

RESUMEN

Actualmente, el manejo, tratamiento y disposición de los residuos sólidos representan un problema cada vez mayor debido a causas tales como: el crecimiento poblacional acompañado del aumento en la generación de los residuos sólidos, prácticas inadecuadas en las actividades del sector industrial y urbano, como así también, el impacto negativo que se provoca sobre el medio ambiente al emplearse cada vez cantidades más grandes de superficie de suelo para la disposición de estos desechos a través de rellenos sanitarios. Estos residuos están constituidos en su mayoría por biomasa orgánica, que procede especialmente del consumo humano y como consecuencia del funcionamiento de agroindustrias, tales como la planta procesadora de cítricos localizada en la comunidad El Nueve, con una capacidad de procesamiento cercana a 12 toneladas de cítricos por hora, la cual generaría una importante cantidad de biomasa residual, misma que necesitaría de un manejo adecuado para evitar o minimizar el daño al medio ambiente.

La biomasa es una fuente energética renovable, integrada por una variedad relativamente amplia de recursos. La forma de aprovechar la biomasa depende del tratamiento que se aplique; la producción de biocombustibles tales como el bioetanol y biodiesel a partir de biomasa tiene el potencial de sustituir cantidades significativas de combustibles fósiles en varios de sus campos de utilidad.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo, la obtención de bioetanol a partir de cascaras de naranja procedentes de la planta procesadora de cítricos ubicada en la localidad de Bermejo del departamento de Tarija, el aprovechamiento de este tipo de biomasa compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina ofrece una oportunidad de desarrollo biotecnológico, a través de su utilización como fuente de carbono en la obtención de azúcares simples que puedan servir de nutriente por microorganismos fermentadores.

El proceso de producción de bioetanol presenta distintas alternativas tecnológicas, sin embargo, las etapas que comprende el proceso de manera general son las siguientes

- Pre tratamiento de la biomasa
- Hidrolisis de azucares complejos
- Fermentación de azucares para la obtención de bioetanol

En el pre tratamiento realizado a las cascaras de naranja, se pudo observar que la cantidad de materia prima destinada al proceso sufrió un leve incremento de peso y volumen, sin embargo, la operación establecida fue favorable ya que se constató mediante un análisis de laboratorio buenos resultados de azucares totales antes de realizar la hidrolisis.

Los sólidos solubles obtenidos en la hidrolisis varían entre 8,1 a 12,8 °Brix, siendo los mejores resultados de 12,1 y 12,8 °Brix, a partir de las condiciones en las que se realizaron estas experiencias se seleccionaron los sustratos para la fermentación alcohólica.

Los vinos obtenidos al finalizar la fermentación alcohólica, presentaron concentraciones entre 5 y 7,5 °GL. Mientras que, en los rendimientos logrados, la etapa de hidrolisis tuvo una eficiencia máxima del 59,259 % y en la etapa de fermentación alcohólica la conversión de glucosa en alcohol alcanzó una conversión del 74,174 %.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Una de las principales actividades agrícolas con las que cuenta el departamento de Tarija en las zonas pertenecientes al valle central, chaco y sur; consiste en el cultivo de especies frutales ya sea para el consumo humano o para la elaboración de productos derivados, entre las cuales destaca la naranja que en los últimos años ha cobrado trascendencia especialmente en el sur del departamento con la implementación de la planta procesadora de cítricos, ubicada en la localidad de Bermejo (Provincia Arce). En la siguiente tabla se muestran las cuantificaciones registradas por anualidad de naranja cultivada en el departamento de Tarija.

Tabla 1: Producción de Naranja en el Departamento de Tarija

Año	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (t)
2009-2010	836	5566	4656
2010-2011	835	5435	4541
2011-2012	846	5524	4672
2012-2013	853	5406	4609
2013-2014	874	5534	4837
2014-2015	894	5620	5025
2015-2016	905	5681	5141

Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE, 2017

El consumo de este producto de manera directa o como materia prima en las industrias, genera una importante cantidad de residuos sólidos proveniente especialmente de la cáscara del fruto, los mismos que corresponden a materia residual del tipo orgánica, la cual en la actualidad representa un creciente problema para el medio ambiente y la salud tanto de los animales como así también de los propios

seres humanos, constituyéndose así la contaminación por residuos sólidos orgánicos como uno de los grandes problemas de la sociedad en el presente.

