



Evaluación de la producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de cáscara de naranja

José Fernando Cadena Hernández¹

Diego Fernando Ruano Tovar²

Cítese como: Cadena-Hernández, J. F. y Ruano-Tovar, D. F. (2022). Evaluación de la producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de cáscara de naranja. En L. E. Vera-Hernández (Ed.), *Sostenibilidad de procesos desde la economía circular en el contexto de la pospandemia covid-19* (pp. 45-59). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.163.c5>

Resumen

Esta investigación pretende simular el proceso de obtención de 2-3 Butanodiol a partir de residuos agroindustriales como es la cascara de naranja. Por lo anterior, fue necesario identificar la siguiente problemática: ¿Qué factibilidad técnica-económica tendrá producir un biocarburante 2-3 Butanodiol con un buen rendimiento a partir de cascara de naranja, que es generada por la agroindustria del departamento de Nariño? Por lo tanto, se tuvo en cuenta los valores registrados por el Ministerio de Minas y Energía en 2009, los cálculos se realizaron a partir de los resultados de proyección de cada uno de los compuestos mencionados. Así las cosas, durante 2009, se demandó 5.411 barriles día de Biodiesel y en 2025 se requerirá 8.400 barriles por día, es decir, un incremento del 55,1 %. Por otro lado, según lo obtenido en la simulación, cabe resaltar que el proceso para romper los enlaces de lignina requiere de pretratamientos que también puedan descomponer la hemicelulosa y celulosa. Teniendo en cuenta lo anterior, en la etapa de pretratamiento (explosión de vapor y filtrado), se logró eliminar el 90 % de lignina presente en la cáscara de naranja; sin embargo, según lo reportado por Vaquero (2016), el máximo rendimiento que se alcanza en un reactor de dos etapas continuas es de $0,46 \text{ g}^* \text{ g}^{-1}$, donde la concentración de este producto es de $67 \text{ g}^* \text{ l}^{-1}$, por lo tanto, en este estudio se obtuvo un rendimiento de 6,15 % con relación a la cantidad de materia prima utilizada y producto obtenido; se ingresa al proceso 1.000 kg/h de cascara de naranja y se obtiene 61,5309 kg/h de producto (2,3 Butanodiol).

Palabras clave: residuos agroindustriales, simulación, obtención de 2-3 Butanodiol.

1. Introducción

En la actualidad, se busca generar nuevas alternativas para obtener energía diferente de las que se conocen convencionalmente, generadas principalmente del

¹Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: joscadena@umariana.edu.co

²Programa de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia. Correo electrónico: dieruano@umariana.edu.co



petróleo. Esto ha conllevado a “la investigación de materias primas naturales y, a su vez, al uso de software para la simulación de diferentes métodos en la producción de los biocombustibles, entre los que se destaca el 2,3 Butanodiol, el bioetanol” (Viñals et al., 2012).

La producción de energías renovables ha surgido a raíz de la necesidad de proteger el medio ambiente, preservar los recursos tanto renovables como no renovables y aumentar el potencial de uso de productos agrícolas, y en especial de los subproductos que se generan al someterlos a distintos procesos agroindustriales, cuya disposición final también generan un gran problema ambiental. (Suárez-Forero et al., 2019, p. 22)

En el caso de Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial indican que en un día el país produce 27.300 toneladas de basura de las cuales el 65 % son residuos orgánicos. Por estas razones, se está impulsado el estudio de la producción de [biocarburantes], los cuales son producidos a partir de biomasa lignocelulósica residual, compuesta de acuerdo con Olsson & Hahn-Hiigerdl (1996) por dos polímeros de carbohidratos, la celulosa (35-50 %) y la hemicelulosa (15-25 %) y polímero fenólico, la lignina (20-25 %). (Tejada et al., 2010, p. 121)

Ahora bien, la mayoría de biomasa lignocelulósica tiende a tener una difícil degradación, pero es posible descomponerlos mediante procesos químicos, físicos y/o biológicos en azúcares monosacáridos, para su posterior conversión a 2,3 Butanodiol o diferentes biocarburantes. Para este tipo de materias primas, las apuestas en investigación están dirigidas al estudio e incursión de pretratamientos viables, “tanto técnica como económicamente, y al uso de microorganismos, hongos y/o bacterias modificadas, recombinantes, etc., para su potencialización en la fermentación de azúcares y, por consiguiente, en la obtención de alcohol, bioetanol y 2,3 Butanodiol, entre otros biocombustibles” (Chiaramonti et al., 2012). Este último está clasificado como un producto químico de plataforma con enormes aplicaciones potenciales en la industria, según lo establece el Departamento de Energía de EE. UU. “2,3 Butanodiol podría convertirse en distintos productos químicos de valor agregado tales como 2,3-butadeína, metiletilcetona, acetoína y diacetilo” (Bialkowska, 2016). Además, “el 2, 3 Butanodiol se puede utilizar como aditivo para combustible de uso inmediato, gracias a su alto poder calorífico comparable con otros combustibles líquidos” (Celinska y Grajek, 2009) y baja presión de vapor.

El aprovechamiento del material lignocelulósico, presente en residuos orgánicos, se vuelve cada vez más extensivo hacia nuevas fuentes de biomasa, en aras de mitigar el efecto del carbón y el petróleo. “Con estos residuos se puede producir biocarburantes, que presentan una combustión relativamente limpia, al no poseer compuestos sulfurados ni nitrogenados” (Caparrós, 2008). Los procesos fundamentales para la obtención de biocarburantes, en este caso el 2-3 Butanodiol a partir de biomasa con material lignocelulósico son: el pretratamiento, la hidrólisis, la fermentación y la separación del alcohol.



