

CASO DE ESTUDIO: FACTIBILIDAD ECONÓMICA DENTRO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIORREFINERÍA SUSTENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS DE ALTO VALOR AGREGADO

González Cervantes Magdalena Yurixhi (1), Serafín Muñoz Alma Hortensia (2), Rentería Peláez Jorge Luis (3), Serrano Cabarcas Gianmarco (4)

1 [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato] | [my.gonzalezcervantes@ugto.mx]

2 [Dpto. de Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [sermuah@ugto.mx]

3 [Ingeniero en Energía, Universidad Autónoma de Bucaramanga] | [gserrano47@unab.edu.com]

4 [Ingeniería Electromecánica, ITM] | [jorgerenteria137111@correo.itm.edu.com]

Resumen

Debido a la necesidad de satisfacer la demanda energética nace el concepto de Biorrefinería para iniciar una nueva economía basada en el aprovechamiento de biomasa como fuente de energía. Para su desarrollo debe evaluarse con herramientas de factibilidad económica e indicadores de sustentabilidad. En el presente trabajo se estudió la factibilidad de implementar una Biorrefinería en el Estado de Guanajuato basándose en la producción de biocombustibles a partir de residuos lignocelulósicos (de 2da generación) provenientes de la agricultura. Se realizó la reproducibilidad de los procesos de pretratamiento y deslignificación y se analizó la factibilidad económica con las herramientas FODA e indicadores de sustentabilidad de los procesos reproducidos. Como resultado se obtuvo, un costo de \$1869US en los procesos mencionados de 1Kg de paja de maíz, lo que indica que aún se debe optimizar los procesos para bajar dichos costos. La conclusión del análisis con las herramientas FODA e Indicadores de Sustentabilidad, demuestra que el proyecto es altamente factible para implementar en el Estado, ya que el aprovechamiento de los residuos agroindustriales que se generan representa un alto potencial para la obtención de nuevos biocombustibles.

Abstract

Due from need to satisfy energy demand, the Biorefinery's concept is born to start a new economy base on use of biomass as an energy source. For a must development was been evaluated with economic feasibility tools and of sustainability's indicators. Now a days work for a feasibility over implementing a biorefinery on Guanajuato State was studied, based on the production of biofuels (2nd generation) lignocellulosic from agriculture's residues. The reproducibility of the pretreatment and delignification processes was performed to get a way cheaper to feasibility to the economy, however it means that was analyzed base on the SWOT tools, and the sustainability indicators of from reproduced processes. This analysisi let us as a result, a cost over \$1869US it was obtained from the aforementioned processes of 1 kg of corn straw, which indicates that to reduce these costs should be optimized the processes. The conclusion of the analysis with the tools SWOT and Sustainability Indicators, le tus know the project has highly feasible to implement on Guanajuato State, as a alternative to use the agriculturél residues had been generated representing a pretty high potential to obtaining new biofuels.

Palabras Clave

Análisis FODA; Bioenergía; Bioetanol; Indicadores de la Sustentabilidad; Residuo Lignocelulósico

INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda y sobreexplotación de los combustibles fósiles ha llevado a su agotamiento, generando un constante aumento de precio y preocupación por los problemas ambientales que desencadena su uso, dichos factores han motivado a iniciar una nueva actividad económica más sostenible y sustentable, emergiendo así una economía basada en la biomasa [1, 2]. El término biomasa se refiere a toda materia orgánica originada de forma inmediata en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía [3], compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. La bioenergía es la energía obtenida de la biomasa y los biocombustibles son un recurso renovable obtenido por tratamientos físicos, químicos o biológicos de la biomasa. Estos biocombustibles están clasificados en líquidos (biodiesel, bioetanol), sólidos (pellets) o gaseosos (biogás, biometano). Debido a la necesidad de satisfacer la demanda energética mundial nace el concepto de Biorrefinería, para optimizar el procesamiento de la biomasa, hacerla más eficiente y minimizar sus impactos ambientales [4]. El desarrollo económico de una biorrefinería tiene el enfoque del marco de desarrollo sustentable [1]. Cualquier estrategia de desarrollo del procesamiento de biomasa debe medirse y evaluarse de manera cuantitativa y con herramientas de factibilidad económica e indicadores de la sustentabilidad. México es un país altamente dependiente del petróleo que debe buscar nuevas alternativas para satisfacer la demanda energética. Se estima que para el 2030 la demanda de energía será de 810PJ, dicha demanda puede cubrirse empleando biocombustibles derivados del procesamiento de residuos agroindustriales como materia prima. En la actualidad no se aprovechan los residuos de la cosecha eficientemente [5], más del 50% de estos se usan para proteger el suelo, 27% para alimentar ganado y 20% se quema. El Estado de Guanajuato ocupa el 48% de su territorio en la agricultura, obteniendo una producción de 478,202 ton/año [6], generando en promedio 10ton/ha de paja [7]. Datos que indican que el Estado es candidato potencial para implementar una Biorrefinería, con amplias posibilidades de rentabilidad, de mitigación de impactos ambientales y de generación de empleos, basándose en la producción de bioenergéticos a partir de residuos lignocelulósicos de segunda generación (residuos agrícolas).