En el siguiente cuadro se presentan las cifras aproximadas de la cantidad de residuos sólidos generados en la ciudad de Tarija.

Tabla 2: Producción Estimada de Residuos Sólidos de la Ciudad de Tarija

Año	Producción Diaria de Residuos Sólidos (t)	Producción Anual de Residuos Sólidos (t)	Materia Orgánica Anual 62% (t)
2010	106	38.690	23.988
2011	111	40.515	25.119
2012	117	42.705	26.477
2013	122	44.530	27.609
2014	128	46.720	28.966
2015	133	48.545	30.098
2016	139	50.735	31.456
2017	144	52.560	32.587

Fuente: Entidad Municipal de Aseo Tarija, 2017

En el departamento de Tarija durante el año 1998 se registró una generación de 40 toneladas de desechos sólidos por día, de los cuales aproximadamente el 62% fueron de origen orgánico, cantidad que hasta la fecha se ha multiplicado a consecuencia del aumento demográfico de nuestra región especialmente en los últimos años y al crecimiento industrial con el subsecuente aumento en el consumo de productos alimenticios.

Según la Dirección Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Ministerio de Medio Ambiente y Aguas todos los desperdicios en este caso orgánicos poseen

características propias y generan cierto daño a los ecosistemas, haciendo notar que debido a la cantidad en la que se presentan son los que más contaminan el medio ambiente. A nivel nacional solo un 3% de estos materiales reciben un tratamiento adecuado en su disposición final, mientras que la cantidad restante se encuentra en botaderos, terrenos baldíos, terrenos agrícolas, a orillas de ríos, otros sirven de alimento para animales, es decir que se hallan causando un impacto negativo sobre el medio ambiente por el manejo y tratamiento deficiente que estos residuos reciben.

La planta procesadora de cítricos de Bermejo está ubicada en la comunidad El Nueve, es una de las factorías más modernas con las que cuenta el país, posee una capacidad de procesamiento de 12,5 toneladas de cítricos por hora, razón por la cual para abastecerse captará la producción de al menos 30 comunidades de la provincia Arce, Entre Ríos y el Gran Chaco. Como consecuencia de la actividad y operación de la planta se produciría una importante cantidad de materia residual orgánica, compuesta especialmente por cáscaras de naranja, las cuales requieren de un manejo y un tratamiento adecuado en relleno sanitario para su disposición final para así evitar el deterioro del medio ambiente por el impacto que puedan causar.

Para eliminar el riesgo que suponen estos desechos para el medio ambiente y con la finalidad de elaborar productos de interés comercial a partir de materia desvalorizada, se considera como una de las alternativas de aprovechamiento más viable para las cascaras de naranja la referida a la producción de biocombustibles como el bioetanol.

El bioetanol nace como consecuencia de factores tales como: la necesidad de proteger el medio ambiente, preservar los recursos tanto renovables como no renovables, los temores que genera el calentamiento global y maximizar el potencial de uso de productos agrícolas, en especial de los subproductos que estos generan al someterlos a distintos procesos agroindustriales, constituyéndose como desechos-problema.

El bioetanol es un producto químico de origen vegetal (renovable), que tradicionalmente se elabora a partir de cultivos alimentarios y mediante la fermentación de los azúcares o almidones contenidos, se produce etanol de primera generación.

Entre las ventajas más atractivas que posee frente a los combustibles fósiles destacan:

- El bioetanol es una fuente de energía renovable y doméstica.
- Reduce la dependencia del petróleo al ser empleado como combustible en vehículos motorizados.
- La producción de bioetanol, especialmente de segunda generación (utilizando biomasa lignocelulósica residual) reduce los residuos sólidos orgánicos, coadyuvando así en la preservación del medio ambiente.
- Aumenta el octano del combustible a un pequeño costo.
- Implícitamente utilizable en todos los vehículos motorizados.
- Fácil de producir y almacenar.
- Es una fuente más limpia de combustible porque emite 40 – 80% menos cantidad de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles, por consiguiente, reduce la lluvia ácida, mejora la calidad del aire en zonas urbanas y no contamina las fuentes de agua. (Olmedo, F. 2008)

En la siguiente tabla se detallan de manera aproximada las emisiones de gases efecto invernadero en el sector energético en toda Bolivia, como consecuencia del uso de combustibles fósiles como matriz energética.

