

Evaluación de los principales residuos  
lignocelulósicos agroindustriales del  
departamento de La Libertad, Perú como  
potenciales materias primas para la obtención  
de bioetanol

Evaluation of major agroindustrial lignocellulosic  
wastes of the La Libertad department, Peru as  
potential raw materials for bioethanol obtention

***Cecilia Betzabet Bardales Vásquez***

Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-PERÚ [cbardalesv@upao.edu.pe](mailto:cbardalesv@upao.edu.pe)

***Candace Michell Rojas Ruíz***

Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo- PERÚ  
[crojasruiz@upao.edu.pe](mailto:crojasruiz@upao.edu.pe)

***Carlos Alberto León Torres***

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- PERÚ  
[cartaviolabs@hotmail.com](mailto:cartaviolabs@hotmail.com)

## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la región La Libertad (departamento La Libertad), Perú, con la finalidad de determinar su potencial uso como materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación. Se procedió a realizar la determinación y ubicación geográfica de los principales residuos del departamento La Libertad y posteriormente a la determinación de su potencialidad como futuras materias primas para la producción de bioetanol mediante la determinación de azúcares reductores totales; para lo cual, se procedió al secado y fraccionado de los residuos seleccionados y posteriormente a hidrólisis química, física y físico-química, utilizando como soluciones extractantes agua destilada estéril, ácido sulfúrico e hidróxido de sodio al 1.25% en una relación partícula - solvente 1:10. La determinación de los azúcares reductores totales, se realizó en los filtrados obtenidos de cada uno de los tratamientos, empleando el método de Folin-Wu. Los resultados indican, que la provincia de Virú, es la que genera la mayor cantidad de residuos lignocelulósicos productos del procesamiento del "espárrago", "maíz amarillo" y "alcachofa". Se concluye, que los principales residuos lignocelulósicos con potencialidad para ser usados como materia prima para la producción de bioetanol son, la broza de "maíz amarillo duro", hoja de "caña de azúcar", cascarilla de "arroz" y coronta de "maíz".

**Palabras clave:** Residuos lignocelulósicos, bioetanol, departamento de La libertad, Perú.

## Abstract

This study aimed to assess the main agroindustrial lignocellulosic residues La Libertad region (La Libertad departament), Peru in order to determine its potential use as raw material for the production of second generation bioethanol. He proceeded to make the determination and geographic location of the main waste of the department of La Libertad and subsequently determining their future potential as raw materials for the production of bioethanol by determining total reducing sugars; for which we proceeded to drying and fractionated waste and subsequently be selected to chemical, physical and physical-chemical hydrolysis, as extractants solutions using sterile distilled water, sulfuric acid and sodium hydroxide to 1.25% in a particle ratio - solvent 1: 10. The determination of total reducing sugars was performed on the filtrates obtained from each of the treatments using the Folin-Wu. The results indicate that the province of Viru is what generates the greatest amount of lignocellulosic waste products processing asparagus, yellow corn and artichoke. It is concluded that the main lignocellulosic residues with potential to be used as feedstock for the production of bioethanol are the brush of yellow corn, sugarcane leaf, rice husks and cobs of corn.

**Keywords:** waste lignocellulosic bioethanol, La Libertad department, Peru.

## Introducción

En los últimos años, el mundo está enfrentando el agotamiento progresivo de sus recursos energéticos, basados mayoritariamente en combustibles no renovables. Al mismo tiempo, la demanda mundial de energía aumenta a ritmo cada vez más creciente, ocasionando con ello, la dependencia energética y económica de los países productores de petróleo (IEA, 2010; IPCC, 2011). Nuestro país, no es ajeno a esta

problemática mundial y, las estadísticas actuales indican que la producción del crudo convencional en el Perú se reduce gradualmente desde el año 1980; habiéndose estimado, que del año 2002 al 2012, la producción nacional se ha reducido en 27 mil barriles diarios (Perúpetro, 2012). No es difícil deducir, que el Perú experimenta una inexorable reducción del principal recurso energético del país, deslizándose peligrosamente hacia una dependencia energética nunca antes imaginada e

incrementando la vulnerabilidad energética del país.