La UG lleva a cabo el proyecto “implementación de una Biorrefinería sustentable para la producción de productos de alto valor agregado” (CFINN0186-SICES) cuyo objetivo es atender la problemática de la gestión de los residuos lignocelulósicos, transformándolos en bioproductos de alto valor comercial, incluyendo el estudio de Factibilidad económica para Implementarla en Guanajuato. Como parte del proyecto, la presente investigación se desarrolló en dos etapas: 1. Reproducibilidad de los procesos de pretratamiento y deslignificación a partir del material lignocelulósico [8] y, 2. Análisis de factibilidad económica basada en las herramientas FODA e indicadores de la sustentabilidad de los procesos reproducidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Etapa 1. Reproducibilidad de los procesos de pretratamiento y deslignificación

- *Toma de muestras.*

Se recolectó el material Lignocelulósico (paja de maíz) de la cosecha del mes de marzo proveniente del rancho 88 ubicado en el municipio de Acámbaro, Gto en las coordenadas geográficas 20°03'30.27" al norte y 100°44'26.01" al oeste del meridiano de Greenwich.

- *Pretratamiento.*

Se lavó y trituró manualmente la paja de maíz para disminuir su tamaño de partícula. Posteriormente se tamizó en las mallas No. 3/8, 4 y 20 (0.375in, 0.187in, 0.0331in, sucesivamente). Se tomó el tamaño de partícula mayor (0.375 in, malla 3/8), y se molió en el molino “KRUPS”. La paja de maíz molida fue tamizada nuevamente en las mallas ya mencionadas para separarlo por tamaño.

- *Caracterización fisicoquímica*

Se determinó la densidad, %ceniza, %humedad de la partícula 0.187in y 0.0331in en base a la Norma Europea sobre la calidad de los residuos agrícolas [9]. El Análisis de metales se realizó por digestión ácida, siguiendo la metodología establecida dentro del manual HACH para la lectura de Cr²⁺, Cu, Fe²⁺, Mo, Zn por el espectrofotómetro UV-vis HACH DR900. La cuantificación de As total se realizó por espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer

Pinnacle con generador de hidruros. La curva de calibración se generó con un estándar de As de 1000ppb (SigmaAldrich), en el rango de 0-5ppb, las condiciones de análisis fueron en base a las establecidas en el manual de MHS 15-Perkin Elmer y se requirió preparar HCl 1.5%, (Fermont), NaBH₄ 3%. (Sigma Aldrich), NaOH (Fermont), ácido ascórbico (Sigma Aldrich) y KI (Fermont).

Deslignificación

Se realizó la deslignificación alcalina oxidativa (H₂O₂ 2% y NaOH 50%) y la hidrólisis ácida (H₂SO₄ 1.5%) en base a la metodología desarrollada por el grupo de trabajo [8].

