

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i1.232>

## Evaluación económica de la obtención de bioetanol a partir de desechos orgánicos mediante la simulación del proceso

*Economic evaluation of the obtaining of bioethanol from organic waste through the simulation of the process*

**Daniel Esgardo Mendoza Zambrano**

[daniel.mendoza@utm.edu.ec](mailto:daniel.mendoza@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0006-3169-1037>

Instituto de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Manabí  
Portoviejo – Ecuador

**Héctor Andrés Zambrano Noboa**

[hector.zambrano@utm.edu.ec](mailto:hector.zambrano@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-1251-7579>

Instituto de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Manabí  
Portoviejo – Ecuador

**Lady Monserrate Cedeño Pinargote**

[lady.cedeno@utm.edu.ec](mailto:lady.cedeno@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0009-2283-3998>

Instituto de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Manabí  
Portoviejo – Ecuador

**Shuebrt Lenin Aray Navia**

[shubert.aray@utm.edu.ec](mailto:shubert.aray@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0006-0124-9256>

Instituto de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Manabí  
Portoviejo – Ecuador

**Joseph Fabricio Guillen García**

[joseph.guillen@utm.edu.ec](mailto:joseph.guillen@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0003-8378-8277>

Instituto de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Manabí  
Portoviejo – Ecuador

*Artículo recibido: 20 mayo 2024*

*Aceptado para publicación: 26 junio 2024*

*Conflictos de intereses: Ninguno que declarar*

### RESUMEN

La investigación se enfocó en determinar la factibilidad de una planta productora de bioetanol a escala industrial en la ciudad de Portoviejo utilizando como materia prima la composición de desechos orgánicos provenientes de la industria alimentaria. La simulación del proceso se realizó mediante la utilización software *SuperPro Designer* donde se plantearon alternativas tecnológicas como la destilación y la separación por membranas. Los flujos finales del sistema obtuvieron un grado alcohólico superior al 95 % m/m con un porcentaje de rendimiento del 9.26% para la destilación y del 7.59% para el proceso de separación por membrana. Por su parte, para la

evaluación financiera se añadieron especificaciones tecno-económicas al proceso como precios de equipos, insumos, energía, consumibles, mano de obra, costos directos e indirectos. En cuanto a la economía, el resultado fue interpretado mediante índices económicos proporcionados por el programa, obteniendo valores positivos de rentabilidad con un tiempo de retorno de la inversión superior a los 3 años y un costo unitario de producción de 0.87\$/Litro para el proceso de destilación y 1.33\$/Litro para el proceso de separación por membrana. Para el análisis de sensibilidad se plantearon 3 escenarios distintos donde modificaron variables de costo de venta, consumibles y utilidades producidas por la planta.

*Palabras clave:* bioetanol, desecho orgánico, evaluación económica, simulación

### ABSTRACT

The research was based on determining the feasibility of an industrial-scale bioethanol production plant in the city of Portoviejo using the composition of organic waste from the food industry as raw material. The simulation of the process was carried out using the *SuperPro Designer* software where technological alternatives such as distillation and membrane separation were proposed. The final flows of the system obtained an alcoholic degree higher than 95% m / m with a yield percentage of 9.26% for distillation and 7.59% for the membrane separation process. For its part, for the financial evaluation, technical-economic specifications were added to the process such as prices of equipment, supplies, energy, consumables, labor, direct and indirect costs. Regarding the economy, the result was interpreted by economic indices provided by the program, obtaining positive profitability values with a return-on-investment time of more than 3 years and a unit production cost of \$ 0.87 / liter for the process. distillation and \$ 1.33 / L for the membrane separation process. For the sensitivity analysis, 3 different scenarios were proposed where variables: cost of sale, consumables and profits produced by the plant were modified.

*Keywords:* bioethanol, organic waste, economic evaluation, simulation

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

## INTRODUCCIÓN

Los desechos orgánicos (DO) son considerados un problema creciente en el mundo (EPA, 2018). Según lo establecido por (Russell et al., 2013) existen diversos factores que derivan a la generación de desechos como desbordamiento, almacenamiento ineficiente, el traslado, la degradación, cambios ambientales y comportamiento humano.

El Ministerio de Ambiente de Ecuador (MAE) confirma que solamente el 28% de los desechos son dirigidos a rellenos sanitarios, lugares que en primera instancia se controlan, pero con el pasar del tiempo y la reducida gestión administrativa acaban en botaderos. El 72% de los desechos restantes son dispuestos en ríos, arroyos y espacios abiertos que causan diversos problemas como bloqueo de vías fluviales alcantarillas, deslizamientos de tierra, la reproducción de insectos y roedores. (MAE, 2018). Conforme a datos del 2016, la generación anual de residuos del Ecuador fue de 4.06 millones de toneladas, 0.74 kg per cápita; cifra que aumentó para el 2017 generando 5.4 millones de toneladas de desechos anuales lo que sugiere una gestión integral planificada de residuos (MAE, 2018). No obstante, el control de ingeniería puede reducir estas causas, aunque el comportamiento y la actitud son los factores más difíciles de gestionar (Russell et al, 2013).

Se ha implementado el uso de estos residuos para la producción de bioenergía como salida esta problemática; incrementándose potencialmente su uso en diversos países de América y Europa (Kiran, Trzcinski & Liu, 2014). Estudios sostienen que la utilización de DO como fuente potencial de bioenergía es competitiva en comparación calidad y precio contra otros combustibles fósiles tradicionales, también se resalta la considerable reducción de gases nocivos al ambiente (Aburto et al., 2008; Kiran et al, 2014).

Consecuentemente, investigaciones preliminares afirman que la producción de etanol mediante DO resulta rentable por su amplio uso y diversificación en el mercado global; reportando ganancias netas positivas en dependencia del país y la zona geográfica en donde se encuentra realizado el estudio (Murillo et al., 2014; Hernandez et al., 2016; Gomez et al., 2018). De lo anterior, se deriva la importancia de evaluar económicamente la obtención de bioetanol en la ciudad de Portoviejo a partir de DO provenientes de la industria alimentaria y demostrar si resulta factible su producción de en el Ecuador.

Por otro lado, existen diversos métodos ampliamente utilizados para la transformación de desechos DO en bioetanol: como la incineración, pirólisis y gasificación (Espinosa et al., 2015). Sin embargo, autores como (Vázquez & Dacosta, 2007; Pham., et al, 2015) desestiman estos procesos termoquímicos por el alto contenido de humedad de la materia orgánica y una mayor cantidad de energía para su funcionamiento.

En cuanto al proceso de fermentación, es uno de los más utilizados industrialmente ya que considera costos operativos y de capital relativamente bajos (Daystar et al., 2015; Foust et al.,

2009). Por consiguiente, se utilizó el proceso de fermentación como método más idóneo para la transformación del DO y así aprovechar el alto contenido de glucosa 45% m/m que en teoría reporta la composición de materia orgánica investigada por (Muhammad, 2019) para ser convertida en etanol.