El objetivo principal del trabajo consiste en evaluar la prefactibilidad técnica de la producción de 2,3 Butanodiol, a partir de residuos de cáscara de naranja. Para ello, en esta investigación, se busca conocer el mercado actual colombiano del 2,3 Butanodiol, determinar la prefactibilidad técnica en términos de tiempo, condiciones de operación y rendimiento de diferentes pretratamientos físicos y químicos, aplicados de manera secuencial y realizados con la biomasa lignocelulósica de cáscara de naranja, además de acoplarlos al proceso de producción de este biocarburante, mediante el uso de un software comercial.

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, más del 80 % del consumo mundial de energía se deriva de los combustibles fósiles, como el petróleo, gas natural y carbón. De acuerdo con The National Academy of Science (2015), el consumo y generación de energía se encuentra en constante aumento, especialmente en regiones desarrolladas como China y Estados Unidos, situación que hasta la fecha se mantiene.

La problemática medioambiental, conjuntamente con diversos problemas socioeconómicos asociados al uso de materias primas como combustibles de origen mineral, ha impulsado el desarrollo de diferentes tecnologías sustitutivas para la obtención de energía. A día de hoy, el principal problema es la sustitución de la gasolina y el diésel como combustibles líquidos para propulsar el sector transporte. (Faba et al., 2013, párr. 1)

Una de las opciones ambientalmente amigables, como materias primas renovables que pueden utilizarse para la obtención de combustibles líquidos, es la biomasa lignocelulósica, ya que “su contenido energético puede llegar a aprovecharse efectuando diferentes transformaciones químicas, físicas y biológicas, para la obtención de dichos compuestos” (Fernández y Gutiérrez, 2015), dentro de los que se encuentra el 2,3 Butanodiol, un producto que puede ser obtenido de los residuos o desechos orgánicos.

El principal impedimento tecnológico para la obtención de [un biocarburante como lo es el 2,3 Butanodiol, a partir de la biomasa lignocelulósica], es la ausencia de métodos de bajo costo y no contaminantes, para remover la lignina de la pared celular; puesto que es altamente resistente a la degradación química y biológica; o disminuir su porcentaje sin afectar al contenido de celulosa y hemicelulosa del material y reducir la cristalinidad de la celulosa, por ello, la necesidad de investigar y proponer alternativas de solución dirigidas a mejorar el rendimiento de liberación de azúcares, como lo son los pretratamientos fisicoquímicos [o biológicos aplicados de manera secuencial] (Mantilla, 2012, p. 1).

1.2 Justificación

Actualmente no se puede contradecir el hecho de que la humanidad esté combatiendo tendencias que exigen una respuesta de supervivencia; en primer lugar, se encuentra la disminución de fuentes de energía y en segundo, su creciente demanda como consecuencia de un mejoramiento de la calidad de vida de las llamadas economías emergentes, [sobre todo de países tercermundistas].



El uso de combustibles fósiles ha traído como consecuencia una masiva emisión de gases contaminantes, dióxido y monóxido de carbono, los cuales han sido asociados al llamado efecto invernadero. La solución a este problema se ha derivado en diferentes propuestas que comprenden obtener energía a partir de hidroeléctricas, plantas nucleares, biomasa, eólica, geotérmica, solar y en el caso de combustibles líquidos, los biocombustibles, la demanda de estos combustibles es más crítico en países cuya economía se basa en el transporte vehicular. González (como se citó en Arias y Vera, 2016, p. 3)

La naranja (*Citrus X sinensis*) es una especie subtropical y en Colombia se destina exclusivamente al mercado en fresco. En la ciudad de [San Juan de Pasto] (Colombia), las cáscaras de naranja son desechadas en grandes cantidades en hoteles, restaurantes y ventas estacionarias de jugos. (Tejada et al., 2010, p. 122)

Sin embargo, el empleo de la cáscara de naranja, dentro de un enfoque de biorrefinería, podría ser de vital importancia, ya que esta contiene celulosa, hemicelulosa y lignina. Un análisis económico hecho a una posible biorrefinería para la producción de biocombustibles a partir de cáscara de naranja arrojó: “para una producción aproximada de 344 metros cúbicos por año, el punto de equilibrio del precio de venta dejaba una ganancia de \$0.39 USD por litro de combustible producido” (Adekunle et al., 2016).

Por lo anterior y tomando lo como referente el estudio de Cerón y Cardona (2011), en la búsqueda de nuevas opciones de generación de energía, ha surgido una alternativa muy llamativa que es el uso de los biocombustibles, específicamente el 2,3 Butanodiol, un compuesto que contribuye a la disminuir las emisiones de CO₂ y puede ser obtenido de diferentes desechos de la agroindustria, lo que permite aprovechar los residuos para generar un nuevo producto y a su vez darle un valor agregado.

Al observar que una de las materias primas que se puede utilizar para la obtención de un biocombustible es la cáscara de naranja, proveniente de la industria del zumo, que, en muchas ocasiones, no se le proporciona una disposición adecuada, se decidió realizar una evaluación de prefactibilidad técnica del proceso de producción de 2,3 Butanodiol, mediante una simulación donde se propone una serie de “pretratamientos físicos, químicos y biológicos aplicados de manera secuencial para incrementar la concentración de compuestos fermentables disponibles, generando así una perspectiva de los biocombustibles en Colombia y concretamente en la región del departamento de Nariño” (Viñals et al., 2012).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad técnica de la producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de cáscara de naranja.