Etapa 2. Análisis de la Factibilidad de los procesos reproducidos

El estudio de costos de los procesos llevados a cabo en la etapa 1, se realizaron en base a las cotizaciones promedio (de cinco proveedores) obtenidas de los insumos requeridos. La captura de datos y los cálculos contables fueron realizados en una plantilla Excel versión Windows 10 para la cuantificación unitaria de los insumos y % rendimiento de la celulosa obtenida del material lignocelulósico. Los indicadores de la sustentabilidad fueron desarrollados como lo indica la literatura [10]. Mientras que el Análisis FODA se realizó en base a la plantilla comercial PNEINSO/modelo planeación estrategia, Innova Soluciones, (2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1: Propiedades Físicoquímicas de la paja de maíz

Rastrojo de Maíz de Acámbaro		
Parámetros	Resultados	
1. Longitud (cm)	6.071 ± 0.9	
2. Humedad (%)	5.354 ± 0.9	
3. Cenizas (%)	5.7724 ± 0.9	
4. Densidad (gr/ml)	0.200 ± 0.01	
5. Partícula (%)	0.375 in	64.93 ± 1
	0.187 in	34.53 ± 1
	0.0331 in	7.78 ± 0.9
6. Arsénico (ppm)	n.d.	
7. Cromo (ppm)	0.004 ± 0.0001	
8. Cobre (ppm)	1.01 ± 0.08	
9. Hierro Ferroso (ppm)	0.012 ± 0.001	
10. Molibdeno (ppm)	0.016 ± 0.001	
11. Zinc (ppm)	n.d.	

*n.d. No detectado o por debajo del LD

La tabla 1 muestra las características físicoquímicas de la paja de maíz, los valores presentados fueron muy cercanos en comparación con los resultados dados en trabajos anteriores ya reportados que siguieron la misma metodología [8]. Dentro de la tabla 1 se puede apreciar que el metal más característico fue el cobre, con un valor promedio de 1.01 ± 0.08 ppm, sin embargo, no es representativo dado que está por debajo del valor límite que reporta la norma europea [9]. Se puede observar que en la muestra no se detectó niveles de arsénico y zinc. Dichos resultados indican que la paja de maíz es de buena calidad según la normativa [9].

Tabla 2: Costo de los insumos utilizados en base al procesamiento de 1KG de paja de maíz, en valores unitarios

Proceso Productivo		Costo Unitario	
Pretratamiento	Materia prima	\$1.16	Kg/\$
	Lavado	\$23.5	l/\$
	Tratamiento Físico	\$0.5	l/\$
Análisis de Calidad		Costo Unitario	
Caracterización		\$25,346.05	l/\$- Kg/\$
Proceso de Deslignificación		\$7,742.8	l/\$
Total=		\$33,114.00	\$1819.5US

En la tabla 2, se presentan los costos unitarios en base a los cálculos desarrollados tomando como base los insumos que se requieren para la transformación de 1kg de paja de maíz en cada proceso. En el proceso de deslignificación se observa que el promedio del gasto de insumos requeridos es de aproximadamente de \$8,000 (\$440 US). En trabajos anteriores han reportado el costo del proceso dentro del rango de 1000- 50000 \$US.

Tabla 3: Matriz FODA del proyecto

Factores Internos	Fortalezas F1. Grupo de Trabajo altamente calificado, con años de experiencia en el tema F2. Convenio de la Institución Educativa y el sector productivo	Debilidades D1. Falta de perfil social, económico, administrativo y legal
Factores externos		
Oportunidades O1. Mercado en crecimiento de biocombustibles	Fortalecimiento del equipo de trabajo a través de la multidisciplinariedad en las áreas administrativas, económicas y socio culturales	Generación de nuevos empleos dentro del grupo de trabajo
Amenazas A1. Barrera de la legislación	Proponer un marco legal sobre el desarrollo de Biorrefinerías a nivel Estatal	Integración de convenios entre el sector gubernamental, productivo e investigación para romper barreras legales

De acuerdo a la matriz FODA que se muestra en la Tabla 3 se puede decir que es factible y viable la implementación de la Biorrefinería, dado que las principales fortalezas con las que cuenta el proyecto, es el grupo de trabajo multidisciplinario y con el perfil, que llevan más de 10 años de experiencia en el tema, al igual también se tiene la infraestructura para su desarrollo. La oportunidad que hay dentro del Guanajuato principalmente es que es un Estado agrícola, que no tiene una buena gestión de esos residuos lo que conlleva también a un área de oportunidad; se generan grandes cantidades de toneladas de rastrojo al año, lo cual marca una gran estrategia de oportunidad para generar nuevos bioproductos y nuevos empleos. Dentro de las debilidades se destacan la alta resistencia al cambio como resultado de una gran dependencia a los combustibles fósiles. Las principales amenazas que se tienen es la falta de interés y conocimiento en el tema, así como la falta de una legislación para el posible desarrollo de una biorrefinería a nivel estatal, adicionando a las amenazas la carente integración del sector productivo con las instituciones.