## METODOLOGIA

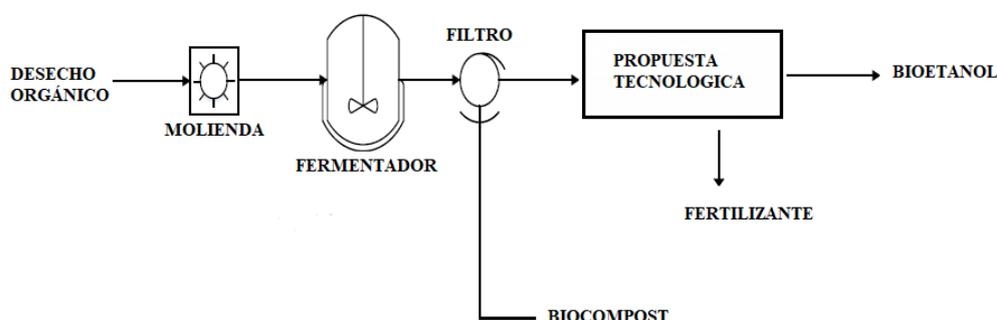
La simulación del proceso se realizó mediante la utilización del software SuperPro Designer al que se le incorporaron operaciones unitarias necesarias para la estimar la producción en una planta a escala industrial. Seguidamente se añadieron los valores determinísticos al proceso. En cuanto al flujo tecnológico se siguió la metodología empleada por (Muhammad, 2019).

### Especificaciones Tecnológicas

La planta opera de forma continua 1 ton/h y cuenta con equipos para el tratamiento del DO. El proceso empieza con la reducción de la materia orgánica a través de la molienda seguido del proceso de fermentación. Posteriormente, la torta húmeda es pasada por el filtro rotatorio para separar los sólidos que posee el cultivo de fermentación para su tratamiento final mediante las propuestas tecnológicas de estudio. El flujo tecnológico se representa en la Figura 1

**Figura 1**

*Esquema del proceso de obtención de bioetanol*



### Desecho Orgánico (DO)

Se utilizó una alimentación de DO proveniente de desperdicios alimentarios que tiene un contenido de humedad del 78% reportada por Muhammad (2019) con una biomasa rica en glucosa y demás componentes para su aprovechamiento. La Tabla 1 se muestra la fracción másica del desecho en base húmeda.

**Tabla 1**

*Valor medio de la composición de DO (% m/m).*

Componente	Fracción Másica (%)
Almidón	19
Ceniza	2
Grasas	14

Fibra	5
Glucosa	45
Proteínas	15

Fuente: Muhammad (2019).

### **Molienda**

Consiste en pulverizar los residuos lignocelulósicos hasta disminuir el grosor de partícula de 0.2-2 milímetros para un mejor manejo del material hacia el fermentador (Rodríguez, 2014). Se utilizó un equipo de molienda tipo amoladora con capacidad industrial de 1000 kg/h.

### **Fermentador**

Se simuló el uso de un fermentador anaerobio con tiempo de residencia de 20 horas; allí se recreó una fermentación en estado sólido. Según lo establecido por (Vázquez & Dacosta, 2007), la fermentación alcohólica ocurre cuando la glucosa es convertida en etanol mediante la siguiente reacción estequiométrica:



La principal ruta metabólica da lugar a la producción de etanol más dióxido de carbono entre otros metabolitos. Para favorecer la producción de alcohol se utilizó levadura *saccharomyces cerevisiae*, en la que se estableció una temperatura de trabajo de 35°C sin considerar una inactivación de la levadura por sus características termo-tolerantes (De la Prida., 2012).

### **Filtro de Tambor**

Se optó por un filtro de tambor rotario debido a su utilidad con líquidos que contienen un alto contenido de sólidos, alrededor del 15-30% que podrían obstruir otras formas de filtro (Smith & Scott, 2005). Su implementación en el sistema se debe a la gran cantidad de sólidos que posee la materia orgánica.

### **Subproductos**

El flujo de residuos del proceso de conversión se considera un subproducto aprovechable, como abono (biocompost) y fertilizante orgánico que genera un valor agregado al proceso.

### **Propuestas tecnológicas**

#### **Destilación**

Los destiladores permiten separar por evaporación el etanol del cultivo de fermentación (Vázquez & Dacosta, 2007). Por consiguiente, la destilación se basó en sistemas de separación etanol-agua (Rios & Marin, 2010). Las condiciones de operación del proceso se especifican en la Tabla 2.

**Tabla 2***Datos de operación del proceso de destilación*

<b>Datos de operación</b>	<b>Valor</b>
Relación de reflujo	1.5
Presión	1.013 bar
Eficiencia de las etapas	80%
Temperatura final del condensador	30 °C
Agente de enfriamiento	Glicol
Temperatura de calentamiento	100 °C
Agente de calentamiento	Vapor

Fuente: Elaboración propia

### **Uso de Membrana**

El filtro utilizado está compuesto por membranas porosas hidrófobas. Investigaciones realizadas por (Banat & Simandl, 1999; Baeyens, Kang, Appels, Dewil & Tan, 2015) mantienen que el flujo permeado aumenta gradualmente con el incremento de la temperatura de alimentación en rangos de 37 °C a 61 °C. Por consiguiente, se ha considerado una etapa de precalentamiento de la materia orgánica de 37 °C antes de ingresar al filtro para favorecer la permeabilidad. El producto final se purificará utilizando un tamiz molecular o tecnología de deshidratación 3A con un tamaño de poro nominal de 3 angstroms. (Brown & Brown, 2014; Kwiatkowski et al., 2006).

### **Evaluación económica**

La economía es un factor de vital importancia al momento de emprender cualquier proyecto ya que es muy útil para lograr compromisos técnicos y económicos (Lauzurique et al., 2017).

Por consiguiente, es necesario evaluar la factibilidad de cada alternativa planteada mediante los indicadores económicos conocidos como Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Otros indicadores como margen de utilidad neta, margen de utilidad bruta, tiempo de retribución, costos netos operacionales, porcentaje de retorno de la inversión (ROI) son parte esencial del análisis de factibilidad de un proyecto de inversión.

### **Especificaciones Tecno-económicas**

Las especificaciones tecno-económicas tomando a consideración la ubicación geográfica y los costos de producción para el desarrollo del proyecto se detallan a continuación:

1. El precio de adquisición de equipos está acorde a el tamaño, construcción y diseño generado por el simulador. Consiguientemente, se realizó una búsqueda web en el mercado chino (*Alibaba.com*) asumiendo el precio de embarque (FOB) y los valores correspondientes a la importación: impuestos nacionales (IVA, aranceles, nacionalización del equipo, aduanas, salida de capitales) y el transporte hacia la planta en Portoviejo,

Manabí, Ecuador. La Tabla 3 muestra la descripción simulada por el programa y el costo unitario de los equipos necesarios para la realización de ambos proyectos tecnológicos.

