento, demuestra que la zona norte del país presentó alta participación en el mercado, encontrando como principales orígenes los departamentos de Magdalena y Bolívar; se destaca que este comportamiento se produjo a principios de la década. Posteriormente, en la zona centro del país, específicamente Bogotá y Cundinamarca denotarían una participación más alta pasando por encima de las 1000 toneladas. Al finalizar este periodo de tiempo, dichas zonas presentaron estabilidad en cuanto a cantidades se refiere, sin embargo, al final del año 2019 se presentó una disminución significativa al presentar cifras no mayores a las 400 toneladas. Por otra parte, los principales países que demandaron el producto fueron, México, Perú y China. El primero de estos mantuvo un comportamiento constante en sus cantidades, sobrepasando las 2000 toneladas entre los años 2011 y 2013; al finalizar la década su caída en cifras también resulta bastante estrepitosa, puesto que, para el año 2019 se exportaron tan solo 373 toneladas a dicho destino. Caso similar se presentó con Perú, ya que mantuvo cantidades superiores a las 1000 toneladas entre 2010 y 2013, no obstante, al finalizar el año 2019 reportó tan solo 162 toneladas.

En cuanto a las importaciones de dicho compuesto, se establece un comportamiento inverso a las exportaciones, puesto que, al final de la década se presentó un aumento bastante significativo. El repunte importante se originó en el año 2016 con un total de 5181 toneladas. El comportamiento del mercado se presenta en la figura 25.



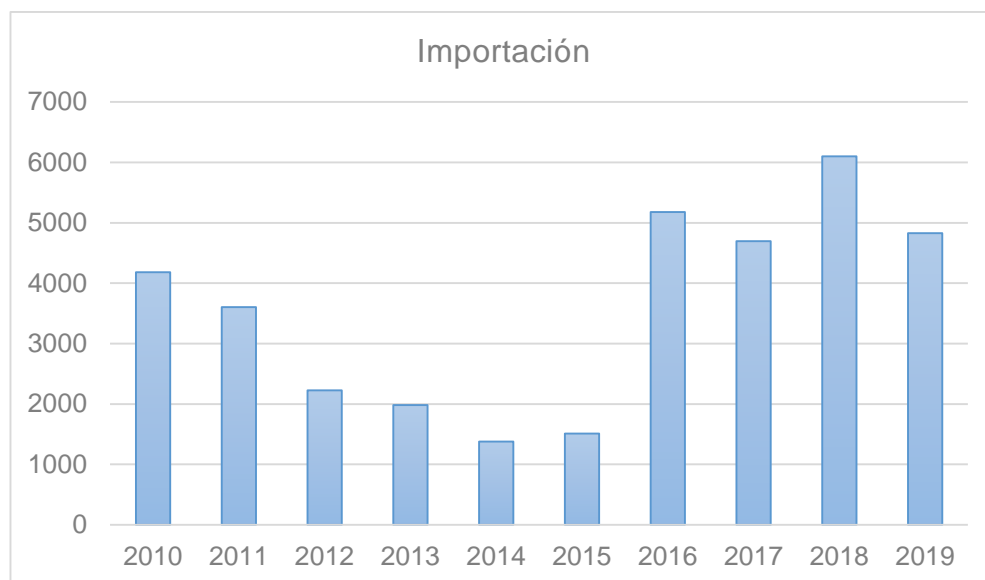


Figura 25. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para el compuesto glicerina, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40].

En cuanto al mercado departamental, se presentaron altibajos en cuanto a su comportamiento, entre los años 2012 y 2015 las cifras no fueron muy alentadoras, salvo Bogotá que presentó su valor más importante en 722 toneladas del compuesto. El departamento del Valle del Cauca destacó por su demanda, alcanzando cifras superiores a las 2000 toneladas tanto al principio como al final de la última década.

A nivel internacional los países de origen destacados fueron Alemania, Brasil y Argentina. Los dos primeros evidencian una particularidad en su oferta, ya que, a principios del periodo el país teutón tuvo la mayor participación, sin embargo, llegado el año 2012 sus cifras cayeron a tan solo un cuarto de su oferta. Otra realidad vivió Brasil, ya que su final fue mejor que sus inicios, logrando una oferta que superaba las 3000 toneladas.

Es de destacar que EE.UU. no presente mayor oferta, a pesar de contar con una de las principales productoras, lo que evidencia que su producto no tiene como destino Latinoamérica o bien lo utiliza para la elaboración de sus propios productos haciendo uso de su gran industria.

### **Mercado mundial y su comportamiento**

Como se ha explicado anteriormente el compuesto 1,3-PDO ofrece gran variedad de aplicaciones para diferentes industrias, por tal razón se hace necesario revisar el comportamiento del mercado por regiones de acuerdo a la oferta y capacidad de producción de cada gigante comercial. De la información se pudo obtener que Estados Unidos, figura 26, posee gran ventaja ante sus demás competidores donde el continente europeo se posiciona en segundo lugar. Las diferencias presentadas se sitúan más allá de las 30.000 MT.

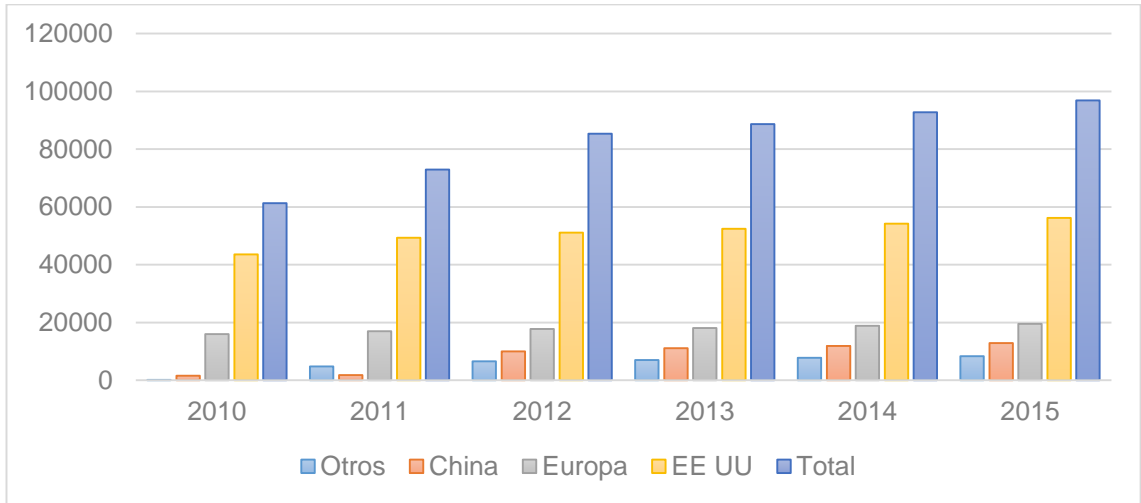


Figura 26. Tamaño del mercado por regiones, periodo 2010 - 2015. Información obtenida de [41].

Ahora bien, este comportamiento y tamaño de mercado también se puede evidenciar al consolidar la información por continentes, además de una proyección para el año 2021. Estos valores se estiman teniendo en cuenta los sectores industriales que trabaja cada región por ejemplo las américas se especializa en productos a base de PTT, Europa se enfoca en la industria cosmética y productos de limpieza, mientras que el continente asiático dirige sus esfuerzos al sector farmacéutico y la fabricación de productos textiles.

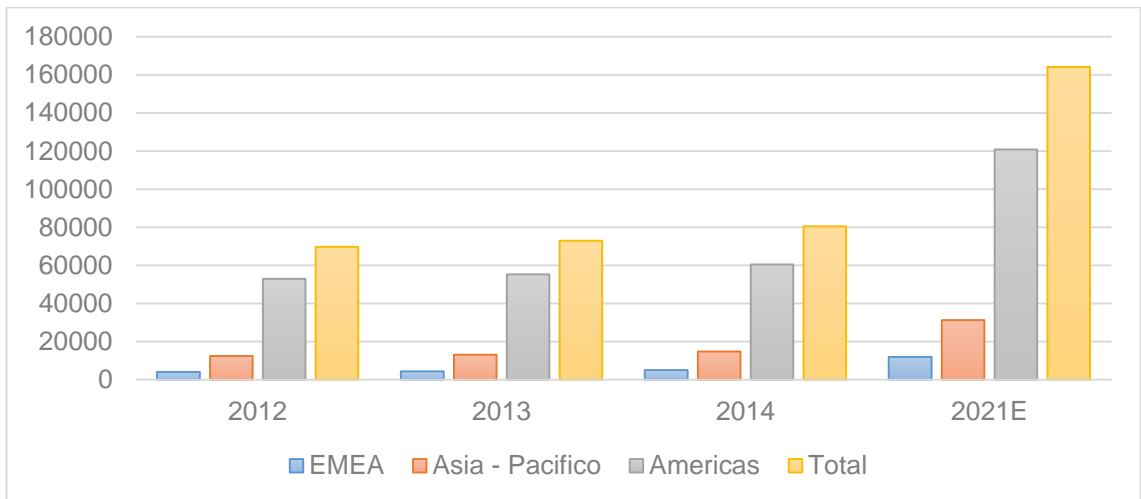


Figura 27. Tamaño del mercado por regiones, periodo 2012 - 2021. Información obtenida de [41].