Tabla 4: Indicadores de la Sustentabilidad

Atención a la Problemática	Indicador	Referencia
Energía limpia	Índice de utilidad de energías renovables en el Estado de Guanajuato	Planes de Desarrollo Nacionales Agenda Estatal de Innovación del Estado de Guanajuato
Bioenergía	Índice de proyectos relacionados con la Bioenergía	SICES CONACYT
Agricultura	Razón proporcional de manejo de la agricultura amigable con el ambiente	SAGARPA INIFAP
Residuos Agrícolas	Gestión de residuos agrícolas	SAGARPA SEMARNAT
Emisiones de GEI	Cuantificación del análisis de CO ₂ , SO _x y NO _x	Proyecto FINNOVATEG-CFINN0186
Calidad de aire	En base a las emisiones atmosféricas	Proyecto FINNOVATEG-CFINN0186
Responsabilidad Global	Norma de certificación de calidad ambiental	ISO 14000

Atendiendo a las dos primeras temáticas (energías alternas y bioenergía) que muestra la tabla 4 podemos mencionar que dentro del país y el Estado como tal aún no existen proyectos de aplicación real. Actualmente la SENER junto con el Plan de Desarrollo Nacional ha apoyado y aprobado 4 clústers destinados a la producción de biocombustibles, cabe mencionar que dentro del Estado de Guanajuato se tiene en marcha proyectos de investigación apoyados por el SICES los cuales, cuentan con convenios del sector productivo, cuyo propósito es la implementación real de una biorrefinería.

Los Indicadores elegidos se consideraron que eran los más representativos, dado que muestran la incidencia sustentable y factible que el proyecto tiene, tomando en consideración los impactos ambientales, así como los socioeconómicos. Los

resultados del análisis en base a los indicadores de sustentabilidad indican que es posible Implementar una Biorrefinería en el Estado de Guanajuato puesto que es un proyecto Sustentable basado en normas de calidad enfocadas a las cuestiones ambientales además cuenta con la materia prima (residuos agroindustriales) necesaria para su desarrollo. El procesamiento de esta materia prima representaría un potencial bioenergético aprovechable para formar parte de las energías limpias que se requieren implementar en el estado. El uso de los productos derivados de la actividad de biorrefinación disminuirían las emisiones y los gases de efecto invernadero (GEI). A pesar de que dentro del Estado se tienen muy pocos estudios de proyectos de esta magnitud y ninguno esta aplicado a una situación real por la falta de inversión, sabemos que el proyecto propuesto cumple con todos los puntos antes mencionado para asegurar su Sustentabilidad ambiental, económico y social.

CONCLUSIONES

Dentro de la etapa 1 se logró la reproducibilidad de la metodología establecida para los procesos de pretratamiento y deslignificación, resultando que la materia prima utilizada (paja de maíz proveniente del municipio de Acámbaro, Gto.) era de muy buena calidad según la normativa europea.

Dentro de la etapa 2, en base al análisis de costos de los insumos, cabe señalar que tratar 1Kg de paja de maíz en las etapas de pretratamiento y deslignificación representa un costo aproximado de casi \$34,000.00 (\$1869.00 US), lo que indica que se requiere optimizar varios procesos para bajar el alto costo de los insumos y poder tener una mayor retroactividad financiera.

Con base en herramientas usadas como lo fue el análisis FODA y los indicadores de la Sustentabilidad, se puede concluir que el proyecto es viable y altamente factible para realizar ya que presenta grandes oportunidades para el Estado de Guanajuato debido a que el aprovechamiento de los residuos agroindustriales que se generan representa un alto potencial para la obtención de nuevos biocombustibles, por lo que el proyecto enmarcaría una implementación de beneficios derivados de la actividad mencionada. Además de

que se posee la capacidad y calidad científica para echar a andar el proyecto.