1.3.2 Objetivos específicos

- Revisar bibliográficamente la caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja de las variedades más utilizadas en el departamento de Nariño.
- Analizar el mercado del 2,3 Butanodiol para determinar qué tan viable es producir este tipo de compuesto.
- Generar una simulación del proceso de producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de naranja en un software comercial.

1.4 Procedimiento metodológico

En este trabajo se simuló el proceso de obtención de 2-3 Butanodiol a partir de la cáscara de naranja. El proceso se dividió en tres etapas primordiales: determinación de las características fisicoquímicas de la cáscara de naranja, donde se realizó un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información, utilizando diferentes bases de datos especializadas; determinación de mercado para este tipo de biocombustible; etapa de simulación, donde también se realiza un análisis económico utilizando un software comercial. Con este proceso se pretende identificar las variables más relevantes de cada operación que inciden en el proceso, con el fin de obtener el máximo rendimiento de 2,3 Butanodiol.

1.4.1 Determinación de las características físicas y químicas de la cáscara de naranja

Para la simulación de producción de 2,3 Butanodiol, se realizó una revisión bibliográfica de las características fisicoquímicas de la materia prima, específicamente de la cáscara de naranja de la variedad valencia. Las características fueron las siguientes: humedad, cenizas, proteína, grasa, azúcares totales y concentración de lignina.

1.4.2 Análisis de mercado del 2,3 Butanodiol

Se realizó un análisis del mercado mediante una revisión bibliográfica, teniendo en cuenta los informes del mercado nacional de biocombustibles reportados por Fonseca (2015). Adicionalmente, como hubo inexistencia de 2,3 Butanodiol en el mercado nacional, se tomó como referencia los datos presentados por Maximize Market Research (2021), donde se pudo identificar los principales productores del compuesto, así como también los usos y aplicaciones que posee.

1.4.3 Tratamiento mecánico

La cáscara de naranja se sometió a trituration mecánica o molienda, con el fin de reducir el tamaño de partícula, este debe ser de malla inferior a 40 micras, según Chang y Holtzaple (2000).

1.4.4 Tratamiento por explosión de vapor

Las cáscaras de naranja se someten en un rango de temperatura entre 150 a 280 °C, por un tiempo de 1 y 10 minutos, con el fin de que la celulosa, hemicelulosa y la



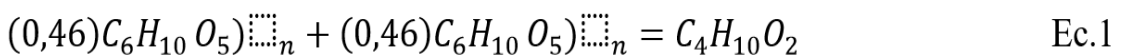
lignina se solubilizan. Seguidamente, se lleva el producto a una descompresión hasta presión atmosférica, como resultado “se obtiene una biomasa con alteraciones físicas (degradación y rupturas de fibras) y químicas (despolimerización y ruptura de enlaces y una celulosa más accesible a la hora de la fermentación, las variables que se deben controlar son temperatura y tiempo de residencia” (Duff y Murray, 1996).

1.4.5 Fermentación

Existe una variedad de microorganismos capaces de fermentar 2,3 Butanodiol, a partir de azúcares, entre los que cabe destacar la *Klebsiella oxytoca*, bacteria que produce mayormente este alcohol. Otras bacterias capaces de producir 2,3 Butanodiol son *Bacillus subtilis*, *Aeromonas hydrophilia*, varias especies de *Serratia* y *leclercia adecarboxylata*, todas ellas pertenecientes a la familia de *Enterobacteriaceae*, un grupo de bacterias gram negativas que son facultativas anaerobias, es decir, capaces fabricar ATP mediante respiración aeróbica en presencia de oxígeno, pero también capaces de realizar la fermentación si se dan condiciones anaerobias.

Con el aporte de oxígeno se inhibe la formación de etanol que, de ser anaerobio, se produciría de forma equimolar junto con el 2,3 BD. Incrementando el oxígeno añadido se incrementa la ratio de producción acetona 2,3 Butanodiol producido; sin embargo, si el oxígeno aportado excede la demanda microbiana, este ya no es un factor limitante y las bacterias solo generan células (asimilación) y CO₂ (respiración), por lo tanto, es necesario un aporte de O₂ sin exceder el límite para maximizar la producción de 2,3 Butanodiol.

Con lo anterior, el rendimiento de producción del alcohol se ve bastante influenciado con el tipo de reactor a utilizar. Teóricamente la máxima conversión que se puede alcanzar es 50 g 2,3 BD/glucosa, sin embargo, no se conoce tecnología actual que obtenga tal rendimiento. Por lo tanto, se pudo observar tanto la conversión como la producción por unidad de tiempo y la concentración en función del reactor usado, además, es necesario especificar la producción de 2,3 Butanodiol con base en un rendimiento ya conocido y especificado con la siguiente reacción, planteada por Vaquero et al. (2016):



1.4.6 Separación y purificación

La separación del 2,3-butanodiol del caldo de cultivo, la biomasa y otros sólidos del caldo de fermentación se llevó a cabo mediante filtración. Teniendo en cuenta que para Xiu y Zeng (2008), la purificación posterior del 2,3-butanodiol se realizará mediante el método de separación por un equipo de separación.