Como se mencionó anteriormente cada región ha determinado encaminar sus industrias e investigaciones por diferentes campos. Sin embargo, se destaca que el compuesto 1,3-PDO en su mayor porcentaje ha sido utilizado para la

producción de productos de polítrimetilentereftalato (PTT), seguido por la industria fabricante de productos para el cuidado personal y productos de limpieza. Adicionalmente, para este apartado se muestra un incremento aproximado del tamaño de mercado para cada uso dado, estas cifras se establecen para un periodo comprendido entre 2014 a 2021. Dicha información se presenta en la figura 28.

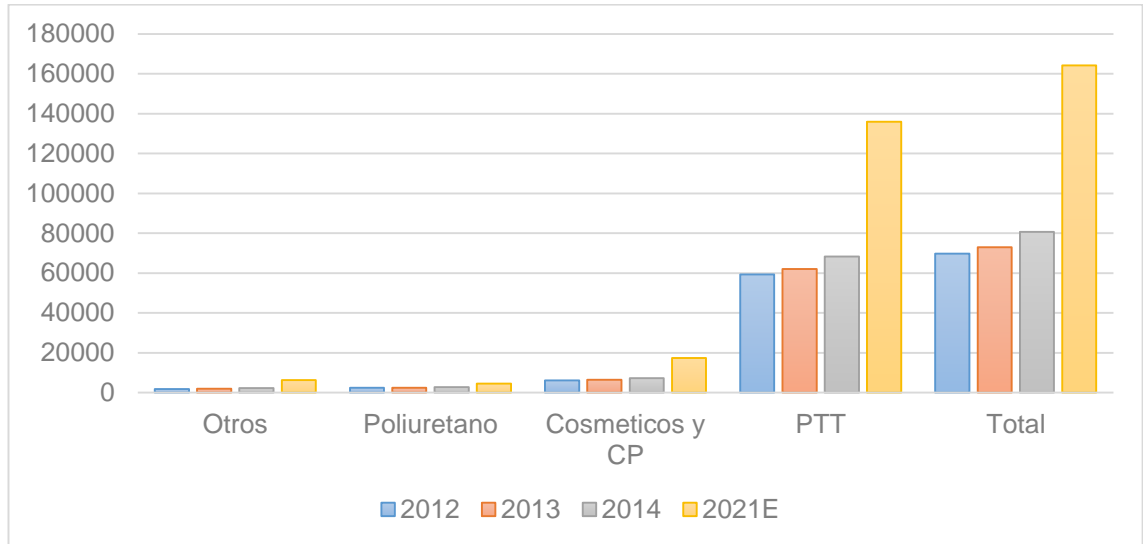


Figura 28. Tamaño del mercado segmentado por producto, periodo 2012 - 2021. Información obtenida de [41].

Ahora bien, hablando del mercado específico para la industria que fabrica productos de PTT, presentado en la figura 29, se entiende que el continente americano demanda la mayor parte del compuesto de valor agregado, lo anterior se debe a que la sustancia es un ingrediente fundamental para la fabricación de dichos productos; añadiendo a las compañías textiles, quienes en su razón de innovar prendas para el mercado deportivo han encontrado distintas maneras de involucrar dicho componente a sus creaciones. Respecto al comportamiento del mercado se determina que EE.UU es por mucho el consumidor más grande del producto, abarcando un aproximado del 97,4% del total solo en este continente [41].

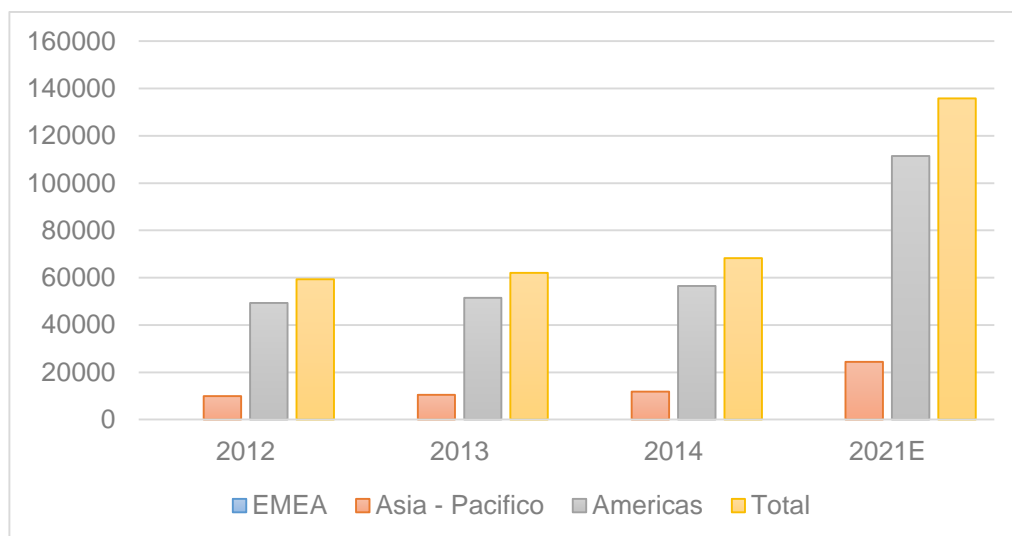


Figura 29. Participación por regiones fabricantes de PTT, periodo 2012 - 2021. Información obtenida de [41]

La gran participación en el mercado del país norteamericano no solo se debe a tener en su territorio una gran industria manufacturera, adicional a esto, cuentan con uno de los mayores productores a nivel mundial. La compañía DuPont se encuentra a la vanguardia en los procesos de producción del compuesto, lo que le permite producir el compuesto y ofrecerlo mediante dos marcas distintas conocidas como Susterra y Zemea. Cada segmento, orienta sus productos según su propósito; es decir, las soluciones ofrecen desde uso para aplicaciones industriales hasta el procesamiento de productos alimenticios. Por otro lado, Zemea dirige el compuesto para la elaboración de cosméticos y productos de cuidado personal. De acuerdo con cifras de QYResearch, la producción del PDO se obtiene por tres diferentes procesos, donde se destaca en gran manera el método de fermentación biotecnológica al obtener una participación del 72,17%. Ver Tabla 14.

Tabla 14. Producción de PDO de acuerdo a la tecnología usada. Figura adaptada de [41]

Método de carbonilación	13,72%
Método de hidratación	14,11%
Método de fermentación biotecnológica	72,17%

En la Tabla 14, se relacionan las principales compañías productoras de PDO de acuerdo con su capacidad de producción, donde se logra ver el incremento durante los años 2010 a 2015.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015E	2015 capacity
DuPont	54728	60845	62642	64032	66245*	67727	71500
Metabolic-Explorer	0	4562	6258	6689	7358	7863	8900
DOW	1729	1917	2170	2348	2562	2744	5000
Glory Biomaterial	0	0	8004	8883	9500	10097	15000
Shangdong Mingxing	602	736	799	868	925	1162	2000
Chenneng	335	368	426	496	532	580	1000
Henan Tianguan	163	175	189	214	230	265	500
Shanghai Demao	105	108	112	120	129	132	150
Global Other	3660	4285	4777	5073	5796	6375	9500
Global Total	61322	72996	85377	88723	92753	96945	113550

Figura 30. Mayores productores de PDO según su capacidad. Tomado de referencia [41].

Finalmente, en la Figura 31, se evidencia el precio ofertado por cada una de las compañías productoras de PDO, estos valores son expresados en dólares americanos donde comprende un periodo entre 2010 y 2015. Encontrando un precio promedio en un rango de 3900 y 4200, teniendo en cuenta el transcurrir del tiempo y las diversas compañías.