Frente a esta problemática, la biotecnología, ofrece múltiples alternativas tecnológicas como, la producción de los llamados biocombustibles líquidos tales como: el bioetanol, biodiesel y biogas. La tasa de crecimiento de la producción de bioetanol, se ha duplicado desde el año 2003 a la fecha. Se ha estimado, que la demanda mundial de bioetanol será de aproximadamente 66 mil millones de litros para el año 2015 (Energy Project, 2001), lo cual, conllevará a un aumento significativo en las políticas promotoras de la producción de bioetanol a nivel mundial (CIMET, 2005). Históricamente, la obtención de etanol de primera generación se ha realizado utilizando *Saccharum officinarum* “caña de azúcar”, *Zea mays* “maíz” y *Triticum aestivum* “trigo”; lo cual se ha traducido en una competencia entre los productos destinados a la alimentación humana y los biocombustibles (Vessia, 2005).

Ante la problemática descrita, se hace necesario buscar nuevas alternativas para la obtención de bioetanol, las que deben estar orientadas a los recursos lignocelulósicos, especialmente aquellos que son abundantes en la región y que se encuentran como residuos o desechos. La utilización de biomasa lignocelulósica es, a mediano plazo, la alternativa más prometedora para la obtención de bioetanol a bajos costos, posibilitando que este producto pueda ser adoptado por la industria como fuente de energía (Barrena, 2009; Avella, 2009).

Teniendo en cuenta, que La Libertad es un departamento líder en la actividad agroindustrial, destacando por su aporte de 11,6% al sector a nivel nacional y que, debido a las políticas implantadas por el gobierno para impulsar la agroexportación

y la producción de bioetanol, ambos rubros tenderán a crecer significativamente en las próximas décadas, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar, mediante la determinación de la concentración de azúcares reductores totales, los residuos lignocelulósicos derivados de la actividad agroindustrial del departamento de La Libertad, con la finalidad de seleccionar, cuál representa la mejor opción para ser utilizado como materia prima en la producción de bioetanol de segunda generación a partir de un proceso de transformación integral y ambientalmente responsable, basado en el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos.

## Material y Métodos

### 1. Identificación y localización de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales del departamento La Libertad

Se identificaron los principales cultivos agroindustriales por provincia y el tipo de residuos lignocelulósicos que producen cada uno, determinándose los volúmenes aproximados de la generación de residuos empleando la técnica de Análisis documental, para lo cual, se revisó la información disponible desde el año 2008 hasta el 2013 por el Ministerio de Agricultura de la Región La Libertad y la Cámara de Comercio y Producción de La Libertad (MINAG, 2013)

### 2. Determinación de la potencialidad de los principales residuos lignocelulósicos como futuras materias primas para la producción de bioetanol

Se realizó mediante la determinación de azúcares reductores totales de cada uno de los residuos lignocelulósicos seleccionados en la primera etapa.

### 2.1. Acondicionamiento de las muestras:

Se realizó el secado y fraccionamiento de las muestras, para facilitar su acondicionamiento en la estufa en la cual fueron sometidas a 70°C durante 1 hora. Posteriormente, las muestras fueron trituradas utilizando un molino de acción mecánica hasta lograr pasar por un cedazo de 0.5 mm a 1.0 mm de poro (McMillan, 1994).

### 2.2. Proceso de extracción de azúcares reductores totales ART

Las muestras fueron sometidas a la acción de diferentes solventes, con la finalidad de realizar la extracción de ART. Se utilizaron las muestras pretratadas y H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; NaOH al 1.25% como solventes en una relación sustrato-solvente de 1:10. Los procesos de extracción, se realizaron en un total de 15 tratamientos, en los cuales se fueron combinando métodos químicos y físicos de extracción de la siguiente manera:

- **Tratamientos 1, 2 y 3:** Extracción de "ART" mediante hidrólisis química, usando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.25% v/v; NaOH 1,25% p/v y H<sub>2</sub>O respectivamente, en un sistema de decocción por 30 minutos.