**Tabla 3**

*Costo de equipos para la obtención de bioetanol a partir de DO*

<b>Tecnología</b>	<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo (\$)</b>
Destilación	Amoladora	Capacidad 1000.00 kg / h	8000
	Fermentador	Volumen del recipiente 25930.62 L	60000
	Filtro de vacío rotativo	Área de filtro 1.60 m <sup>2</sup>	28000
	Columna de destilación	Volumen de la columna 134.53 L	19000
	Columna de destilación	Volumen de la columna 31.77 L	16 000
	Calentador eléctrico	Potencia eléctrica 3.54 kW	10000
	Intercambiador de calor	Área de intercambio de calor 0.04 m <sup>2</sup>	10000
	Válvula de compuerta	Diámetro de la válvula 0.34 cm	1000
	Bomba centrífuga	Potencia de la bomba 1.67 kW (1 HP)	12000
	Valvula	Diámetro de la válvula 0.88 cm	1000
		Equipo no listado	41000
	<b>TOTAL</b>	<b>204000</b>	
<b>Tecnología</b>	<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo (\$)</b>
Membrana	Amoladora	Capacidad 1000.00 kg / h	8000
	Fermentador	Volumen del recipiente 25930.62 L	60000
	Filtro de vacío rotativo	Área de filtro 1.60 m <sup>2</sup>	28000
	Filtro de Membrana	Área de la membrana 5.22 m <sup>2</sup>	35000
	Tamiz Molecular 3A	Flujo 78,96 kg / h	15 000
	Intercambiador de calor	Área de intercambio de calor 0.04 m <sup>2</sup>	10000
	Bomba centrífuga	Potencia de la bomba 1.67 kW (1 HP)	12.000
	Válvula de globo	Diámetro de la válvula 1.47 cm	6.000
	Equipo no listado	43.000	
	<b>TOTAL</b>	<b>217.000</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

- Se adaptaron los supuestos técnicos en el simulador como costos operativos y costos totales de la planta. Los costos directos o variables y costos fijos o indirectos de la planta están acorde a las necesidades del proyecto como se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Costos totales cargados a la planta de producción de bioetanol*

<b>Costo directo total de la planta (TPDC) (costo físico)</b>	<b>Destilación</b>	<b>Membrana</b>
1. Costo de compra de equipo	204000	217000
2. Instalación	72000	96 000

3. Tubería de proceso	71000	76000
4. Instrumentación	82000	87000
5. Aislamiento	6000	7000
6. Eléctrico	20000	22000
7. Edificios	92000	98000
8. Mejora del jardín	31000	33000
9. Instalaciones auxiliares	82000	87000
<b>TPDC</b>	<b>659000</b>	<b>721000</b>
<b>Costo indirecto total de la planta (TPIC)</b>	<b>Destilación</b>	<b>Membrana</b>
10. Ingeniería	165000	180000
11. Construcción	231000	252000
<b>TPIC</b>	<b>396000</b>	<b>433000</b>
<b>Costo total de la planta (TPC = TPDC + TPIC)</b>	<b>Destilación</b>	<b>Membrana</b>
TPC	1055000	1154000
<b>3D. Honorarios y contingencias del contratista (CFC)</b>	<b>Destilación</b>	<b>Membrana</b>
12. Honorarios del contratista	53000	58000
13. Contingencia	105000	115000
<b>CFC = 12 + 13</b>	<b>158000</b>	<b>173000</b>
<b>3E. Costo directo de capital fijo (DFC = TPC + CFC)</b>	<b>Destilación</b>	<b>Membrana</b>
DFC	1213000	1327000

Fuente: Elaboración propia.

- Los requerimientos energéticos también están considerados e implementado en este análisis como la electricidad 10.5¢/Kw-h y el agua a 1.50 \$/m<sup>3</sup> según la tarifa de servicios industriales para la ciudad. (ARCONEL, 2021; PORTOAGUAS, 2021).
- Se consideró el gasto laboral de los empleados y operarios de la planta cumpliendo con las leyes ecuatorianas. Por consiguiente, se estimó un promedio de 3.53\$/hora según la ley orgánica para la justicia laboral en el Ecuador (CEPAL, 2021).
- Se tomará como ingreso principal a la producción de bioetanol y se compararan los costos unitarios de producción contra los costos de venta del bioetanol al mercado nacional de como objeto de análisis; mientras que el abono orgánico (biocompost) proveniente de los sólidos del filtrado será tomado como ingreso residual. Sin embargo, en el proyecto se omitió los ingresos por venta de fertilizante para evitar los costos de producción que conlleva la purificación de esta sustancia.
- Se asignó un precio de venta inicial 0.70 USD por litro de bioetanol y un precio de 0.08 USD por libra de Biocompost. Estos valores serán modificados en el análisis de sensibilidad de acuerdo a los precios de venta actuales en el Ecuador.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

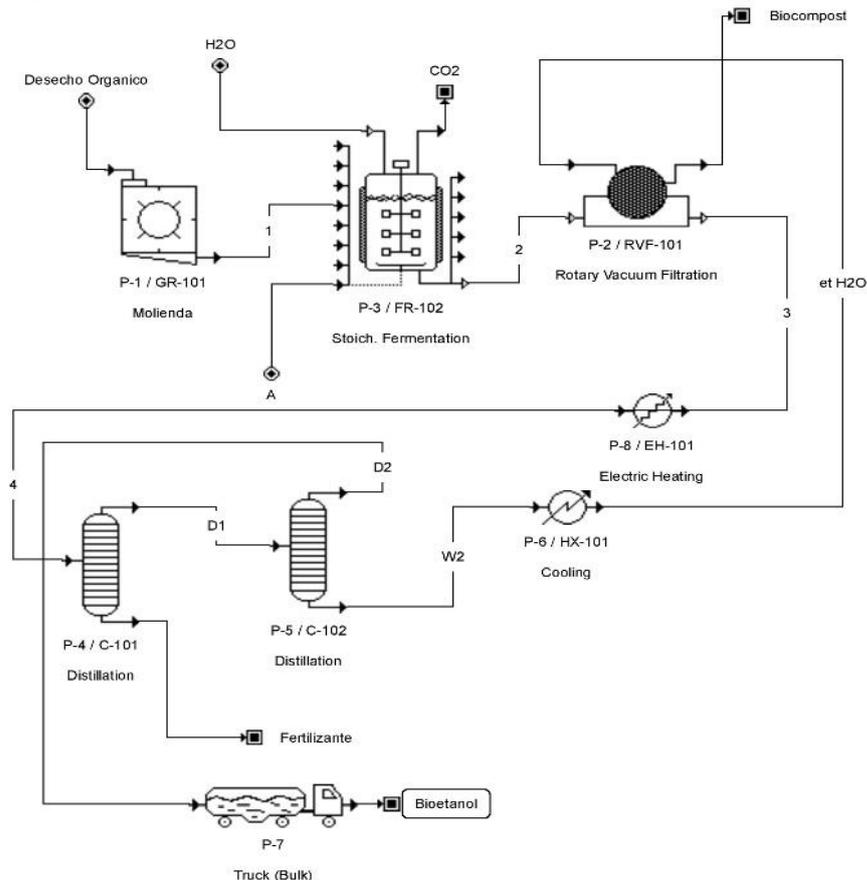
### Simulación del Proceso.

El esquema de la Figura 2 muestra el proceso de obtención de bioetanol a partir de DO utilizando la destilación como primera alternativa tecnológica. Seguidamente, la

Tabla 5 muestra el balance de masa efectuado en el simulador con las principales corrientes y composiciones másicas del proceso.

### Figura 2

Esquema del proceso de simulación para la obtención de Bioetanol mediante destilación.