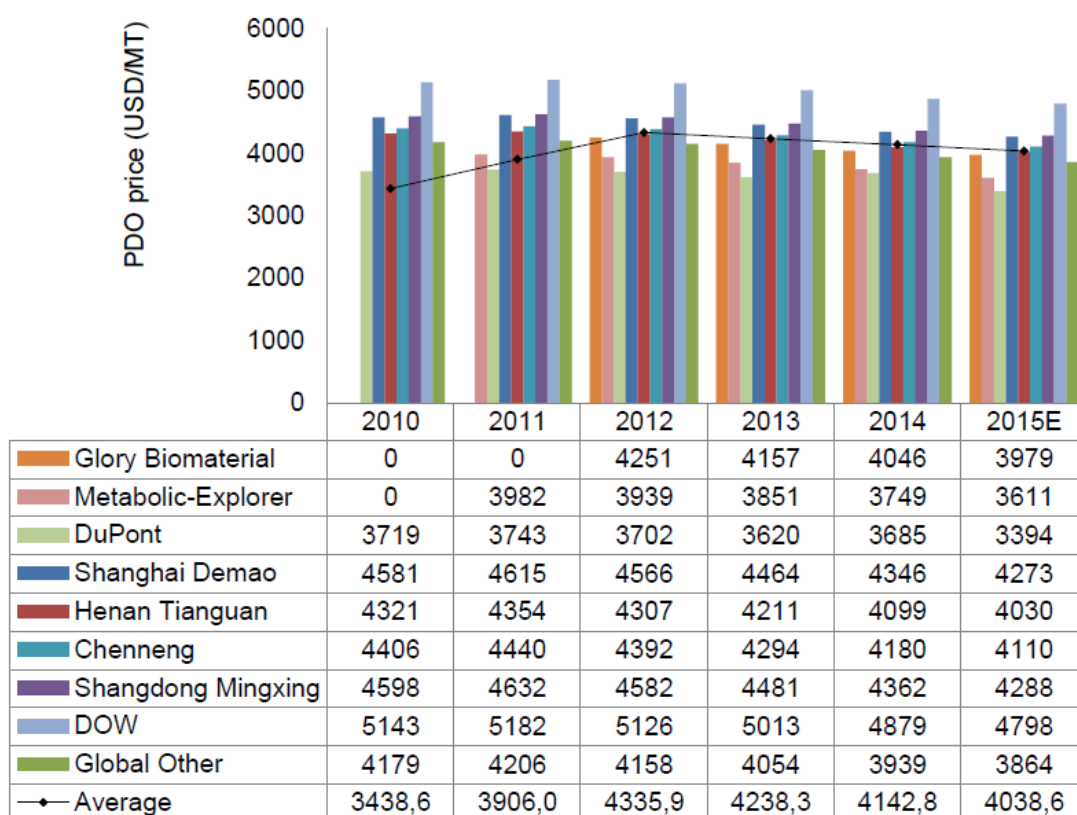


Figura 31. Mayores productores de PDO según precio ofertado. Tomado de referencia [41].

### 9.3.3 Mercado colombiano de los subproductos del 1,3 PDO

La industria colombiana posee varios campos de acción, los cuales podrían permitirse el uso del compuesto PDO para el desarrollo e innovación de nuevas tecnologías aplicadas. De acuerdo con esto, a continuación se presentarán algunos de los sectores que se podrían tener en cuenta, luego de una breve descripción de su participación en el mercado mundial.

#### Industria de cosméticos

De acuerdo con las cifras representadas en la figura 32, dicho sector representa una gran cantidad de exportaciones. En el último año alcanzó su cifra más alta durante la última década, siendo de 9.885 toneladas y según el comportamiento se podría inferir un crecimiento en dicha participación.

Los departamentos que presentaron mayor participación fueron: Bogotá, Valle del Cauca y Cundinamarca. Los principales destinos de este mercado se encuentran en América Latina, siendo Perú el principal destino de este producto.

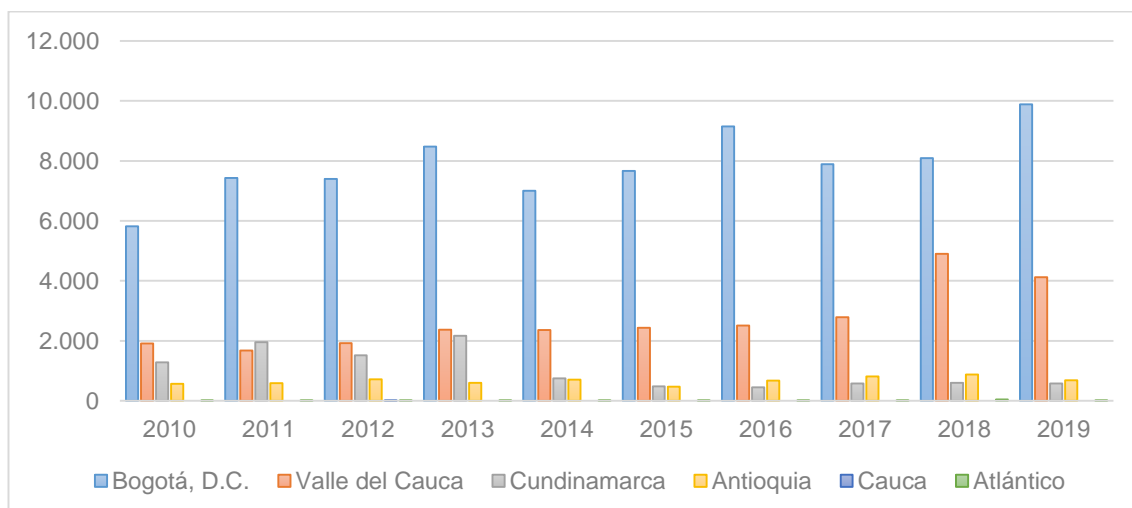


Figura 32. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria cosmética, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

En cuanto a las importaciones se refiere, en la Figura 33, se evidencia una participación activa de los dos primeros países exportadores como lo son Bogotá y Valle del Cauca. Sin embargo, sus cifras promedian la mitad del producto exportado encontrando su valor más alto en 4.795 toneladas recibidas el año inmediatamente anterior. Los países principales de origen de este producto son: México, Brasil y Argentina.

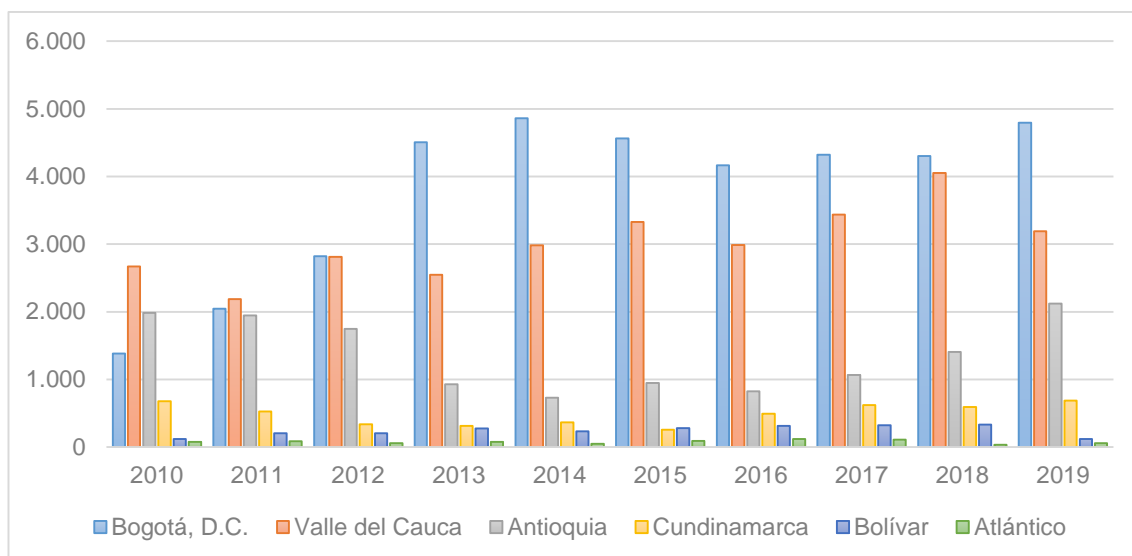


Figura 33. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria cosmética, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

### **Fabricantes de detergentes (Detergentes y Jabones – Fabricación de jabones y detergentes)**

La fabricación de productos de aseo es sin duda una de las industrias que representa mayor participación en el mercado mundial para Colombia, de acuerdo con la figura 34, el departamento de Antioquia es el mayor exportador del territorio nacional. A pesar de que sus inicios en la última década no fueron tan prometedores, su repunte supero por mucho al segundo del listado alcanzando la cifra de 53.347 toneladas exportadas para el año 2019. Cabe destacar que el departamento del Valle del Cauca durante los años 2013 y 2019 mantuvo una participación constante en el mercado, promediando 24.750 toneladas exportadas. Los principales beneficiarios de dicho producto fueron Perú, Ecuador y China, el país Inca a final del último año demando un total de 42.820 toneladas doblando en cantidad al país ecuatoriano.