Tabla 3: Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O del Sector Energético en Bolivia

Categoría de Fuente	Gas	Emisiones del año 2002	Emisiones del año 2004
----------------------------	------------	-------------------------------	-------------------------------

		(Gg)	(Gg)
Energética	CO ₂	1807,790	1872,440
Manufactura y Construcción	CO ₂	1507,740	1624,750
Transporte	CO ₂	4040,090	4274,550
Otros	CO ₂	4,020	4,370
Energética	CH ₄	0,610	0,640
Manufactura y Construcción	CH ₄	0,390	0,400
Transporte	CH ₄	0,450	0,480
Otros	CH ₄	1e-3	2e-3
Energética	N ₂ O	0,020	0,030
Manufactura y Construcción	N ₂ O	0,030	0,040
Transporte	N ₂ O	0,040	0,040
Otros	N ₂ O	0	0

Gigagramo (Gg) = 10⁹ gramos (g)

Fuente: Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambios Climáticos, 2005

Tabla 4: Comparación de Características Físicoquímicas de la Gasolina Frente al Etanol

Característica	Unidad	Gasolina	Etanol Anhidro	Etanol Hidratado	ETBE (Etil Terbutil Eter)
Densidad	kg/l	0,75	0,79	0,81	0,74
Volatilidad	kg/cm ²	0,75	1,52	1,18	0,34
Relación Estequiométrica máxima	Aire/combustible	15,2	-	8,30	-
Calor Latente de Vaporización	kJ/kg	376	903	1.141	-
Índice de Octano	IOM	85	89	92	102
Índice de Octano	IOR	95	106	110	118
Autoignición	°C	367	550	560	570
Poder Calorífico Inferior PCI	kJ/kg	42.900	26.800	24.900	36.000

Fuente: Consultora Estructplan, 2000

En la actualidad las investigaciones se dirigen más a determinar nuevos procesos y nuevas fuentes de materia prima para obtener bioetanol; estas investigaciones han tenido un auge muy grande particularmente en países como Estados Unidos y Brasil donde es utilizado por su importancia en el campo de los combustibles.

Uno de los principales productores de bioetanol en Latinoamérica con una enorme distancia de los demás países es sin duda Brasil con más de 26 mil millones de litros.

Ello resulta lógico, tomando en cuenta que es el segundo productor mundial (con aproximadamente 33,20 % del total), siendo superado únicamente por Estados Unidos (54,70 %). Pero el país pionero en el uso de este combustible no es solo un enorme productor, sino también un gran consumidor, puesto que emplea en el consumo interno el 87% de todo lo que produce. (CEPAL, 2011)

En la siguiente tabla se muestra los principales países productores de bioetanol en Latinoamérica:

Tabla 5: Producción y Consumo de Bioetanol en América Latina

Posición	País	Materia Prima	Producción (Millones de Litros)	Consumo (Millones de Litros)
1	Brasil	Caña de Azúcar, residuos lignocelulósicos	26.102	22.822
2	Colombia	Caña de azúcar, mandioca	302	337
3	El Salvador	Caña de azúcar	128	0
4	Paraguay	Caña de azúcar, maíz, arroz, sorgo, mandioca, nabo forrajero, residuos lignocelulósicos	122	110
5	Guatemala	Caña de azúcar	93	0
6	Bolivia	Caña de azúcar	87	0
7	Costa Rica	Caña de azúcar	70	29
8	Nicaragua	Caña de azúcar	58	00
9	Perú	Caña de azúcar, sorgo	52	0
10	Argentina	Caña de azúcar, maíz, sorgo azucarado, residuos	35	0

		lignocelulósicos		
11	Cuba	Caña de azúcar	20	18
12	Uruguay	Caña de azúcar, maiz, arroz, sorgo, sorgo azucarado, residuos lignocelulósicos	2	0

Fuente: CEPAL, 2009

De los doce países latinoamericanos que producen bioetanol, Perú es el noveno, por detrás de Guatemala, Bolivia, Costa Rica y Nicaragua, pero por delante de Argentina, Cuba y Uruguay. Como se muestra en el cuadro existen países que solamente son exportadores debido a que aún no se han implementado las condiciones y requerimientos necesarios para su consumo como carburante en estas naciones.