**Tabla 5**

*Balance de masa del proceso de obtención de bioetanol mediante destilación*

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
1	Almidón	190.00	19.00
	Ceniza	20.00	2.00
	Grasas	140.00	14.00
	Fibra	50.00	5.00
	Glucosa	450.00	45.00
	Proteínas	150.00	15.00
	<b>Total</b>		<b>1000.00</b>

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
2	Almidón	190.00	20.81
	Ceniza	20.00	2.19
	Etanol	195.62	21.42
	Grasas	140.00	15.33
	Fibra	50.00	5.48
	Glucosa	67.50	7.39
	Levadura	0.50	0.05
	Proteínas	150.00	16.43
	Agua	99.55	10.90
	<b>Total</b>	<b>913.17</b>	<b>100.00</b>

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
H <sub>2</sub> O	Agua	100	1000

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono	186.88	19.12
	Nitrógeno	606.46	62.05
	Oxígeno	184.11	18.84
	<b>Total</b>	<b>977.44</b>	<b>100.00</b>

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
3-4	Almidón	20.90	6.28
	Etanol	186.29	55.95
	Grasas	17.50	5.26
	Fibra	5.00	1.50
	Glucosa	10.13	3.04
	Proteínas	45.00	13.51
	Agua	48.17	14.47
	<b>Total</b>	<b>332.99</b>	<b>100.00</b>

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
D1	Etanol	139.72	92.06
	Agua	12.04	7.94
	<b>Total</b>	<b>151.76</b>	<b>100.00</b>

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
D2	Etanol	97.80	95.31
	Agua	4.82	4.69
	<b>Total</b>	<b>102.62</b>	<b>100.00</b>

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
Bioetanol	Etanol	97.80	95.31
	Agua	4.82	4.69
	<b>Total</b>	<b>102.62</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

Según estudios, utilizar un sistema de destilación compuesto por varias columnas logra una mayor purificación del producto final (Kwiatkowski, McAloon, Taylor, & Johnston, 2006). Por lo tanto, se implementó una doble destilación (azeotrópica) etanol-agua y una recirculación de reflujo hacia columna es suficiente para producir etanol de grado combustible. La simulación en cuanto al diseño general de las columnas de destilación se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6**  
*Factores de diseño en el proceso de Destilación.*

Destilador	Factor de Diseño	Valor
1	Número de platos teóricos	9.487
	Relación de reflujo	1.707
2	Número de platos teóricos	7.918
	Relación de reflujo	0.293

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran que el diseño de la primera columna constaría de 9 platos teóricos; mientras que para la segunda columna se necesitarían 8 platos teóricos en su construcción. Otro factor de diseño a considerar es la tasa de reflujo de las columnas de destilación. Según la teoría, este factor es la relación existente entre el líquido que ha regresado a la columna y la cantidad de líquido eliminado (McCabe & Thiele, 1925). Como se muestra en la Tabla 6, la primera columna tiene una tasa de reflujo de 1.707 que resulta mucho mayor a la segunda columna 0.293 que se justifica por la calidad de la alimentación a la entrada del primer destilador. Finalmente, se muestran los resultados simulados de las corrientes salientes del sistema en la Tabla 7.

**Tabla 7**  
*Resultados simulados del proceso de obtención de bioetanol mediante la destilación.*

Productos	Kg/h	l/h	% Rendimiento
Bioetanol	102.62	130.01	10.26
Biocompost	708.67	719.95	70.87
Fertilizante	181.22	200.68	18.12

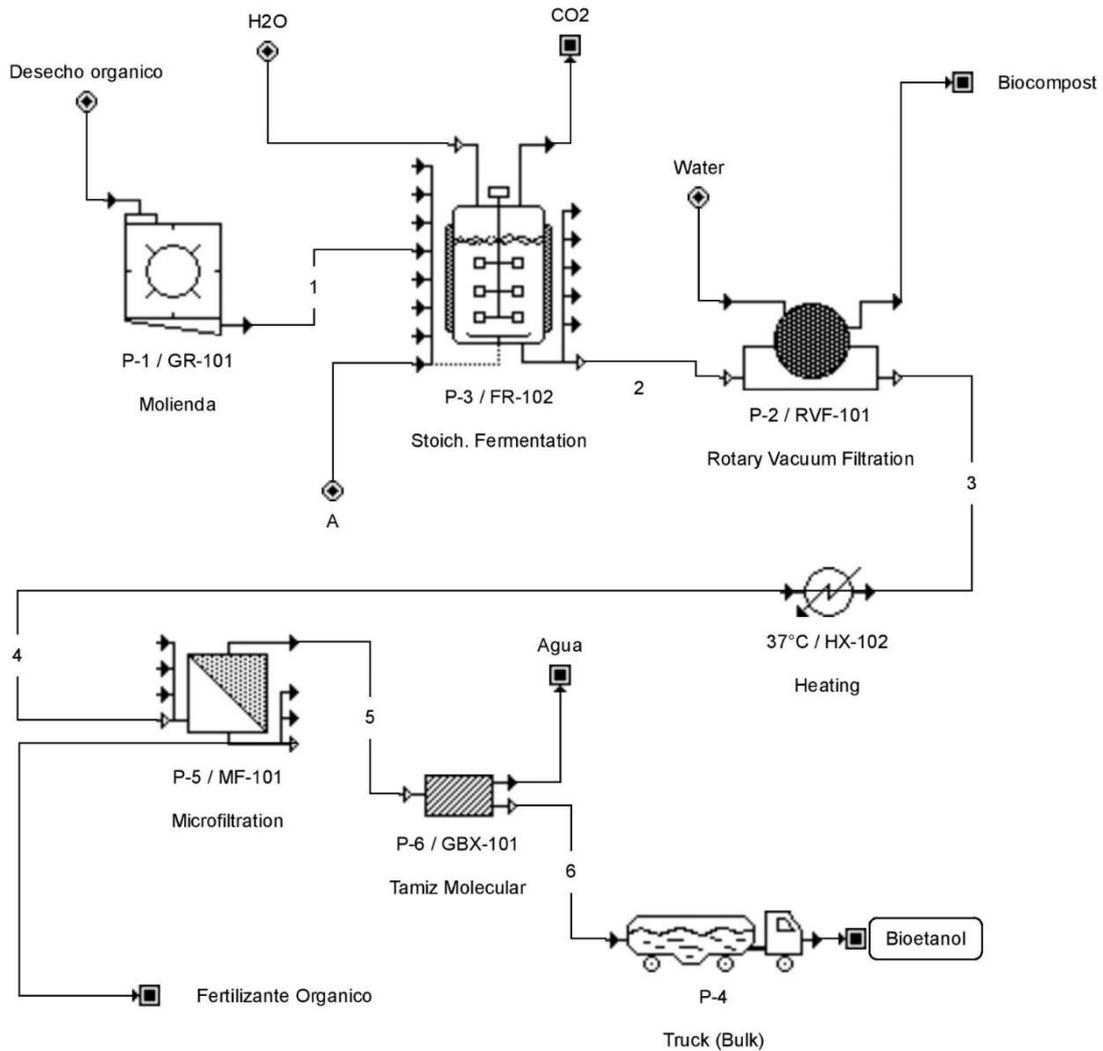
Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3 representa la implementación de la segunda alternativa tecnológica con modificaciones al proceso de destilación, añadiendo un calentamiento previo de 37 °C y la implementación de la membrana hidrofóbica. Consecuentemente, al sistema se añade un tamiz

molecular o deshidrogenador que evita el paso de las moléculas de agua al producto final y purifica el producto.