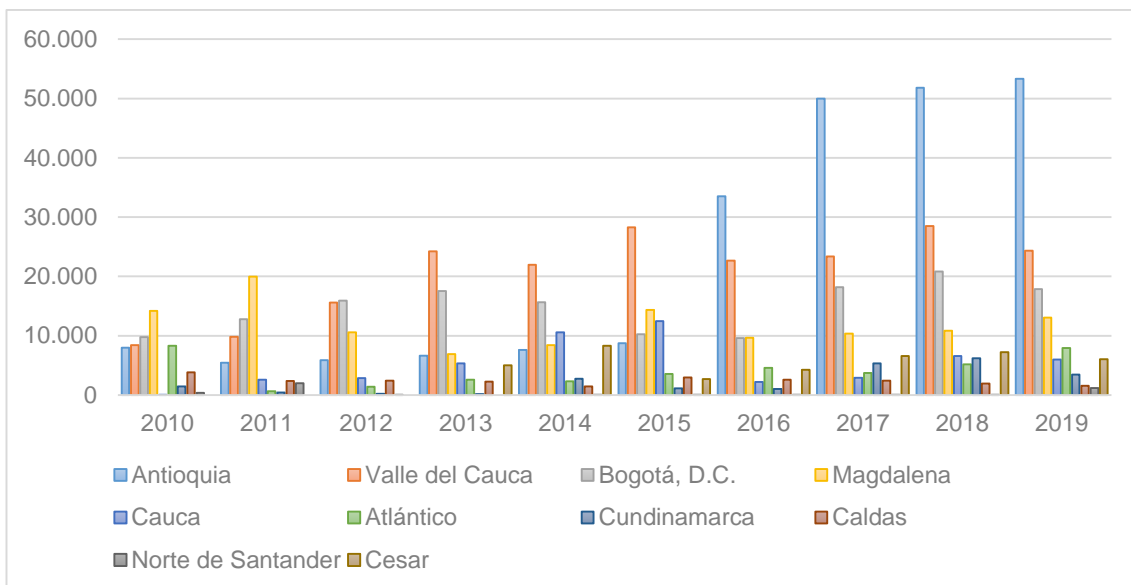


Figura 34. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de detergentes, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

En cuanto a las importaciones se refiere, en la Figura 35, se puede evidenciar que, aunque el país demanda este producto principalmente de Estados Unidos, México y Alemania, tan solo representa la mitad de producto exportado. Adicionalmente, si se realiza una comparación del comportamiento del mercado, en la última década Colombia paso de demandar a ofertar el producto ya que para el año 2019 las importaciones tuvieron una tendencia a la baja.

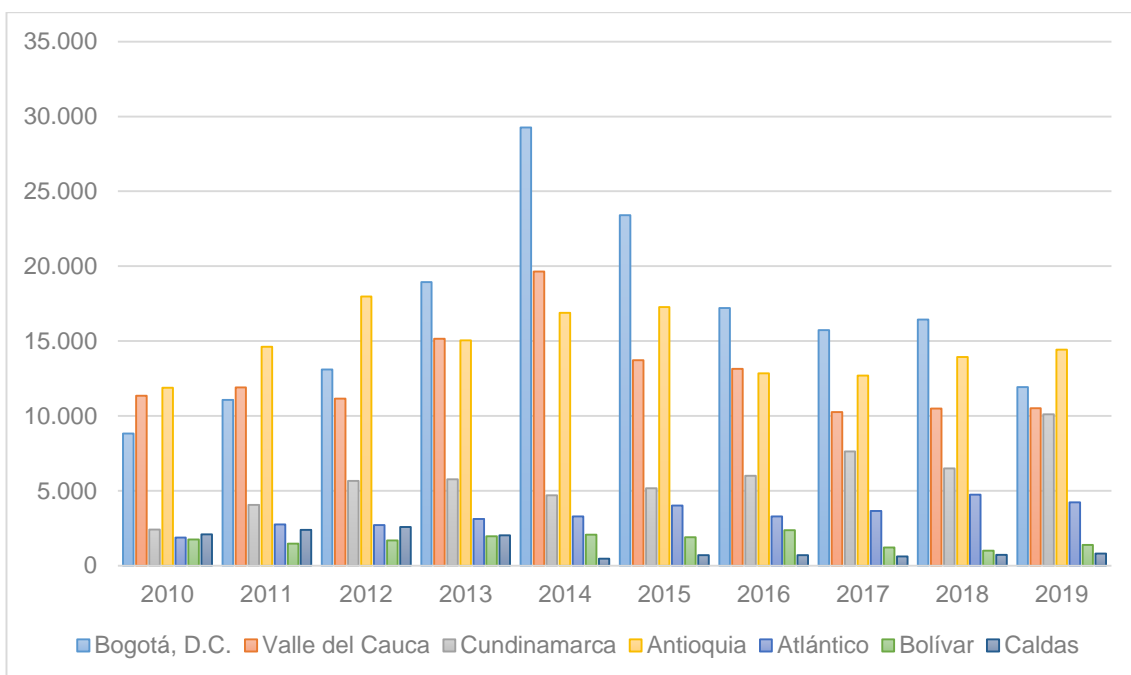


Figura 35. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de detergentes, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]



## Productores de alimentos (Alimentos procesados – elaboración de otros productos)

Continuando con el sector alimenticio, específicamente productoras de alimentos procesados, encontramos que el departamento del Valle del Cauca representa la mayor participación. Sin embargo, en comparación con otros sectores son cifras muy pequeñas, su cifra más alta fue alcanzada en el año 2018 lo que significó 4.304 toneladas de producto exportado. Los principales destinos del insumo fueron países latinoamericanos, siendo Panamá el de mayor demanda, como se presenta en la Figura 36.

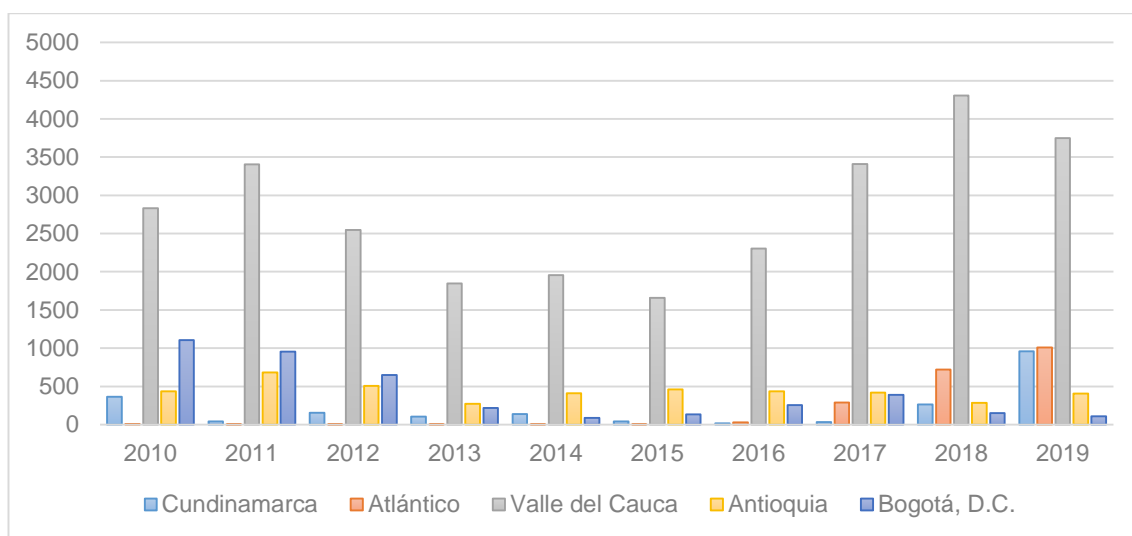


Figura 36. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de alimentos procesados, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

Por otra parte, las importaciones presentan cifras de alguna manera normales ya que son cantidades equiparables a las exportadas, ver Figura 37. La capital del país fue quien recibió en mayor cantidad este tipo de productos, siendo el año 2015 el de mayor relevancia. El principal origen de dicho insumo se encuentra al norte del continente ya que Estados Unidos y México son los primeros en el listado.