AGRADECIMIENTOS

La investigación pudo ser desarrollada gracias al apoyo y colaboración de la Dra. Alma Hortensia Serafín Muñoz quien deposito en mí su confianza y me brindó la oportunidad, por ello quiero expresar mi más profunda gratitud. Agradezco a la UG por todas las oportunidades y puertas que me ha abierto a lo largo de mi carrera, a los Veranos UG por aceptar mi solicitud y permitirme enriquecer mi persona con aprendizajes, experiencias y conocimientos nuevos que tendrán un gran impacto en el desarrollo de mi profesión.

REFERENCIAS

- [1] Sacramento Rivero J.C., Romero G., Corté Rodríguez, Pech E. & Blanco Rosete S. (2010). Diagnóstico del desarrollo de Biorrefinería en México, Revista Mexicana de Ingeniería Química, volumen (9), 262 ,261-283
- [2] Agencia Provincial de la Energía (2013). Biorrefinerías una oportunidad de negocios para las zonas rurales y la industria, Guía de actuación en las regiones participantes en el proyecto BIOREF, Unión Europea, Zink soluciones creativas
- [3] Tomás Pejó E. (2010). Bioetanol de paja de trigo; estrategias de integración de las etapas del proceso (tesis posgrado). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas, Madrid, España.
- [4] Salazar R., Cárdenas G. (2013). La Bioeconomía y las Biorrefinerías. 31-34. Recuperado de [http:// www.eeaoc.org.ar/](http://www.eeaoc.org.ar/)
- [5] García C., Masera O., (2016). Estado de arte de la Bioenergía en México, Red Temática de Bioenergía (RTB) de Conacyt, México, México: Imagina Comunicación
- [6] INEGI (1997). El Sector Agropecuario en el Estado de Guanajuato, Recuperado de <http://internet.contenidos.inegi.org.mx/>
- [7] Frías Hernández J.T. (2009). Potencial y oportunidades de desarrollo de biocombustibles a partir de materiales no alimenticios en Guanajuato. Ideas CONCYTEG, volumen (4), 54(1). 1281-1284
- [8] Serafín A., Medina M., Vido F., Noriega B., (2016), Uso potencial de pellets para el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico en comunidades de Xichú, Gto., México, Acta Universitaria, volumen (26), pp. 22-32. doi: 10.15174/au.2016.1502

[9] Norma europea sobre la calidad de los residuos agrícolas (paja) EN14961-2, (2012). Recuperado: <http://www.aenor.es/aenor/normas>

[10] Naciones Unidas(2007). Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, Nueva York, Third Edition

[11] SAGARPA (2011). Monitor Agroeconómico. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/>

[12] Fang J., Tomkinson J., (2000). Delignification of rye Straw using hydrogen peroxide. Issue 2, Volumen (12), pp. 71-83

[13] González M., Castellano L., Albernas Y., González E., (2014). La integración de procesos en el esquema de una biorrefinería. AFINIDAD LXXI,568(1). 274-277

[14] Luo, G., Talebnia, F., Karakashev, D., Xie, L., Zhou, Q., and Angelidaki, I. (2011). Enhanced bioenergy recovery from rapeseed plant in a biorefinery concept. Bioresour Technol 102, 1433-1439.

[15] Le, D.M., Sorensen, H.R., Knudsen, N.O., Schjoerring, J.K., and Meyer, A.S. (2014). Biorefining of wheat straw: accounting for the distribution of mineral elements in pretreated biomass by an extended pretreatment-severity equation. Biotechnol Biofuels 7, 141.

[16] Elander R., Hsu T., (1995). Processing and economic impacts of biomass delignification for ethanol production, Golden, 51,463

[17] Cuervo L., Folch J., Quiroz R.,(2001). Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol., BioTecnología, Vol. (13), 3. 11-25.

[18] González M., et al. (2013). Análisis de factibilidad de la integración de los procesos de producción de azúcar y alcohol. AFINIDAD LXX, 564, 284-288.

[19] Masera O., Coralillo F. et al.(2011). La Bioenergía en México, México, RED MEXICANA DE BIOENERGÍA