En Bolivia la materia prima para la elaboración de etanol o alcohol etílico es la caña de azúcar, de la cual se extrae como producto principal en los ingenios el azúcar de mesa y como producto secundario a menor escala etanol, el cual es comercializado en el mercado interno con fines de uso comercial y medicinal, por tanto, la mayor parte del etanol en Bolivia proviene del procesamiento de los jugos y melazas resultantes del proceso azucarero.

Actualmente el gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia a la cabeza del presidente Evo Morales, se encuentra en plena transformación de la matriz energética del país, este nuevo proyecto estableció un convenio suscrito entre el empresariado privado, la agroindustria azucarera y el gobierno con el proyecto etanol y su uso como aditivo en la gasolina.

El objetivo que se planteó a corto plazo es producir entre 80 a 100 millones de litros de etanol anhidro para el presente 2018, dicha cifra pretende incrementarse a 380 millones de litros para el 2025, donde se busca llegar a abarcar el máximo potencial del mercado de 700 millones de litros. El programa de producción de etanol “Bolivia en la Era de los Biocombustibles” apunta a cambiar la actividad cañero-azucarera de los ingenios involucrados en este rubro como: Guabirá (Santa Cruz), Unagro (Santa

Cruz), Aguaí (Santa Cruz), San Buenaventura (La Paz) y Bermejo (Tarija), además impulsará una serie de beneficios sociales, económicos y medioambientales con un producto de alta calidad.

Actualmente, las factorías procesadoras de caña de azúcar a la cabeza del ingenio de Guabirá y Aguaí ubicados en el departamento de Santa Cruz, han empezado a incrementar su producción comprometiéndose a entregar en la zafra del presente año un mínimo de 10 millones de litros de etanol, a la vez que YPFB informó la compra de al menos 80 millones de litros de alcohol anhidro para empezar con la producción del biocombustible, logrando ahorrar significativos montos de dinero. Se anticiparon inversiones para la adecuación de las instalaciones de YPFB para el almacenamiento, producción y comercialización en las estaciones de servicio del etanol como biocombustible. (Diario Digital Financiero, 2018)

Los avances de carácter experimental se están realizando a partir de material celulósico y lignocelulósico, los cuales son un subproducto de las actividades del hombre especialmente del tipo industrial y debido a que son las fuentes de biomasa de mayor abundancia en el mundo, es que cobraron interés acerca de la manera de su aprovechamiento.

El presente proyecto se fundamenta en la búsqueda de un proceso efectivo para el tratamiento integral de los residuos sólidos constituidos por cáscaras de naranja, provenientes de la planta procesadora de cítricos ubicada en la localidad de Bermejo-Tarija, para la obtención de bioetanol considerado hoy en día a nivel internacional como un recurso energético factible, sostenible y amigable con el medio ambiente, para lo cual primeramente se realizará una revisión bibliográfica acerca de las tecnologías disponibles y así poder definir las tres etapas del proceso: pretratamiento e hidrólisis, fermentación de jarabes azucarados y separación del bioetanol obtenido por destilación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener bioetanol a escala de laboratorio a partir de cascara de naranja.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el proceso a emplear para la obtención de bioetanol a escala de laboratorio.
- Determinar los parámetros tales como humedad, contenido de azúcares totales y reductores de la materia prima a emplear en el proceso de obtención de bioetanol a escala laboratorio.
- Determinar las principales variables de operación en el proceso de obtención de bioetanol a escala laboratorio.
- Realizar la determinación de azúcares reductores y solidos solubles (grados Brix) de los jarabes glucosados obtenidos.
- Seleccionar el sustrato para la fermentación alcohólica en base a la cantidad de solidos solubles (grados Brix)
- Determinar el rendimiento del proceso empleado para la obtención de bioetanol.
- Realizar el control de calidad del producto obtenido en laboratorio.