**Figura 3**

*Esquema del proceso de obtención de Bioetanol a partir de DO mediante la separación por membrana.*



**Tabla 8**

*Balace de masa del proceso de obtención de bioetanol a partir de DO mediante la separación por membrana*

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
1	Almidón	190.00	19.00
	Ceniza	20.00	2.00
	Grasas	140.00	14.00
	Fibra	50.00	5.00
	Glucosa	450.00	45.00
	Proteínas	150.00	15.00
	<b>Total</b>		<b>1000</b>

Corriente	Componentes	kg / h	% másico
2	Almidón	190.00	20.81
	Ceniza	20.00	2.19
	Etanol	195.62	21.42
	Grasas	140.00	15.33
	Fibra	50.00	5.48
	Glucosa	67.50	7.39
	Levadura	0.50	0.05
	Proteínas	150.00	16.43
	Agua	99.55	10.90
	<b>Total</b>	<b>913.17</b>	<b>100.00</b>
Corriente	Componentes	kg / h	% másico
H <sub>2</sub> O	Agua	100.00	1000.00
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono	186.88	19.12
	Nitrógeno	606.46	62.05
	Oxígeno	184.11	18.84
	<b>Total</b>	<b>977.44</b>	<b>100.00</b>
Corriente	Componentes	kg / h	% másico
3-4	Almidón	20.90	10.32
	Etanol	97.81	48.30
	Grasas	17.50	8.64
	Fibra	5.00	2.47
	Glucosa	10.13	5.00
	Proteínas	45.00	22.22
	Agua	6.18	3.05
<b>Total</b>	<b>202.52</b>	<b>100.00</b>	
Corriente	Componentes	kg / h	% másico
5	Etanol	72.78	92.17
	Agua	6.18	7.83
	<b>Total</b>	<b>78.96</b>	<b>100.00</b>
Corriente	Componentes	kg / h	% másico
Bioetanol	Etanol	72.78	95.93
	Agua	3.09	4.07
<b>Total</b>	<b>75.87</b>	<b>100.00</b>	

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestran los flujos másicos y volumétricos que corresponden a las corrientes de los productos salientes del sistema de separación por membrana en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Resultados simulados del proceso de obtención de bioetanol mediante la separación por membrana*

Productos	kg/h	L/h	% Rendimiento
Bioetanol	75.87	96.25	7.59
Biocompost	780.41	803.52	78.04
Fertilizante	123.55	128.55	12.36

Fuente: Propia

En cuanto a los resultados, se observan diferencias notorias en el rendimiento de las alternativas tecnológicas. Esto se debe a que los equipos operan de manera distinta; y que las bondades que ofrece la destilación en cuanto a la recirculación y enriquecimiento del producto son inmejorables por la membrana hidrofóbica. Una vez finalizada la simulación, se procede a analizar las composiciones del etanol como producto final. Consecuentemente se muestra la composición final de las corrientes de bioetanol de ambas propuestas tecnológicas en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Composición final de bioetanol en los procesos de destilación y de separación por membrana.*

Propuesta tecnológica	Composición	Flujo másico kg/h	%	Composición másica concentración (g/L)
Destilación	Etanol	97.802	95.305	752.269
	Agua	4.8170	4.694	37.051
Membrana	Etanol	72.779	95.925	756.150
	Agua	3.091	4.074	32.121

Fuente: Propia

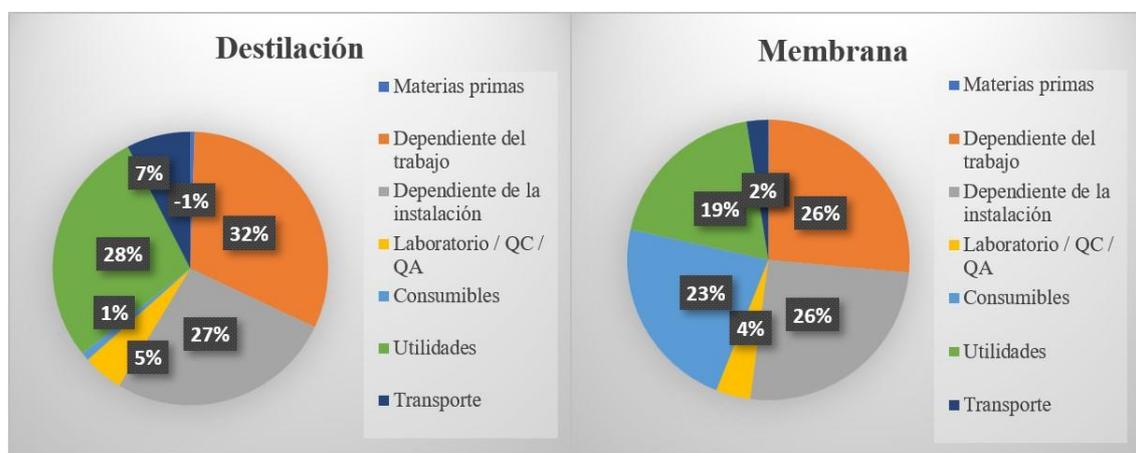
Según se observa en la Tabla 10 se indica la composición másica de etanol y agua logrados mediante la simulación. Se hace énfasis en los resultados obtenidos para ambas alternativas; en donde el proceso de destilación que obtuvo una composición másica del 95.3% m/m mientras que el proceso de separación por membrana obtuvo un resultado ligeramente mayor del 95.92 % m/m a consecuencia de la implementación del tamiz molecular a su sistema de purificación.

### Evaluación Económica

Para proyectos orientados a generar ingresos, es necesario estimar tanto el costo de inversión como los diferentes costos e ingresos generados por la operación del proyecto. En cuanto a los costos operacionales que están relacionados directamente con la operación de un proyecto se muestran en la Figura 4.

**Figura 4**

*Costo operacional porcentual de los procesos de producción de bioetanol*



En la figura 4 se detalla cómo están repartidos los costos operativos del proceso de producción de bioetanol mediante las propuestas tecnológicas planteadas en el proyecto. El análisis de las gráficas denota diferencias significativas entre la cantidad de consumibles generados por el proceso de destilación (1%) y el proceso de separación por membrana (23%). Así como el valor de las materias primas que resulta afectado en el proceso. Esto se debe a la cantidad de insumos necesarios para el proceso de separación, adquisición de membranas hidrofóbicas, desecantes de tipo zeolitas consumidos en el deshidrogenado del producto final. En cuanto a la dependencia del trabajo y de instalación el proceso de destilación resulta más costoso debido a las altas temperaturas que maneja el sistema de destilación; lo cual se ve reflejado en las utilidades que corresponden a electricidad, vapor, agentes caloríficos con los que simuló la planta.

Seguidamente, en la Tabla 11 se muestra el resumen ejecutivo del proceso de los procesos mediante las dos alternativas tecnológicas de estudio.