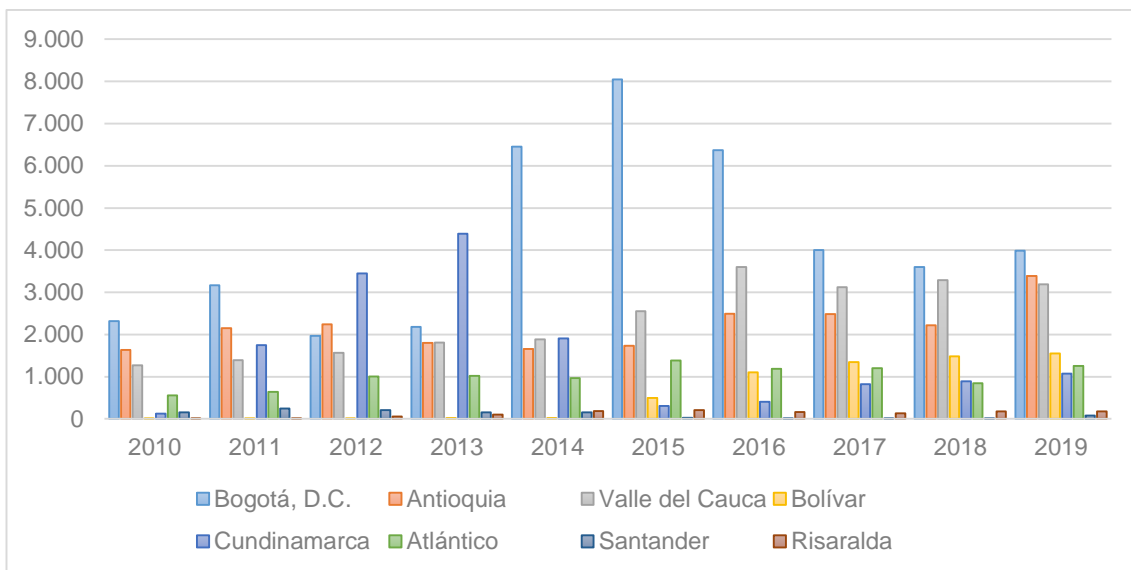


Figura 37. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de alimentos procesados, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

### Sector farmacéutico (Fabricación de productos farmacéuticos)

El sector farmacéutico es sin duda uno de los más destacados en cuanto a exportaciones se refiere, siendo Bogotá el principal productor. Tal como se evidencia en la figura 38 la capital del país tuvo un crecimiento positivo en cuanto a toneladas exportadas se refiere, para el año 2019 obtuvo su cifra más alta lo que representó unas 47.497 toneladas, los principales receptores de este insumo fueron Chile, Ecuador y El Salvador.

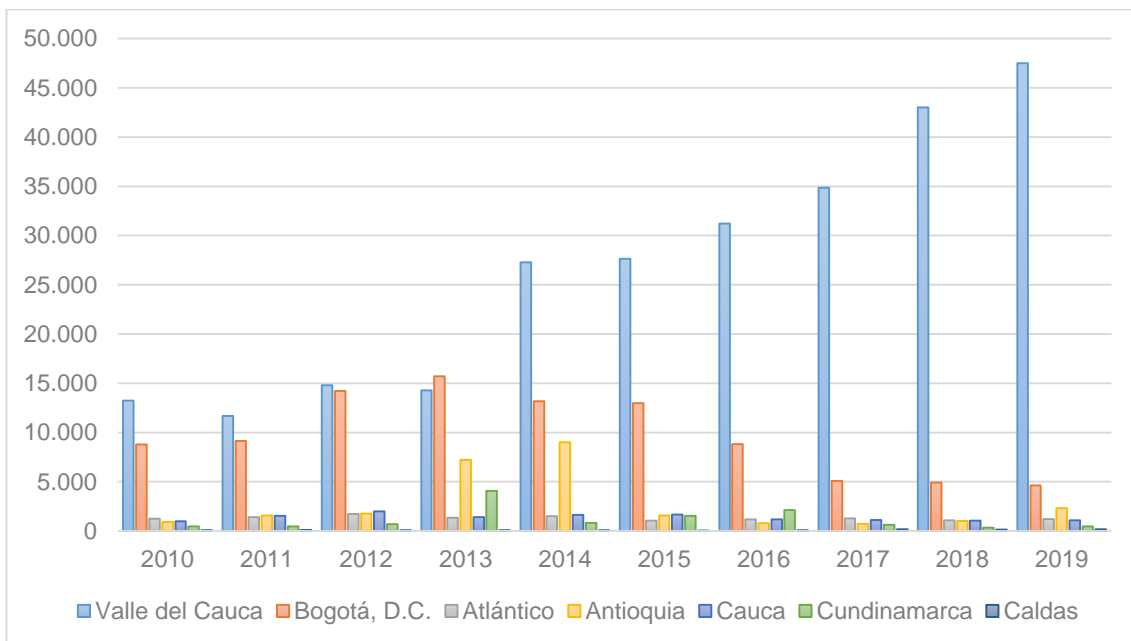


Figura 38. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria farmacéutica, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

Sin embargo, se evidencia una gran cantidad de importaciones para estos mismos insumos, especialmente para la capital del país. Sus cifras incluso doblan al total de las exportadas, lo que puede significar que el país carece de inversión en investigación y desarrollo teniendo en cuenta que dichos componentes son producidos dentro del país, siendo en últimas la fabricación de un producto final el gran ausente, como se presenta en la Figura 39.

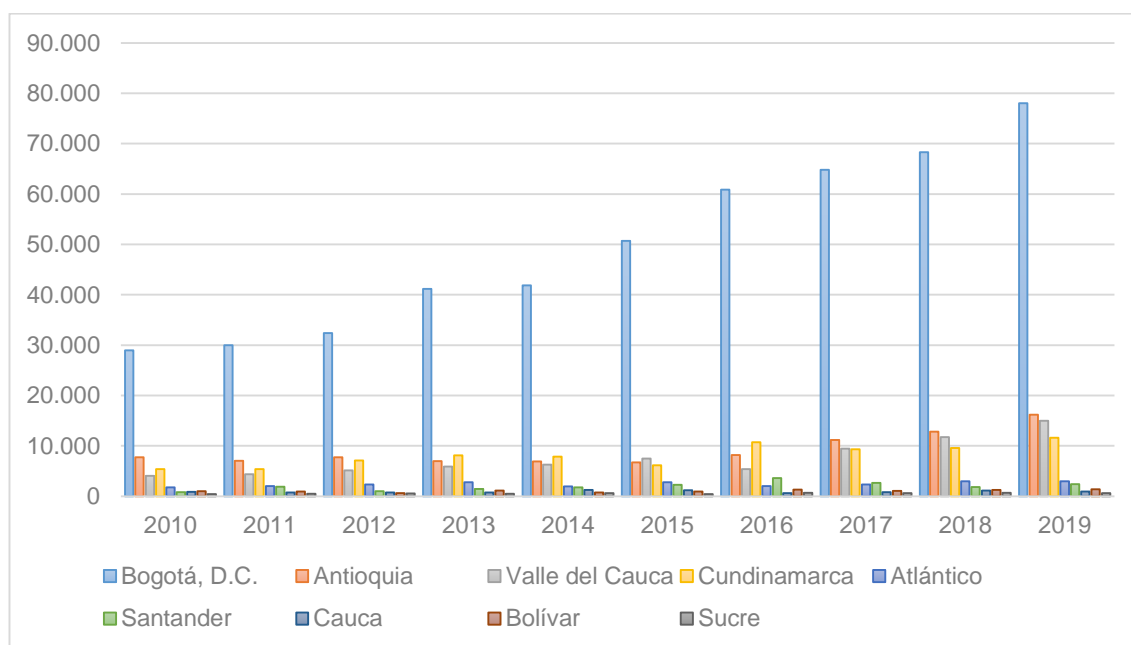


Figura 39. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria farmacéutica, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

### Sector textil (Textiles – fabricación de fibras sintéticas y artificiales)

Como se ha mencionado anteriormente la industria textil ha sido una de las más innovadoras en cuanto a desarrollo de producto se refiere, sobre todo el sector deportivo, demanda grandes avances que les permitan a los profesionales de distintas disciplinas obtener un mejor desempeño. Anteriormente, dicho gremio enfocaba sus esfuerzos solo en la condición física, sin embargo, varias personas se dieron a la tarea de realizar una investigación sobre los complementos y equipo usado por los deportistas. De esta manera las prendas utilizadas para el desarrollo de las diferentes disciplinas comenzaron a tomar importancia, tomando en cuenta características como: elasticidad, resistencia, duración, adaptabilidad entre otras.