1.4.7 Simulación del proceso de obtención de 2,3 butanodiol en un software comercial

Para realizar la simulación del proceso de obtención de 2,3 Butanodiol, se tomó como referencia la metodología aplicada por Douglas (1985), que propone un diseño jerárquico de decisión, establecido de la siguiente forma:

- Selección del sistema (batch o continuo).
- Identificación de parámetros y condiciones de operación.
- Determinación del sistema de reacción.
- Diseño del diagrama de flujo flowsheet, sistema de reactor y especificaciones del sistema de separadores y redes de intercambio.

1.4.8 Selección del sistema

El proceso de obtención del compuesto 2,3 Butanodiol es de tipo batch (también conocido como proceso por lotes), donde la cantidad total de materia prima que se introduce al sistema, al comienzo del proceso, obtiene una cantidad total de producto transcurrido un determinado tiempo, “esto se lo determina teniendo en cuenta la capacidad de producción de una planta, la cual debe ser inferior 10×10^6 Lb/año” (Skoog et al., 2008).

1.4.9 Identificación de parámetros y condiciones de operación

Para la identificación de las condiciones de los parámetros en los modelos matemáticos, los cuales van a ser utilizados en la simulación, se tuvo que recurrir a información contenida en diferentes investigaciones, enfocadas al desarrollo del proceso para la obtención de 2,3 Butanodiol, comprendido desde una etapa de pretratamiento hasta una etapa de separación y purificación, donde se toma en cuenta las diferentes temperaturas, estequiometría de la reacción, conversión, presión, tiempos de operación, entre otros factores, los cuales hacen que cada etapa funcione de manera correcta.

1.4.9.1 Determinación del sistema de reacción. El 2,3 Butanodiol, aunque puede ser obtenido por distintas vías, la más relevante para esta investigación es la que plantea Vaquero et al. (2016).

2. Resultados

2.1 Objetivo 1

Revisar bibliográficamente la caracterización fisicoquímica de la cáscara de naranja de las variedades más utilizadas en el departamento de Nariño.

En la cosecha de naranja, a nivel nacional, el volumen de producción, según el Ministerio de Agricultura (2018), se ha promediado en 4,3 millones de toneladas en los últimos 5 años, el principal comercio de la naranja es el mercado nacional; se destina en promedio el 67,5 % del suministro de naranjas en fresco, del cual se emplea, en su mayor parte, en la obtención de jugo recién exprimido en hogares, restaurantes, puestos ambulantes, cadenas hoteleras, entre otros; mientras que un porcentaje mínimo se consume como fruta de mesa.



Tabla 1

Producción de cítricos en Colombia por departamento

DEPARTAMENTO	ÁREA COSECHADA					PRODUCCIÓN					RENDIMIENTO				
	(Ha.)					(Ton.)					(Ton. / Ha.)				
	2015	2016	2017	2018	2019	2015	2016	2017	2018	2019*	2015	2016	2017	2018	2019
SANTANDER	16.882	18.308	19.032	19.056	19.068	244.525	285.990	295.352	305.020	303.678	14,5	15,6	15,5	15,4	15,4
CUNDINAMARCA	8.254	8.385	8.716	8.754	9.092	58.446	65.625	67.773	68.991	67.400	7,1	7,8	7,8	7,7	7,7
VALLE DEL CAUCA	6.180	6.327	6.577	6.837	6.673	144.831	152.035	157.012	162.152	148.920	23,4	24	23,9	23,7	23,7
CALDAS	5.783	5.992	6.229	6.476	6.163	96.748	110.492	114.109	114.450	113.652	16,7	18,4	18,3	18,2	18,2
ANTIOQUIA	5.184	5.866	6.097	6.339	6.276	103.807	125.846	129.965	134.220	132.791	20	21,5	21,3	21,2	21,2
META	5.888	5.844	6.075	6.105	5.584	109.175	104.873	108.305	111.851	110.920	18,5	17,9	17,8	17,7	17,7
TOULIMA	4.791	5.134	5.337	5.548	5.643	52.457	57.097	58.966	58.896	58.078	10,9	11,1	11	11	11
NARIÑO	4.326	4.187	4.352	4.387	4.890	19.235	19.597	20.238	20.901	19.854	4,4	4,7	4,7	4,6	4,6
QUINDIO	3.637	4.120	4.283	4.352	4.813	93.284	105.696	109.156	110.729	110.334	25,7	25,7	25,5	25,3	25,3
MAGDALENA	2.879	2.790	2.900	2.814	3.151	49.649	55.978	57.810	56.785	55.526	17,2	20,1	19,9	19,8	19,8
NORTE DE SANTANDER	2.123	2.132	2.216	2.189	2.006	22.645	23.357	24.121	24.911	23.186	10,7	11	10,9	10,8	10,8
BOYACÁ	2.078	2.108	2.191	2.277	1.812	22.782	23.271	24.032	24.819	23.934	11	11	11	10,9	10,9
CESAR	1.678	1.684	1.751	1.658	1.789	14.391	14.559	15.036	15.528	14.886	8,6	8,6	8,6	8,5	8,5
CAUCA	1.303	1.452	1.509	1.457	1.268	14.048	16.260	16.792	17.342	16.574	10,8	11,2	11,1	11,1	11,1
HUILA	1.038	1.217	1.265	1.315	1.284	8.072	8.972	9.265	9.569	8.758	7,8	7,4	7,3	7,3	7,3
RISARALDA	1.025	1.032	1.072	1.115	1.013	28.754	29.532	30.498	31.497	30.293	28,1	28,6	28,4	28,3	28,3
BOLIVAR	848	848	881	842	876	9.312	13.293	13.728	14.178	12.980	11	15,7	15,6	15,5	15,5
ATLANTICO	667	762	792	768	803	10.617	12.587	12.999	13.424	12.471	15,9	16,5	16,4	16,3	16,3
OTROS	1.711	1.888	1.963	2.004	1944	21.419	24.600	25.410	25.241	25.274	12,5	13	12,9	12,9	12,9
TOTAL	76.272	80.073	83.239	84.293	84.147	1.124.197	1.249.660	1.290.567	1.320.504	1.289.509	14,7	15,6	15,5	15,4	15,4

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019).