**Tabla 11**

*Resumen ejecutivo de los procesos de obtención de Bioetanol*

<b>Factor</b>	<b>Destilación</b>	<b>Membrana</b>
Inversión de capital	1.321.000 \$	1.434.000 \$
Costo operacional	865.000 \$ / año	979.000 \$ / año
Costo operativo neto	864.613 \$ / año	979.480 \$ / año
Ingresos principales	375.000 \$ / año	279.000 \$ / año
Otros ingresos	828.752 \$ / año	1.050.745 \$ / año
Ingresos totales	1.203.000 \$ / año	1.330.000 \$ / año

Fuente: Elaboración Propia

Como se indicó anteriormente, la Tabla 11 muestra en forma de resumen las inversiones de ambos procesos, los costos operacionales y el flujo de ganancias generadas por la venta de bioetanol (ingreso principal) y el biocompost (otros ingresos). A simple vista, se observa una menor inversión de capital en el proceso de destilación 1.321.000 USD a comparación del proceso de separación por membrana 1.434.000 USD. Económicamente es asumible que la diferencia radica al costo de consumibles anuales y la saturación de los desecantes del tamiz molecular que utiliza el proceso de separación por membrana. No obstante, mediante el proceso de separación por membrana se logra producir mayor cantidad de ingresos anuales 1330.000 USD debido al bajo costo energético que produce a comparación del proceso de destilación 1.203.000 USD.

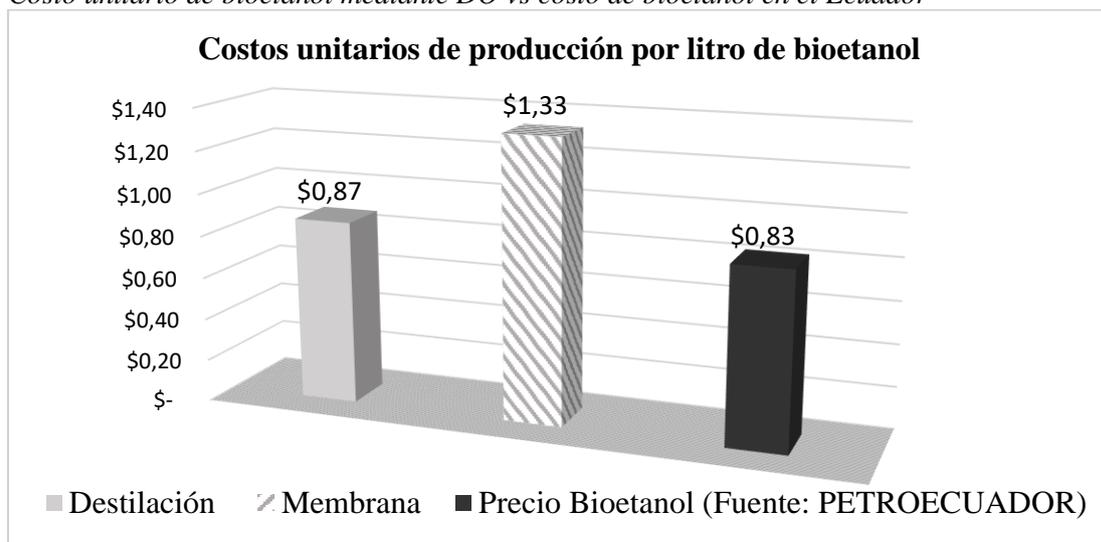
### **Indicadores económicos**

#### **Costo Unitario de producción**

Resulta una medida sencilla y eficiente para calcular la rentabilidad de un proceso. Por consiguiente, en la Figura 5 se compara el precio unitario de producción por litro de bioetanol simulados por cada propuesta tecnológica estudiada contra el valor del bioetanol del mercado.

**Figura 5**

*Costo unitario de bioetanol mediante DO vs costo de bioetanol en el Ecuador*



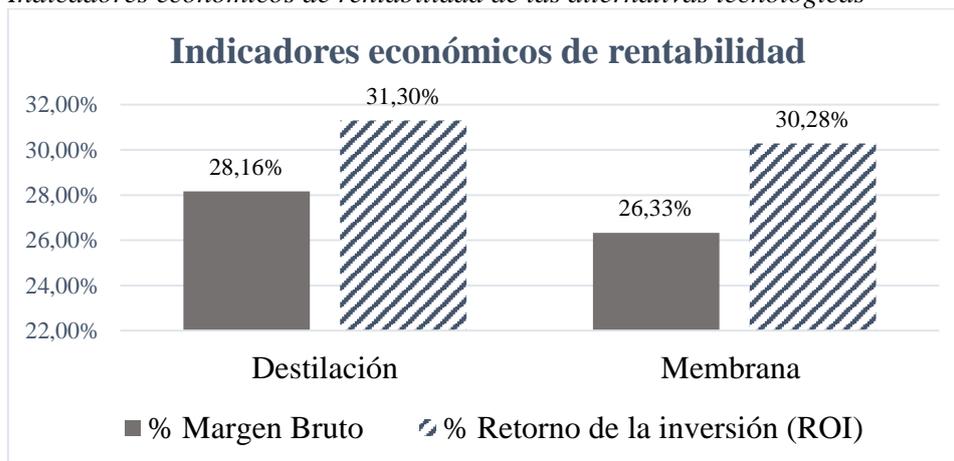
Para el proceso de separación por membrana el resultado simulado fue de 1.33\$/L y el costo de producción unitario del proceso de destilación de 0.87\$/L. Ambos costos de producción resultan poco atractivos a comparación del precio de venta del bioetanol producido en el Ecuador a partir de caña de azúcar donde su valor ronda el 0.83\$/litro en el mercado nacional. No obstante, no se considera una medida totalmente determinante para decidir si un proceso es más factible que otro. Este indicador es variable en dependencia al valor de venta al producto, el costo de producción, la cantidad de equipos a utilizar insumos, mano de obra, consumibles, entre otros.

### **Margen bruto y Retorno de la Inversión (ROI)**

Los indicadores económicos que corresponden al porcentaje de retorno de la inversión (ROI) y el porcentaje de margen bruto por año para cada alternativa se indica en la Figura 6.

**Figura 6**

*Indicadores económicos de rentabilidad de las alternativas tecnológicas*



Según (Farris et al., 2010) el margen bruto representa la porción de cada dólar de ingresos que el proyecto retendrá como ganancia total. La Figura 6 demuestra que el margen bruto anual del proceso de destilación resultó ser del 28.16%, lo que significa que va a retener \$ 0.28 de cada

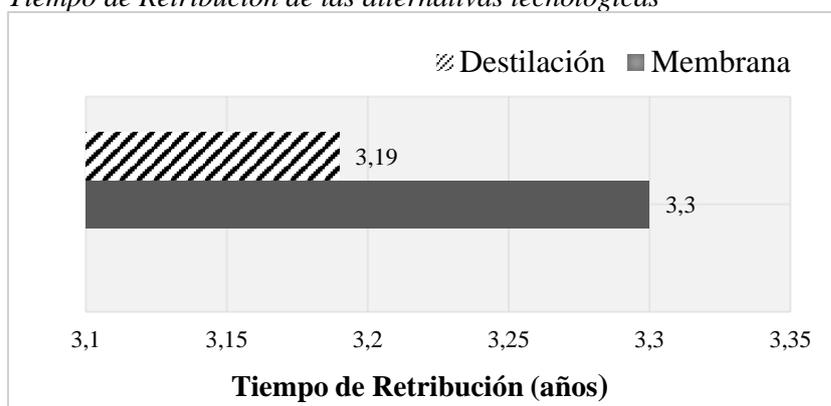
dólar de ingresos generados como ganancia. Por el contrario, el margen bruto de la separación por membrana resultó ser menor 26.33%. Por su parte, El Retorno de la Inversión (ROI) es un indicador que permite medir la rentabilidad que se obtiene a través de una inversión (Strong, 2009); lo cual hace que su interpretación sea muy importante al seleccionar la alternativa más viable. Según los resultados obtenidos, el ROI para la destilación fue de 31.30% mientras que para el proceso de separación por membranas fue del 30.28%.