- **Tratamientos 4, 5 y 6:** Extracción de "ART" mediante hidrólisis químico-física usando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.25% v/v, NaOH 1.25% p/v y H<sub>2</sub>O respectivamente; en un sistema de autoclave a 120°C, 15 Psi por 30 minutos.

- **Tratamientos 7, 8 y 9:** Extracción de "ART" mediante hidrólisis mixta (Químico-físico y Química) en continuo, usando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.25% v/v; NaOH 1.25% p/v y H<sub>2</sub>O respectivamente.

- **Tratamientos 10, 11 y 12:** Extracción de "ART" de la fracción no soluble de los tratamientos 4, 5 y 6. Extracción por

agotamiento mediante hidrólisis química usando solamente H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1.25% v/v en cada tratamiento, en un sistema de decocción por 30 minutos.

- **Tratamientos 13, 14 y 15:** Combinación de las fracciones solubles de los tratamientos (4, 5 y 6 y 10, 11 y 12).

### 2.3. Cuantificación de los azúcares reductores totales "ART"

Los ART se cuantificaron utilizando el filtrado obtenido en los diferentes tratamientos (físicos, químicos y físico-químico), empleándose para esto, el método de Folin - Wu.

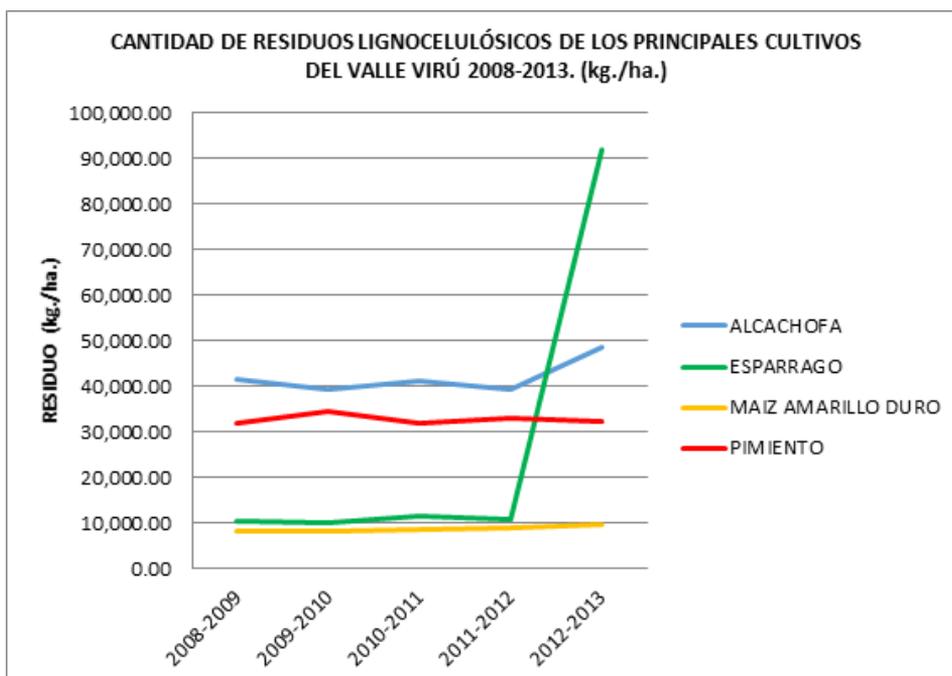
### 3. Análisis estadístico.

La determinación de diferencias entre tratamientos, se realizó con la prueba "t" de Student. La variación dentro de cada tratamiento, se determinó mediante ANVA.

## Resultados

En la Tabla 1, se observan los principales cultivos del departamento La Libertad, Perú y, los residuos lignocelulósicos que estos generan como parte de su procesamiento industrial. Así también, la Figura 1 muestra los volúmenes de residuos lignocelulósicos generados en la provincia de Virú, dentro de los cuales destaca los residuos del cultivo de "espárrago" con 90 000, seguido por los de la "alcachofa" con 50 000, el "pimiento" con 32 000 y el "maíz amarillo" duro con 10 000 Kg/ha respectivamente.