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El deficiente aprovechamiento de los recursos naturales existentes en nuestra región, juntamente con la limitada industrialización en el sector agropecuario son factores que aportan a intensificar la crisis económica en países del tercer mundo como Bolivia, en tal situación el desarrollo de nuevas técnicas de obtención de productos de interés comercial como el bioetanol producido a partir de cascara de naranja provenientes de la planta procesadora de cítricos del departamento de Tarija, contribuiría a mejorar las condiciones de vida mediante la generación de empleo especialmente para las personas ubicadas en la zona donde se localice una planta

procesadora para la producción de bioetanol, de igual manera, el procesamiento de estos subproductos permitiría un mayor aprovechamiento de nuestros recursos agrícolas, logrando también el incremento de los ingresos económicos en la agroindustria mediante la generación de valor agregado promoviendo así el crecimiento y progreso de los sectores industriales relacionados con la explotación de cítricos.

JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La producción de bioetanol a partir de cáscara de naranja considerada materia residual desvalorizada, traería consigo beneficios para la sociedad en conjunto tales como: aumento en la oferta nacional de alcohol para diversos usos y por ende una disminución en el precio de este producto en el mercado interno, contribuyendo así en la reducción de costos a los consumidores habituales de etanol en los sectores industrial, medicinal, comercial y doméstico entre otros. A largo plazo la elaboración de etanol a partir de esta clase de materia prima constituye una de las mejores alternativas para incrementar la producción de dicho producto con la finalidad de poder emplearlo en mezclas o como sustituto de combustibles fósiles, sin comprometer la seguridad alimentaria tan importante en los últimos tiempos.

JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

El bioetanol de segunda generación elaborado bajo el concepto de eco sostenibilidad a partir de cáscaras de naranja provenientes en su mayoría de la planta procesadora de cítricos del departamento de Tarija, constituiría una estrategia útil para contribuir en la preservación del medio ambiente, al mitigar el impacto ambiental que una factoría de esa clase y magnitud puede causar al entorno. El uso del bioetanol como mezcla carburante especialmente en vehículos motorizados traería consigo significativos beneficios para el medio ambiente y salud de los seres vivos, no solo por disminuir la carga orgánica residual, sino que también se reducirían los índices de contaminación por emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂, CO, NO_x), debido a que el bioetanol libera cantidades menores de estos gases en comparación a los combustibles fósiles tradicionales. De esta manera se plantea que la obtención de productos tales

como el bioetanol se base en los recursos naturales renovables, mediante procedimientos no destructivos ni contaminantes, contribuyendo su producción en la conservación del medio ambiente y en el desarrollo de la conciencia ambientalista del nuevo milenio para toda Bolivia.

JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

La obtención de bioetanol de segunda generación que se propone a partir de cascara de naranja se constituye como un método alternativo de producción, el cual involucra en sus diferentes etapas de elaboración tecnologías ampliamente estudiadas, difundidas a nivel mundial y por lo tanto conocidas, de igual manera los materiales necesarios para cada operación del proceso gozan de disponibilidad y precio razonable, aspectos que fueron seleccionados tomando en cuenta criterios básicos requeridos en la industria cuyo fundamento se explica en el presente trabajo, resultando así en una opción válida para su estudio.

JUSTIFICACIÓN PERSONAL

La ingeniería química se encuentra íntimamente ligada con la transformación de la materia, los procedimientos y operaciones necesarias para la obtención de productos, es decir con la industria de los procesos, la cual tiene una gran incidencia en la civilización, debido a que contribuye directamente en el progreso y mejoramiento de las condiciones de vida del ser humano, sin embargo las actividades implicadas en todo tipo de industria tienden a generar efectos negativos sobre el medio ambiente; contaminación del entorno; calentamiento global, cambio climáticos, etc. Razón por la cual, en este sentido, mi interés personal es investigar la manera de dar uso a desechos-problema como las cascaras de naranja provenientes de factorías como la planta procesadora de cítricos del departamento de Tarija, con la finalidad de generar valor agregado y coadyuvar en la preservación del medio ambiente.