Según datos del Ministerio de Agricultura (2018), actualmente no se cuenta con las cifras discriminadas por producto en cuanto a cítricos, adicionalmente, cabe resaltar que el departamento es abastecido con cítricos provenientes de departamentos aledaños como son Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Quindío, y Antioquia, a esto se le suma que en algunos casos, aunque no hay cifras exactas, se exporta este tipo de cítricos del país vecino Ecuador, pero de acuerdo con las cifras transadas en las principales plazas mayoristas del país: el 47 % de la producción corresponde a naranjas; el 27 %, a mandarinas y el 26 %, a limón, siendo este productor el de mayor crecimiento en área sembrada en los últimos dos años. Teniendo en cuenta los valores anteriores, se determinó que Nariño produce un total de 19.854 ton/año de cítricos, de las cuales el 47 % corresponde a Naranja, equivalente a 9381.39 ton/año.

Para estimar la capacidad de la planta en 2021, se tuvo en cuenta las toneladas generadas de cascará de naranja en Nariño, teniendo en cuenta que los residuos de este cítrico representan aproximadamente entre el 23 y 40 % del peso, estos corresponden a piel, pulpa y semillas. (Boukroufa et al., 2015).

2.1.1 Propiedades fisicoquímicas de la cáscara de naranja

Teniendo en cuenta el enfoque de esta investigación, se identificó información de diferentes autores en cuanto a la caracterización de cáscara de naranja fresca. Existen muchas investigaciones que describen la caracterización, pero, para este caso, se toma como base la cascara seca y posterior reducción de tamaño por molienda, lo cual evidencia un cambio importante en los valores encontrados. En la Tabla 2 se muestra la revisión de las investigaciones más destacadas y relevantes para esta investigación, las cuales presentan diferentes valores en % p/p de características fisicoquímicas con base seca de la cáscara de naranja de la variedad valenciana.

**Tabla 2***Caracterización de cascara de naranja*

Fuente	Parámetro			
	% Humedad	% Proteína	% Grasa	% Ceniza
(Virreira y Góngora, 2014)	64,44	7,01	0,89	1,29
(Restrepo et al., 2012)	62,2	0	0	2,156
(M'hiri et al., 2015)	76,015	7,78	0,8	3,17
(Kammoun et al., 2011)	74,804	8,12	0,95	3,13
Promedio	69,36	5,73	0,66	2,44

Es importante destacar que, Virreira y Góngora (2014) utilizaron procedimientos estandarizados por métodos oficiales de análisis de alimentos (A.O.A.C, 1990), los cuales, para cada parámetro, fueron los siguientes: para humedad, el método de Estufa, que determina la humedad a partir del cambio de peso de la muestra; para la determinación de la ceniza, método Mufla (a 600 °C), que determina el cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua; para el contenido de proteína, método Kjeldahl y para el parámetro de grasa, el método Soxhlet (Restrepo et al., 2012).

Para la presente investigación, el contenido de humedad se determinó según el método oficial 20.013 (AOAC, 1990); el contenido de cenizas, según el método oficial 940.26 (AOAC, 2007), aunque en la investigación se evaluó otros parámetros, estos dos son los más relevantes para este trabajo.

En la investigación de M'hiri et al. (2015), el contenido humedad se midió por el método gravimétrico a 105 °C hasta obtener un peso constante. Según la Norma ISO 2004, el contenido de ceniza se determinó mediante la incineración de la muestra en un horno de mufla a 550 °C, durante 5 h, según el método AOAC (2006); el contenido de proteína se analizó según el método Kjeldahl (ISO 2001), teniendo en cuenta los valores reportados por las diferentes investigaciones, las cuales, aunque tenían un enfoque diferente, las caracterizaciones fisicoquímicas de dichas investigaciones utilizaron métodos semejantes, que permiten la comparación entre sí para que cada parámetro tenga un valor aproximado.

Por otra parte, se encontró información acerca del contenido de lignina, investigaciones como la de Sánchez-Orozco y Vázquez-Velázquez (2017) plantea la cuantificación de lignina, celulosa y hemicelulosa, después de realizar un pretratamiento químico a la materia prima, encontrando valores de 26,5 % de hemicelulosa, dicho valor comprende una cantidad significativa de hexosas y pentosas; 9,93 % de celulosa y 2,81 % de lignina. Otra investigación importante fue la de Tovar (2017), de la cual se obtuvo la información de la composición de



la cáscara de naranja; el dato más relevante fue el de lignina, que reportó un valor de 3,04 %. Los últimos datos son los que reportó la investigación de Ververis et al. (2007): hemicelulosa de 6,10 %, celulosa de 13,61 % y para lignina de 2,10 %. Las anteriores investigaciones, para la determinación de cada parámetro, utilizaron la variedad de naranja valenciana, el método utilizado es el AOAC de 1998 para determinación de lignina y azúcares reductores.