El sector textil logro adicionar el compuesto PDO a algunos de sus productos, permitiendo la adición de diferentes características según sea la disciplina practicada, como se presenta en la Figura 40. Ahora bien, en cuanto a las exportaciones de productos textiles se refiere, Colombia ha incursionado en este mercado alcanzando cifras significativas al final de la última década, siendo el departamento de Antioquia el mayor exponente. Los principales destinos de

dicho componente fueron Brasil, Estados Unidos y Perú. Cabe aclarar que dichas cifras corresponden a la fabricación de fibras sintéticas y artificiales las cuales pueden presentar en su composición el compuesto 1,3 PDO.

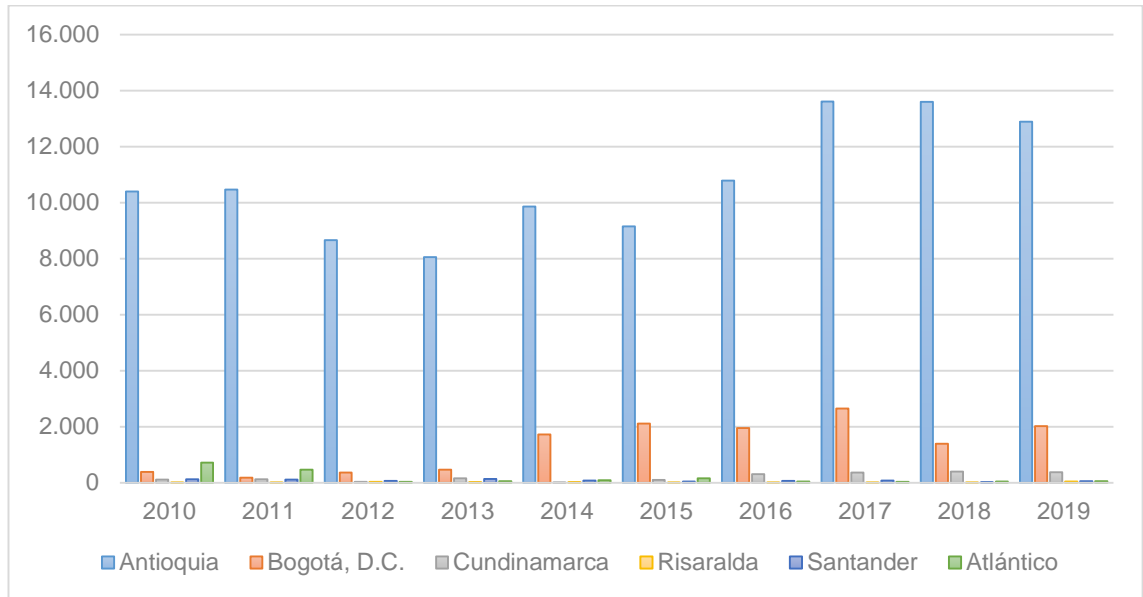


Figura 40. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria textil, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

En cuanto a las importaciones, Figura 41, el país presentó cifras bastante significativas alcanzando las 40.000 toneladas. Todo este material fue recibido en la capital colombiana proveniente principalmente de China, India y Corea del sur.

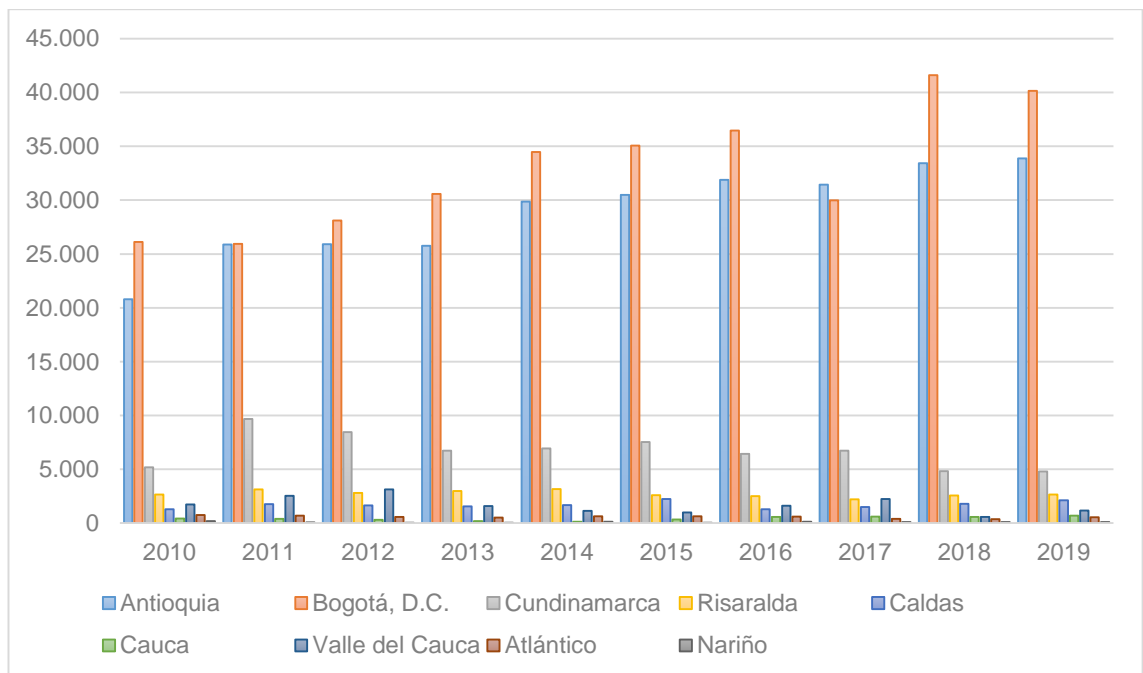


Figura 41. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria textil, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

## Fluidos de interferencia de calor

### Sector de pinturas y recubrimientos (Pinturas, barnices, tintas – Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos)

Finalmente, también encontramos presente la adición del compuesto en la fabricación de pinturas, barnices y demás revestimientos, todos estos debido a la capacidad del PDO de potenciar los productos. Agregando características adicionales a este tipo de productos. Los países que recibieron este producto en mayor cantidad fueron Ecuador, Perú y Panamá, aunque las cifras son pocas si se compara con otro tipo de industria. En la figura 42 se evidencia el comportamiento de este nicho, donde Antioquia una vez más sobresale por el resto de los departamentos, su cifra más alta se registró en el año 2019 donde produjo 9.190 toneladas, seguido de Bolívar que finalizó este periodo de tiempo con 4.548 toneladas, a pesar de no tener participación a principios del 2010.

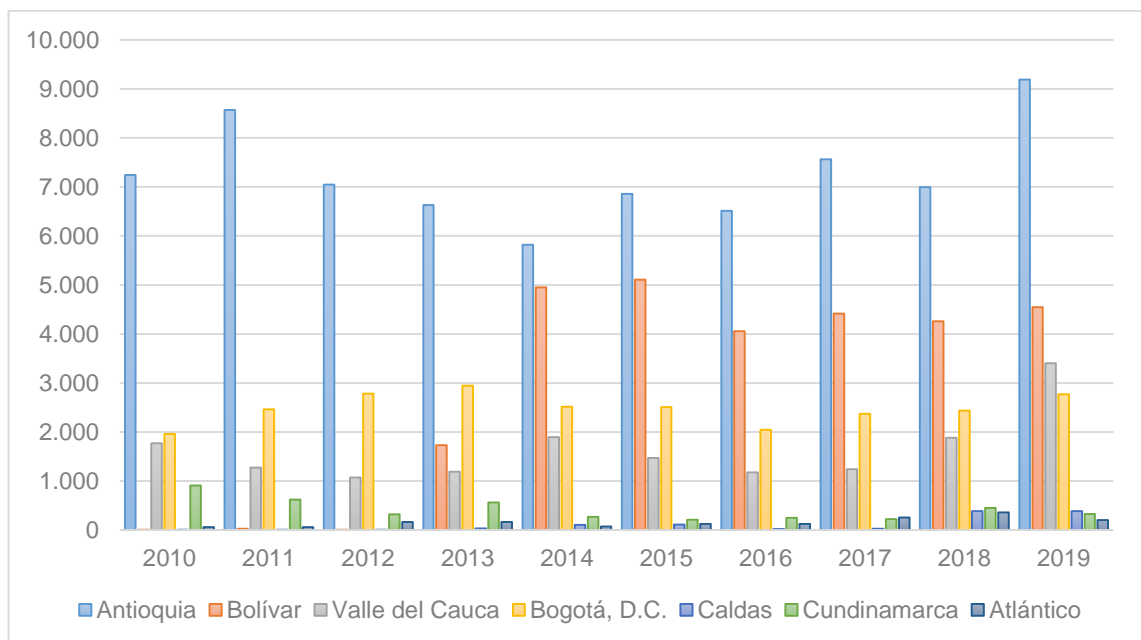


Figura 42. Comportamiento de las exportaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de pinturas, barnices y revestimientos, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

La cantidad de importaciones supera por mucho la cantidad exportada, siendo España el principal origen del producto obtenido. Ciertamente Antioquia fue el mayor interesado en este tipo de producto, ya que se posicionó como el principal demandante de dicho compuesto, su cifra más alta se registró en el año 2018 donde alcanzó 22.627 toneladas.