### Tiempo de Retribución (payback)

Su análisis es fundamental porque nos indica el tiempo exacto que será devuelta la inversión. El tiempo de retribución para ambas alternativas se muestra en la Figura 7.

**Figura 7**

*Tiempo de Retribución de las alternativas tecnológicas*



El análisis de la Figura 7 demuestra que el tiempo de retribución para el proceso de destilación es de 3.19 años y para el proceso de separación por membrana es de 3.3 años, por lo que no existe diferencias significativas entre ambos procesos al momento de que sea devuelta la inversión. No obstante, el tiempo de retribución del proceso de destilación es ligeramente menor al proceso de separación por membrana.

### Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Los resultados de los indicadores del VAN y TIR para los proyectos tecnológicos se indican en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Indicadores VAN y TIR de las propuestas tecnológicas*

Indicadores	Destilación	Membrana
VAN	1.500.000 \$	1.548.000 \$
TIR	21.02%	20.55%

Fuente: Elaboración Propia

El VAN como el TIR son capaces de predecir si un proyecto es viable o no, como también muy útiles para valorar inversiones en activos fijos (Meza & De Jesús, 2008). Al observar cifras de Valor actual neto VAN >0 se afirma que es rentable la inversión para ambas alternativas tecnológicas, lo que significa que los proyectos son viables y atractivos para su ejecución. Seguidamente, el valor de la TIR nos manifiesta a qué tasa se recuperará la inversión sin comparar

entre proyectos; al observar la  $TIR > 0$  para ambas alternativas se afirma que en ambos casos se devuelve el capital invertido más ganancias de por medio.

### Análisis de Sensibilidad

Implica la modificación de ciertas variables y escenarios ideales planteados para la producción de bioetanol por lo que podría verse amenazada la viabilidad de los proyectos de inversión. Se modificaron variables costo-producción y se plantearon 3 escenarios distintos:

1. Se limitó el uso de consumibles en la planta en un 75 % para ambos procesos, especialmente la adquisición de desecantes, membranas y filtros.
2. Se modificó el costo de venta del bioetanol 0.85/ litro y del biocompost semejante a un escenario más ideal en el Ecuador.
3. Se redujeron los gastos de utilidades de la planta a un 50%.

La figura 8 muestra el análisis de sensibilidad consecuentemente para proceso de obtención de bioetanol mediante la destilación.

**Figura 8**

*Análisis de sensibilidad del proceso de Destilación*

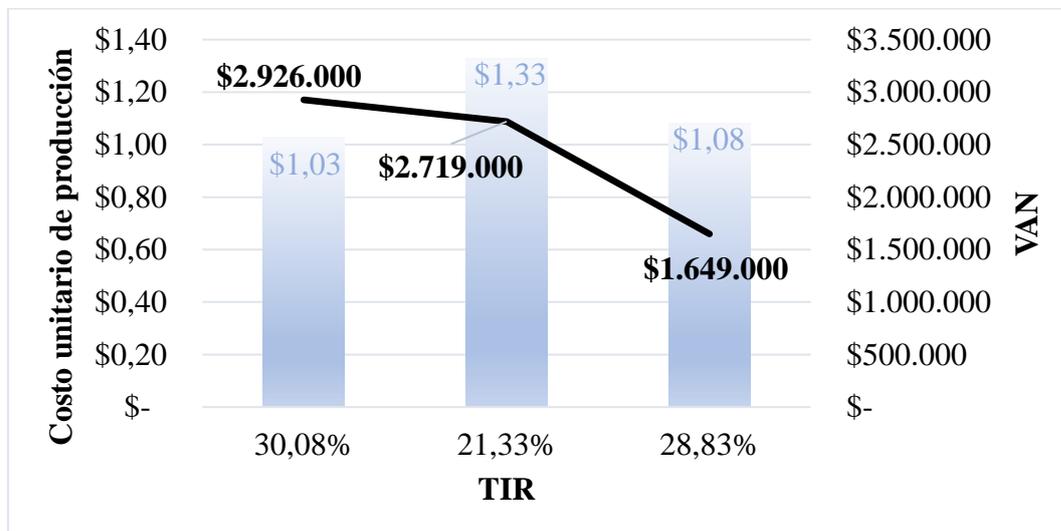


El cambio de los indicadores de rentabilidad VAN y TIR para los tres escenarios posibles del proceso de destilación son estudiados mediante el análisis de sensibilidad que se muestra en la figura 8. En el cual se observa un incremento significativo en el tercer escenario posible cuando se redujo el uso de las utilidades de la planta a un 50% por medio del proceso de Destilación. No obstante, también se observó un ligero incremento de estos indicadores cuando se eliminaron los consumibles en la planta y se modificó el precio de venta del bioetanol. Sin embargo, mediante estas supuestas modificaciones el precio de unitario de producción sigue estando por debajo del precio de venta del bioetanol comercial a diferencia del tercer escenario posible donde se desprecia el 50% de las utilidades generadas por el consumo de energía en el proceso de

destilación. Seguidamente en la Figura 9 se muestra el análisis de sensibilidad efectuado para el proceso de separación por membrana.

**Figura 9**

*Análisis de sensibilidad del proceso de separación por membrana*



La figura 9 denota aumentos significativos en la rentabilidad de los escenarios planteados a través de los indicadores económicos que existen en análisis de sensibilidad. Los indicadores VAN Y TIR del primer escenario resultaron en alza al suprimir el 75% de consumibles cargados al proceso de separación por membrana que son relativamente costosos. Por consiguiente, el costo unitario de producción también vio disminuido en el primer escenario, el costo para producir 1 litro bioetanol es de 1.03, aunque resulta poco significativo a comparación al valor de venta del bioetanol en el mercado nacional. En cuanto a la estimación de los del segundo escenario hubo variaciones mínúsculas en cuanto al elevar el precio de venta del bioetanol. No obstante, al eliminar las utilidades a un 50% el proceso resultó favorecido y se alcanzó un precio unitario de 1.08 USD por litro de bioetanol producido.