2.2 Objetivo 2

Analizar el mercado del 2,3 Butanodiol para determinar qué tan viable es producir este tipo de compuesto.

2.2.1 Determinación del mercado para los biocarburantes

La aprobación de la Ley 693 marcó la entrada de Colombia en la nueva era mundial de los combustibles de origen vegetal, utilizados desde hace muchas décadas (particularmente el etanol), debido al atractivo económico en razón del Protocolo de Kyoto y la dinámica de precios internacionales del petróleo.

La promulgación de la Ley tuvo como propósito principal la diversificación de la canasta energética colombiana a través del uso de alternativas compatibles con el desarrollo sostenible en lo ambiental, lo económico y lo social. Mediante la reglamentación de la Ley se estableció un comprensivo marco legal y normativo, que además de promover el uso de los agrocarburos, proporcionó los estímulos necesarios para la producción, comercialización y consumo. (Ministerio de Minas y Energía, 2009, p. 5).

2.2.2 Consumo de biocombustibles

El consumo de biocombustibles está asociado con el sector de transporte, pues obedece al comportamiento del consumo de Gasolina y ACPM del país, donde la participación del sector transporte en el consumo total de gasolina es del 97 %, mientras que ACPM participa con el 70 %.

Los programas de mezcla de biocombustibles han permitido que una buena parte del territorio nacional se distribuya mezcla de 10 % de alcohol carburante con gasolina, y 5 % de Biodiesel con ACPM, y se tienen previstos nuevos proyectos que permiten cubrir la totalidad de la demanda nacional con los porcentajes establecidos y adicionalmente avanzar a porcentajes superiores. (Ministerio de Minas y Energía, 2009, p. 10)

2.2.3 Determinación de la demanda

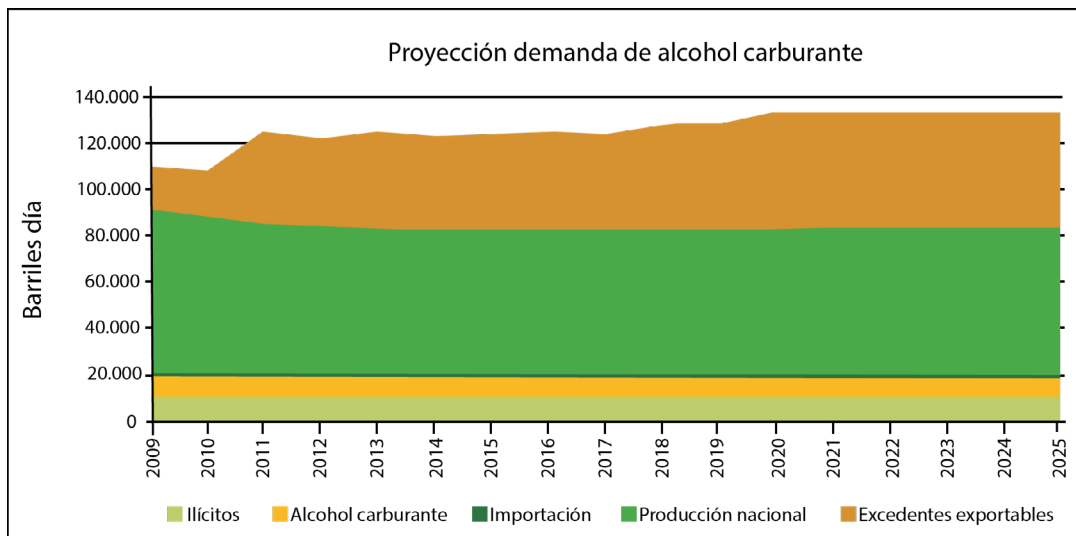
Los requerimientos de los biocombustibles están relacionados con la demanda de los combustibles, particularmente de gasolinas y ACPM. En este sentido, se tuvo en cuenta los valores registrados por el Ministerio de Minas y Energía (2015), donde se realizó los cálculos a partir de los resultados de proyección de cada uno de los compuestos mencionados; todo esto teniendo en cuenta que el uso de los biocombustibles en los porcentajes establecidos no modifica el consumo de los vehículos (Ministerio de Minas y Energía, 2009).



Como se muestra en la Figura 1, “a lo largo de la proyección se mantiene una mezcla del 10 % de [alcohol carburante], el cual decrece levemente hasta el 2019 y luego inicia un pequeño crecimiento, igual en términos porcentuales a la demanda de gasolina” (Ministerio de Minas y Energía, 2009). Esto permite deducir que, para años siguientes, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional del país, que las cantidades de consumo de energía, en este caso combustibles y biocombustibles, irán creciendo, por lo tanto, es necesario que el gobierno piense en diferentes materias primas que ayuden a la generación de nuevos biocombustibles.

Figura 1

Proyección de la demanda de alcohol carburante, importaciones, producción nacional



Fuente: Ministerio de Minas y Energía (2009).

2.3 Objetivo 3

Generar una simulación del proceso de producción de 2,3 Butanodiol a partir de residuos de naranja en un software comercial.

2.3.1 Diagrama de flujo del proceso de obtención de 2,3 Butanodiol a partir de cáscara de naranja

2.3.1.1 Selección del método termodinámico. Para la selección del método termodinámico del software Aspen Plus, se tuvo en cuenta que los compuestos involucrados posean un fuerte componente polar (agua y alcoholes) y que no tenga presencia de electrolitos. Este tipo de proceso se establece con una presión inferior a 10 bar. Adicionalmente, se tuvo en cuenta las siguientes interacciones: vapor-líquido y líquido-líquido, por lo cual se utilizó el modelo termodinámico UNIQUAC.