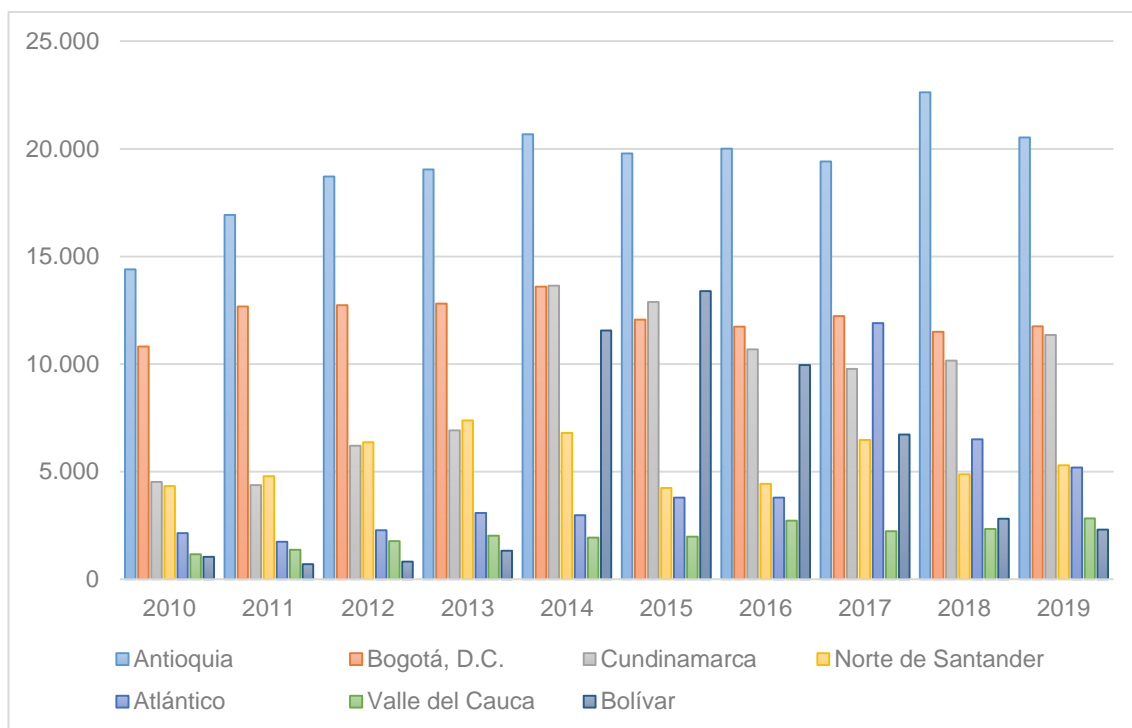


Figura 43. Comportamiento de las importaciones del mercado colombiano para la industria fabricante de pinturas, barnices y revestimientos, periodo 2010 - 2019. Información obtenida de [40]

Ahora bien, la capacidad del compuesto PDO para adherirse a la fabricación de otros productos lo posiciona como gran aliado para el departamento de investigación y desarrollo de los diferentes tipos de industria. La compañía DuPont cuenta con una gran cantidad de productos en el mercado, dichos productos poseen el compuesto PDO en su proceso de fabricación, de allí que fue posible realizar una segmentación de los diferentes tipos de mercado que podrían sacar provecho de la incorporación del 1,3-propanodiol en el desarrollo de sus productos.

Como se pudo apreciar, Colombia cuenta con participaciones más significativas que otras según sea el mercado al que se decía orientar la adición del compuesto. Sin embargo, se destaca su presencia en todos los campos que hoy en día incursionan con la adición de este tipo de compuesto en sus productos. Lo que permite concluir que el país está preparado para aprovechar este tipo de innovación, siendo una gran oportunidad de negocio para las diferentes industrias del país; teniendo en cuenta que actualmente el país ya cuenta con compañías productoras de biocombustibles que destilan glicerina a muy bajo costo por la sobre oferta de dicho residuo, del cual se puede obtener el compuesto PDO.

Este tipo de avances se presentarían siempre y cuando las compañías estén dispuestas a realizar importantes esfuerzos en el desarrollo del compuesto y los demás procesos intrínsecos en la fabricación de los diferentes tipos de producto.

Lo que podría originar una revolución para el territorio nacional que signifique un antes y un después en la participación en el mercado mundial, donde Colombia podría convertirse en uno de los principales ofertantes de productos de nueva generación.

## 10. CONCLUSIONES

- La aparición de plantas productoras de biocombustibles en el país que generan al final del ejercicio una demanda excesiva de glicerina, evidencia que el mercado colombiano puede permitirse incursionar en los diferentes campos de desarrollo y utilización del compuesto 1,3-PDO, teniendo en cuenta que puede aplicarse en diversos campos.
- La producción de 1,3 PDO analizada en el proceso destilativo, incluyó las etapas de fermentación, filtración, evaporación, adsorción y dos etapas de destilación. Por medio de este proceso se logra una concentración del 99,9% de 1,3 PDO, separándolo de las impurezas del caldo de cultivo.
- La posibilidad de agregar una destilación adicional al final de la cadena de producción del compuesto permitirá obtener resultados que alcancen altas concentraciones de PDO, alcanzando el mayor provecho del compuesto a base de glicerina.
- El proceso involucro un sistema de dos fases acuosas (ATPS) en la cadena de producción, lo que permitió obtener concentraciones superiores al 95% del compuesto reduciendo las operaciones de fabricación.
- Al incluir la operación ATPS en el balance de materia, se realizó la propuesta de las siguientes operaciones en orden: Fermentación, filtración, ATPS, adsorción, y dos etapas de filtración. En este proceso se recupera únicamente el 77% del PDO producido en la fermentación, ya que el 23% restante queda mayoritariamente en el líquido de la fase acuosa, el cual se debe proponer un proceso de separación y purificación.
- Una cadena de producción del compuesto que incluya el proceso ATPS puede significar gran ahorro de energía y dinero ya que es un proceso que no requiere energía y permite la recirculación de sus derivados.
- Es importante resaltar que el proceso ATPS logra concentrar el 1,3 PDO y separar de otros compuestos residuales del caldo de fermentación sin utilizar calor con una operación multietapa de evaporación, propuesta en el proceso inicial.
- Al final del ejercicio se obtiene un compuesto con poca presencia de agua, un valor casi mínimo en comparación al flujo total, así mismo, significa un producto con mayor pureza ya que no presenta glicerina en su composición final.



- A pesar de que en el proceso de ATPS propuesto se adiciona un solvente adicional, el etanol, solo se necesita una etapa de destilación para separar el etanol del resto de los componentes formando una mezcla etanol y agua.
- La participación de Colombia en el mercado mundial de productos de nueva generación fabricados a partir de procesos biotecnológicos, depende en gran manera de la inversión que esté dispuesto a hacer el sector público y privado en procesos de investigación y desarrollo. Los diferentes procesos de innovación e inclusión del monómero en el desarrollo de producto, resultan ser la pieza faltante que le permita a Colombia establecer posición en el mercado mundial.

## 11. RECOMENDACIONES

- La recomendación que se deriva de este ejercicio investigativo, es que se tome como alternativa la inclusión del proceso ATPS en las cadenas de producción de las diferentes compañías que orientan su idea de negocio a la obtención y utilización del PDO, no solo por su valor en cuanto a ahorro de energía y aporte a un planeta más limpio se refiere, sino también en cuanto a la diferencia económica que representa este modelo.
- Se requiere mayor investigación sobre la operación ATPS, para optimizar el proceso, el uso de solvente y de la sal, para lograr parámetros máximo de recuperación y productividad de cada componente en las dos fases y un análisis experimental para identificar la recuperación y recirculación de los componentes de la fase acuosa (fase salada).