## CONCLUSIÓN

La obtención de bioetanol a partir de DO resultó ser económicamente factible para ambas alternativas ya que ambos ofrecen ganancias netas y rentables. Esto se ve reflejado mediante los indicadores económicos utilizados en este estudio. Sin embargo, su viabilidad e implementación en el país se ve seriamente afectada debido al costo operacional de la planta (consumibles, utilidades, pretratamiento) disponibilidad de materia prima, rendimiento del proceso y la competitividad con los precios de venta actuales del bioetanol convencional que están fijados en el mercado. No obstante, la comparación entre alternativas tecnológicas se da preferencia al proceso de destilación por su

## REFERENCIAS

- Aburto, J., Martínez, T., & Murrieta, F. (2008). Evaluación técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 8-9. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48223104.pdf>
- ALONSO-GOMEZ, L. Alexis y BELLO-PEREZ, L. Arturo. Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia* [online]. 2018, vol.52, n.7, pp.967-990. ISSN 2521-9766.
- ARCONEL. (2021). Resoluciones y Pliegos Tarifarios. Agencia de regulación y control de electricidad. recuperado de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/resoluciones-pliesgos-tarifarios/>
- Baeyens, J., Kang, Q., Appels, L., Dewil, R.; Lv, Y., Tan, T. Challenges and opportunities in improving the production of bio-ethanol. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2015, 47, 60–88.
- Banat, F.A., Simandl, J. (1999). Membrane distillation for dilute ethanol: Separation from aqueous streams. *J. Memb.Sci.* 163, 333–348.
- Brown, R. C., & Brown, T. R. (2014). Economics of biorenewable resources. In *Biorenewable resources engineering new products from agriculture* (2nd ed., p. 307). Ames, Iowa: Wiley Blackwell.
- CEPAL. (2021). Observatorio de Igualdad de Género de América Latina y el Caribe. [https://oig.cepal.org/sites/default/files/ecuador\\_ley\\_org\\_para\\_la\\_justicia\\_labora\\_y\\_re\\_conocimiento\\_del\\_trabajo\\_en\\_el\\_hogar.pdf](https://oig.cepal.org/sites/default/files/ecuador_ley_org_para_la_justicia_labora_y_re_conocimiento_del_trabajo_en_el_hogar.pdf)
- Daystar, J. S., Treasure, T., Gonzalez, R., Reeb, C., Venditti, R., & Kelley, S. (2015). The NREL Biochemical and Thermochemical Ethanol Conversion Processes: Financial and Environmental Analysis Comparison. *BioResources*, 10(3), 5096–5116. <http://doi.org/10.15376/biores.10.3.5096-5116>
- EPA. (2018). Wasted Food Programs and Resources Across the United States. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/wasted-food-programs-and-resources-across-united-states>
- Farris, Paul W., Neil T. Bendle, Phillip E. Pfeifer, David J. Reibstein. (2010). *Marketing Metrics: The Definitive Guide to Measuring Marketing Performance*.
- Foust, T. D., Aden, A., Dutta, A., & Phillips, S. (2009). An economic and environmental comparison of a biochemical and a thermochemical lignocellulosic ethanol conversion process. *Cellulose*, 16(4), 547–565. <http://doi.org/10.1007/s10570-009-9317-x>
- GRACIDA RODRÍGUEZ, Jorge Noel, & PÉREZ-DÍAZ, Baruc. (2014). Factores previos involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 213-227. Recuperado en 28 de mayo de 2021, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000200008&lng=es&tlng=es)

- Haug, G. (1999). Aspects of Rotary Vacuum Filter Design & Performance, Eagle-Picher Minerals Inc.
- Jover-de la Prida, Josefina, Cuevas-Hernández, Mabel, & Quintana-Jover, Cholver. (2012). Evaluación industrial de levaduras del género *Saccharomyces* en la destilería George Washington. *Tecnología Química*, 32(1), 42-52. Recuperado en 27 de abril de 2021, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852012000100005&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000100005&lng=es&tlng=es)
- Kiran, E.U.; Trzcinski, A.P.; Ng, W.J.; Liu, Y. Bioconversion of food waste to energy: A review. *Fuel* 2014, 134, 389-399
- Kwiatkowski, J. R., McAloon, A. J., Taylor, F., & Johnston, D. B. (2006). Modeling the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process. *Industrial Crops and Products*, 23(3), 288–296. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.08.004>
- Lauzurique-Guerra, Yeny, Zumalacárregui-de Cárdenas, Lourdes, Pérez-Ones, Osney, & Molina-Rivero, Geli. (2017). Evaluación de técnicas de deshidratación de etanol aplicando la simulación. *DYNA*, 84(200), 185-192. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n200.54230>
- Meza, O; De Jesús, J. (2008). *Matemáticas financieras aplicadas*. ECOE EDICIONES. p.548. ISBN 978-95-8648-539-5.
- Muhammad, N. (2019). Comparative evaluation of the economic and environmental impacts of the fermentation of food waste into value-added products. Graduate Thesis and Dissertations, Iowa State University, Ames, IA, United States.
- Murillo, A. P.; Santibañez, A. J.; Ponce, O. J.; Castro, M. A.; Serna, G. M. and Hakwagu, M. M. 2014. Optimization of the supply chain associated to the production of bioethanol from residues of agave from the Tequila process in Mexico. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. Am. Chem. Soc. 5524-5538 pp.
- Pham, T.P.T.; Kaushik, R.; Parshetti, G.K.; Mahmood, R.; Balasubramanian, R. (2015). Food waste-to-energy conversion technologies: Current status and future directions. *Waste Manag.* 38, 399–408.
- PORTOAGUAS. (2021). Pliego Tarifario del área comercial e industrial. *Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Portoviejo*. Consultado de <https://www.portoaguas.gob.ec/index.php/servicios/aapp>
- Rodríguez-Hernández, Rafael, Barrios-Ayala, Aristeo, Flores-López, Hugo Ernesto, Sánchez-Vásquez, Velia, & Ariza-Flores, Rafael. (2016). Factibilidad económica de la producción de bioetanol con tres especies de *Agave* spp. en regiones productoras de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(6), 1439-1453. Recuperado en 28 de mayo de 2021, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000601439&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000601439&lng=es&tlng=es)

- Russell, S.V.; Young, C.W.; Unsworth, K.L.; Robinson, C. (2013). Bringing habits and emotions into food waste. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.007>
- Santis-Espinosa, L.F., B.Y. Pérez-Sariñana, C.A. Guerrero- Fajardo, S. Saldaña-Trinidad, E.C. López-Vidaña y P. J. Sebastian. (2015). Secado de mango (*Mangifera indica* L.) con energía solar como pretratamiento para la producción de bioetanol. *Bio-Resources* 10 (3) 6044-6.
- Singh, A.; Rangaiah, G.P. (2019). Development and optimization of a novel process of double-effect distillation with vapor recompression for bioethanol recovery and vapor permeation for bioethanol dehydration. *Chem. Technology. Biotechnol.*, 94, 1041–1056.
- Smith, Paul G; John S. Scott (2005). "Filtro de vacío". *Diccionario de gestión de aguas y residuos*. Boston: Elsevier. págs. 452–453. ISBN 0-7506-6525-4. OCLC 58456687
- Strong, R. (2009). *Portfolio construction, management, and protection*. Mason, Ohio: South-Western Cengage Learning. p. 527. ISBN 0-324-66510-5.
- Vázquez, H.J, & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 8(4), 249-259. Recuperado en 29 de abril de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140577432007000400004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140577432007000400004&lng=es&tlng=es)
- W.L. McCabe & E.W. Thiele (1925). "Graphical Design Of Fractionating Columns". *Industrial and Engineering Chemistry*. 17: 605–611. doi:10.1021/ie50186a023