2.3.1.2 Descripción del proceso. Este tipo de proceso consta de tres etapas principales. En la primera etapa se encuentra la preparación de la materia prima, donde el ingreso de la materia prima se lo hace de la siguiente manera: secuencia de

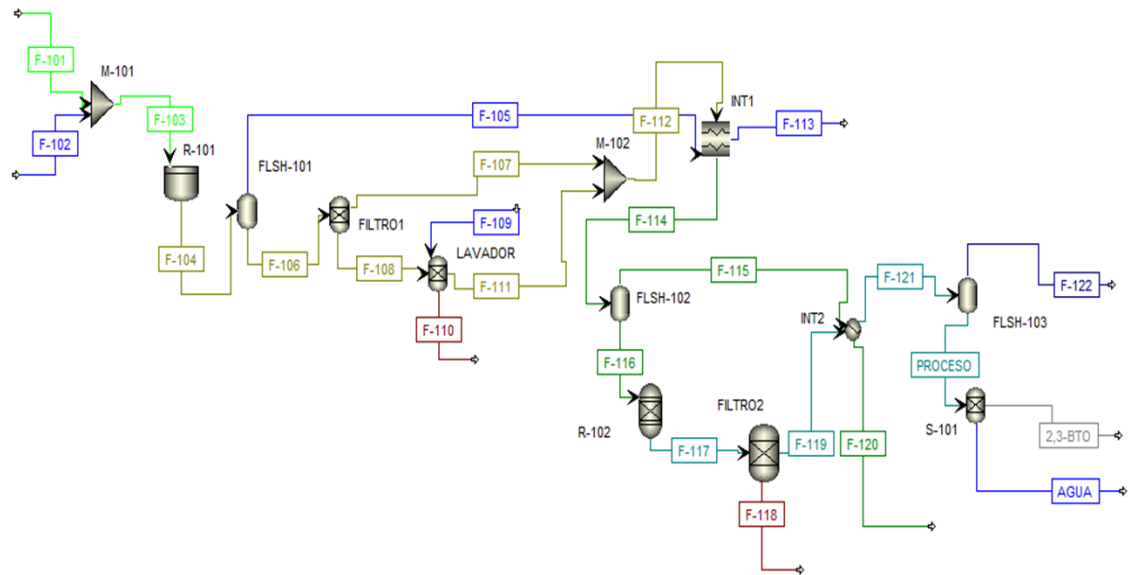


pretratamientos. La segunda etapa es la fermentación y obtención del producto. La tercera etapa se encarga de la concentración y purificación del producto de interés.

Para la simulación de la planta de producción de 2,3 Butanodiol, este trabajo se basó en un procedimiento descrito bibliográficamente. El producto a obtener esta entre el 85 y 95 % de fracción molar. Algunos equipos fueron adaptados de acuerdo con el programa de simulación.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de obtención de 2,3 Butanodiol



2.3.2 Rendimiento del proceso

La producción de este tipo de compuesto (2,3 Butanodiol) a partir de la cáscara de naranja presenta los mismos retos que otro tipo de biomasa lignocelulósica. En primera instancia, por su baja producción, debido a que en el proceso de pretratamiento no solo se obtiene glucosa, sino que también se producen azúcares de tipo pentosa, provenientes de la hemicelulosa. En segunda instancia, se tiene en cuenta que el proceso para romper los enlaces de lignina requiere de pretratamientos que también puedan descomponer la hemicelulosa y celulosa, por lo tanto, en la etapa de pretratamiento (explosión de vapor y filtrado) se logra eliminar el 90 % de lignina presente en la cáscara de naranja; sin embargo, según lo reportado por Vaquero (2016), el máximo rendimiento que se alcanza en un reactor de dos etapas continuas es de $0,46\text{g}^*\text{g}^{-1}$, donde la concentración de este producto fue de $67\text{g}^*\text{l}^{-1}$. Así, en este estudio se obtuvo un rendimiento de 6,15 % en relación con la cantidad de materia prima utilizada y producto obtenido. En el proceso se ingresó 1.000 kg/h de cascara de naranja y se obtuvo 61,5309 kg/h de producto (2,3 Butanodiol).



3. Conclusiones

A pesar de que el departamento de Nariño produce naranja, en comparación con otros departamentos, su producción es bastante baja, cabe mencionar que al departamento también ingresa naranja de los alrededores y, por ende, la cantidad de residuos de dicho fruto tendrá una cifra considerable. Adicionalmente, se debe buscar otras fuentes de biomasa lignocelulósica, con el fin de producir 2,3 Butanodiol, ya que este tipo de compuesto es de gran importancia.

Los pretratamientos y condiciones que se establecieron al momento de realizar la simulación presentaron buenos resultados con respecto a otras investigaciones que pretendieron obtener compuestos similares; sin embargo, se debe evaluar más afondo, pues si bien se empleó parámetros basados en la literatura, existe gran variedad de posibles configuraciones, las cuales podrían dar mejores resultados tanto a reducción de lignina como en la obtención de producto final.