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. A. Mayorga, «APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL GLICEROL RESIDUAL,» *TECCIENCIA*, pp. 80-93, NR.
- [2] MERCK, «Merckmillipore,» [En línea]. Available: [http://www.merckmillipore.com/CO/es/product/13-Propanediol,MDA\\_CHEM-807481?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](http://www.merckmillipore.com/CO/es/product/13-Propanediol,MDA_CHEM-807481?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F).
- [3] C. P. Ó. L. A. F. A. A. Z. R. S. y. D. M. Diana Paola Cárdenas, «Evaluación de la producción de 1,3-propanodiol por cepas nativas de Clostridium sp. mediante fermentación a partir de glicerol USP y glicerol industrial subproducto de la producción de biodiésel,» *Universidad Nacional de Colombia*, p. 19, 2006.
- [4] C. J. GEANKOPOLIS, «Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias,» de *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*, MEXICO, CECSA, 1998.
- [5] sinorg, «www.sinorg.uji.es,» [En línea]. Available: <http://www.sinorg.uji.es/Docencia/FUNDQO/TEMA11FQO.pdf>.
- [6] R. E. TREYBAL, «OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA,» de *OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA*, RHODE ISLAND, MC GRAW HILL.
- [7] H. V. y. O. Dacosta, «Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas,» *Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México*, 2007.
- [8] P. A. S. S. J. I. R.K. Saxena, «Microbial production of 1,3-propanediol: Recent developments and emerging opportunities,» *Biotechnology Advances*, 2009.
- [9] P. L. B. Peña, «La Revision Bibliografica,» 2010.
- [10] M. Sales, «Diagrama de Pareto,» *EALDE BUSINESS SCHOOL*, p. 8, 2013.
- [11] Summa University, «Instituto Europeo de Posgrado,» NR. [En línea]. Available: <https://www.iep.edu.es/negocios-internacionales-exportacion-e-importacion/>.
- [12] DANE, «Departamento Administrativo Nacional de Estadística,» [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/acerca-del-dane/informacion-institucional/generalidades>.
- [13] MINCIT, «Ministerio de Comercio Industria y Comercio,» [En línea]. Available: <http://www.mincit.gov.co/ministerio/conozco-mas>.
- [14] R. R. G. M. y. G. M. Raul Monsalvo, *Balance de Materia y Energía Procesos Industriales*, Mexico: Grupo Editorial Patria, 2014.

- [15] R. Felder y R. Rousseau, Principios elementales de los procesos químicos, Mexico: Addison Wesley Iberoamericana S.A., 1991.
- [16] N. Gooding, Balance de materia, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [17] X. C. P. Mancilla, «Estrategia de Modificación Metabólica de una Cepa Nativa de Clostridium Para la Producción de 1,3-Propanodiol a Partir de Glicerol,» Bogota, 2019.
- [18] L. M. S. Bermudez, «ANÁLISIS DE BALANCE DE FLUJO DINÁMICO DE LA PRODUCCIÓN DE 1,3 PROPANODIOL A PARTIR DE Clostridium sp,» Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 2016.
- [19] D. M. Torres, «Evaluación del efecto de la sobreexpresión de los genes groES y groEL en la tolerancia de Clostridium sp. IBUN 158B a 1,3-propanodiol,» Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 2016.
- [20] D. Liu, «Demostración comercial de una biorrefinería de lípidos: coproducción de biodiesel y de 1,3 - propanodiol,» de *Fedepalma*, 2013.
- [21] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, «Producción de solventes de alto valor agregado por cepas nativas de Clostridium spp,» *REVISTA COLOMBIANA DE BIOTECNOLOGIA*, vol. X, nº 1, 2008.
- [22] Laboratorio Químico, «TP - LABORATORIO QUÍMICO,» [En línea]. Available: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/procedimientos-basicos-de-laboratorio/que-es-la-filtracion.html>. [Último acceso: 14 Octubre 2019].
- [23] A. Mendez, «La Guía,» 15 Septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://quimica.laguia2000.com/general/destilacion>. [Último acceso: 14 Octubre 2019].
- [24] V. T. Iván Tubert, «Sobre la Adsorción,» de *Educación Química*, Mexico, UNAM, 1997, pp. 186 - 190.
- [25] M. P. Cortes, «PREDICCIÓN DEL COEFICIENTE DE PARTICIÓN DE PROTEÍNAS EN SISTEMAS DE DOS FASES ACUOSAS A TRAVÉS DE LA CARACTERIZACIÓN BIOINFORMÁTICA DE SU SUPERFICIE,» Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Chile, 2008.
- [26] N. B. C. González, «Evaluación de la expresión del proteoma intracelular de una cepa nativa colombiana de Clostridium sp. en condiciones de producción de 1,3-propanodiol,» Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 2011.
- [27] K. L. Daria Szymanowska-Powalowska, «An increasing of the efficiency of microbiological synthesis of 1,3-propanediol from crude glycerol by the concentration of biomass,» *Electronic Journal of Biotechnology*, p. 7, 2014.

- [28] J. R.-E. S. Espinel-Ríos, «PRODUCCIÓN DE 1,3-PROPANODIOL A PARTIR DE GLICEROL CRUDO: DISEÑO DEL BIOPROCESO Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD,» *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 18, nº 3, p. 10, 2019.
- [29] E. A. Villaseñor, «Desarrollo de catalizadores Pt-WO<sub>x</sub>/ZrO<sub>2</sub> para la producción selectiva de 1,3-propanodiol,» Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico, 2015.
- [30] B. J. D. Z. X. Zhigang Li, «Aqueous two-phase extraction of 1,3-propanediol from glycerol-based Aqueous two-phase extraction of 1,3-propanediol from glycerol-based,» Separation and Purification Technology, Dalian, 2009.
- [31] T. G. a. I. Smirnova, *Liquid-Liquid Equilibria of Quaternary Systems Composed of 1,3-Propanediol, Short-Chain Alcohol, Water, and Salt*, Alemania: ACS Publications, 2016.
- [32] Z. Z. B. C. Caixia cuia, «Environmentally-friendly strategy for separation of 1,3-propanediol using biocatalytic conversion,» *Bioresource Technology*, vol. 245, pp. 477 - 482, 2017.
- [33] Y.-Q. S. W.-L. Z. H. T. Z.-L. X. Zhi-Gang Li, «A novel and environment-friendly bioprocess of 1,3-propanediol fermentation integrated with aqueous two-phase extraction by ethanol/sodium carbonate system,» *Biochemical Engineering Journal*, vol. 80, pp. 68 - 75, 2013.
- [34] C. A. C. J. C. H. J. A. T. a. Y. A. P. J. A. Posada, «Design and Economic Analysis of the Technological Scheme for 1,3-Propanediol Production from Raw Glycerol,» *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, vol. 47, nº 3, pp. 239 - 253, 2013.
- [35] A. P. P. B. Narisetty Vivek, «An efficient aqueous two phase systems using dual inorganic electrolytes to separate 1,3-propanediol from the fermented broth,» *Bioresource Technology*, vol. 254, nº January, pp. 239 - 246, 2018.
- [36] A. O. ORTIZ, «EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS EN LA UTILIZACIÓN DE LA GLICERINA COMO SUBPRODUCTO DE LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE BIODIESEL BIO D S.A. DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ,» UNIVERSIDAD LIBRE, BOGOTÁ, 2013.
- [37] E. B. U. M. T. K. y. A.-P. Z. Ozlem Aydogan, *Selection and optimization of an aqueous two-phase system for the recovery of 1,3-propanediol from fermentation broth*, Hamburgo: InterScience, 2010.
- [38] J. Gacén, «POLIÉSTERES PARA NUEVAS FIBRAS QUÍMICAS,» BOLETIN INTEXTER, NR, 2003.
- [39] R. E. M. I. R. A. H. Max M. HOUCK, «POLY(TRIMETHYLENE TEREPHTHALATE): A "NEW" TYPE OF POLYESTER FIBRE,» Problems of Forensic Sciences, ESTADOS UNIDOS, 2001.
- [40] C. Productiva, «Mapa Regional de Oportunidades,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.maroc.com.co/consulta-general/bienes/2>. [Último acceso: 09 Diciembre 2019].

- [41] J. D. G. Rodriguez, «Conceptual Design of a Downstream Process of Bio-based 1,3-propanediol,» Universidad Nacional de Colombia, BOGOTA, 2016.
- [42] M. E. Raffino, «CONCEPTO DE,» 10 Diciembre 2008. [En línea]. Available: <https://concepto.de/fermentacion/>. [Último acceso: 14 Octubre 2019].