Mediante el análisis del mercado se identificó una demanda creciente de 2,3 Butanodiol, si bien existe una información limitada del producto, los estudios que se han realizado afirman que el mercado de este crecerá en los próximos años, esto debido a las diferentes aplicaciones y usos que pueden aplicarse al 2,3 Butanodiol. Adicionalmente se resalta que producirlo, en Colombia, sería muy provechoso debido a la inexistencia de plantas dedicadas a la producción del compuesto.

Con los resultados se tiene en cuenta que, aunque se necesita bastante materia prima para la producción de 2-3 Butanodiol, en el caso de Colombia, se debe generar un sistema de recolección que permita aprovechar todo tipo de material lignocelulósico.

Con el proceso de simulación se logró la identificación teórica de parámetros y condiciones de operación, los cuales son muy útiles al momento de ejecutar la simulación, de este modo, fue posible conocer el comportamiento del proceso y como inciden estas variables en los rendimientos del producto final. Asimismo, se evidenció que la etapa de pretratamiento de la materia prima y parametrización del proceso fue ideal en la producción de 2-3 Butanodiol, por la ruptura de la molécula de lignina y concentración de azúcares; sin embargo, se debe tener en cuenta el tipo de microorganismo para que se obtenga un rendimiento mayor en este tipo de materia prima.



Referencias

- Adekunle, A., Orsat, V., & Raghavan, V. (2016). Lignocellulosic bioethanol: A review and design conceptualization study of production from cassava peels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (64), 518-530. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.064>
- Arias, F. y Vera, J. (2016). *Construcción de un reactor piloto para la generación de biodiesel a base de aceite de palma africana (Elaeis guineensis) en la espam "MFL"* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. ESPAMMFL. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/545>
- Białkowska, A. (2016). Strategies for efficient and economical 2, 3-butanediol production: new trends in this field. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(12), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2161-x>
- Boukroufa, M., Boutekedjiret, C., Petigny, L., Rakotomanomana, N., & Chemat, F. (2015). Bio-refinery of orange peels waste: A new concept based on integrated green and solvent free extraction processes using ultrasound and microwave techniques to obtain essential oil, polyphenols and pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 24, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.11.015>
- Chang, V.S., y Holtzapple, M.T. (2000). Fundamental factors affecting enzymatic reactivity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 84-86, 5-37. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1392-5_1.
- Chiamonti, D., Prussi, M., Ferrero, S., Oriani, L., Ottonello, P., Torre, P., & Cherchi, F. (2012). Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method. *Biomass and Bioenergy*, 5(4), 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.04.020>
- Duff, S., & Murray, W. (1996). Bioconversion of forest products industry waste cellulosic to fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology*, 55(1), 1-33. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00122-0](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00122-0)
- Faba, L., Díaz, E. y Ordoñez, S. (2013, 19 de junio). La biomasa como materia prima para la obtención de combustibles líquidos. *Bioecomasa*. <https://bioecomasa.wordpress.com/2013/06/19/posibilidades-de-produccion-de-combustibles-liquidos-a-partir-de-la-biomasa/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2004). Sistemas de gestión ambiental requisitos con orientación para su uso (NTC-ISO14001). https://intranet.ugc.edu.co/documentos/gestion_calidad/ntc_iso_14001_2004.pdf
- Kammoun, A., Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., & Boudhrioua, N. (2011). Effect of infrared drying on drying kinetics, color, total phenols and water and oil holding capacities of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *International Journal of Food Engineering*, 7(5), 11. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2222>



- M'hiri, N., Ioannou, I., Ghoul, M., & Boudhrioua, N. M. (2015). Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *Journal of New Sciences*, 44(9), 881-890.
- Mantilla, M. (2012). *Hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar y paja de trigo con una posterior fermentación alcohólica para obtención de etanol* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/473>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019, junio). Cadena de cítricos. Indicadores e instrumentos. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2009). Biocombustibles en Colombia. http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf
- Restrepo, A., Arredondo, A., Morales, C., Tamayo, M., Benavides, Y., Bedoya, V. y Vélez, C. (2012). Aplicación de la técnica de impregnación a vacío en el desarrollo de cáscaras de naranja mínimamente procesadas fortificadas con potasio, sodio, y vitaminas B1, B6 y B9. *Engineering and Technology*, 1(1), 8-16. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/jet/article/view/198>
- Sánchez-Orozco, R. y Vázquez Velázquez, J. (2017). Hidrólisis de residuos de naranja para la obtención de carbohidratos fermentables. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 2(4), 63-70.
- Suárez-Forero, S., Candela-Soto, A., Henao-Martínez, J. y Bayona-Ayala, O. (2019). Evaluación del desempeño del pretratamiento con peróxido de hidrógeno sobre bagazo de caña de azúcar para remoción de lignina. *ITECKNE*, 16(1), 21-28. <https://doi.org/10.15332/v16i1.2158>
- Tejada, L., Tejada, C., Villabona, Á., Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., Marimón, W., Madariaga, N. y Tarón, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(10), 120-125. <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/104>
- Tovar, A. (2017). *Valorización integral de cáscaras de naranja mediante extracción de pectina y elaboración de carbón activado* [Tesis de maestría, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C.]. Cideteq Repositorio. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/191>
- Ververis, C., Georghiou, K., Danielidis, D., Hatzinikolaou, D., Santas, P., Santas, R., & Corleti, V. (2007). Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource technology*, 98(2), 296-301. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.007>
- Virreira, J. y Gongora, O. (2014). *Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de naranja (citrus sinensis l.) y pomelo (citrus grandis), para obtener bioetanol - Iquitos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. UNAP. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4258>