La tabla 2, muestra las concentraciones promedios de azúcares reductores totales ART (g/L), obtenidos después de someter a los diferentes residuos lignocelulósicos a hidrólisis química, física y físico-química; la misma que muestra claramente, que la hidrólisis mixta físico-química, fue el método más eficiente para la extracción de ART de los diferentes residuos lignocelulósicos



**Fig. 1:** Cantidad de residuos lignocelulósicos (Kg/ha) de los principales cultivos del Valle Virú 2008 - 2013

**Tabla 1:** Principales residuos lignocelulósicos del departamento La Libertad

Provincia	Principales cultivos	Principales residuos lignocelulósicos
Virú	Espárrago	Broza, Peladilla
	Maíz amarillo duro	Coronta, hojas
	Alcachofa	Brácteas
	Pimiento	Hojas
Ascope	Caña de azúcar	Hojas
	Maíz amarillo duro	Coronta, Hojas
Trujillo	Espárrago	Broza
	Maíz amarillo duro	Coronta
	Caña de azúcar	Hojas
Chepén	Arroz	Cáscara
	Maíz amarillo duro	Coronta, hojas

**Tabla 2: Concentración de azúcares reductores totales "ART" en g/L de los principales residuos lignocelulósicos del departamento La Libertad**

Residuo Lignocelulósico	Concentración de ART en g/L
Agroindustrial	
Maíz amarillo - Broza	53.930
Caña de Azúcar- Hoja	29.215
Arroz- Cascarilla	24.189
Maíz Amarillo- Coronta	20.220
Pimiento- Broza	16.518
Alcachofa- Broza	14.996
Alcachofa- Brácteas	12.076
Espárrago- Broza	8.933
Espárrago- Peladilla	6.240

evaluados.

Asimismo, la tabla 3, muestra los principales residuos lignocelulósicos del departamento La Libertad con sus concentraciones de ART extraídos mediante los diferentes procesos de hidrólisis utilizados, dentro de los cuales destaca la concentración de ART obtenidos a partir de la broza del "maíz amarillo duro" con 53.930 g/L, las hojas de "caña de azúcar" con 29.215 g/L, la cascarilla de "arroz" con 24.189 g/L y la coronta de "maíz amarillo duro" con 20.220 g/L.

### Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación, muestran claramente que la actividad agroindustrial en el departamento La Libertad-Perú, se realiza en mayor proporción en la zona costera del departamento y, abarca principalmente 4 provincias: Virú, Ascope, Trujillo y Chepén. Según la figura 1, la provincia de Virú debido a su gran actividad agroindustrial, contribuye con la mayor generación de residuos lignocelulósicos agroindustriales provenientes del procesamiento de los

cultivos de *Asparagus officinalis* "espárrago", *Cynara scolymus* "alcachofa", *Zea mays* "maíz amarillo duro" y *Capsicum annum* "pimiento", los cuales, se perfilan de acuerdo a su volumen de generación y a su disponibilidad, como futuras materias primas para la producción de bioetanol.

En cuanto a la potencialidad de los diferentes residuos lignocelulósicos evaluados, esta ha sido determinada mediante la extracción de azúcares reductores, encontrándose que los residuos lignocelulósicos que se presentan en ésta investigación pueden ser utilizados como materia prima para la producción de bioetanol, debido, a que presentan gran cantidad de azúcares reductores totales que son fermentables en alcohol, otorgándole así, un importante valor económico (Cabrera *et al*; 2004). Es importante destacar, que la cantidad de los azúcares reductores totales de cada uno de los residuos, se encuentra directamente proporcional con la cantidad estimada de la producción de alcohol, es decir, a mayor cantidad de azúcares reductores totales que presente el residuo, mayor será la producción de alcohol que

se obtendrá de estas. En este contexto, la tabla 3, muestra que los principales residuos lignocelulósicos con potencial uso como materia prima para la producción de bioetanol provienen de los cultivos de “maíz amarillo duro”, “caña de azúcar” y “arroz”.

### Conclusiones

- Los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales del departamento La Libertad-Perú, con potencialidad para la producción de bioetanol son la broza de “maíz amarillo duro”, hoja de “caña de azúcar”, cascarilla de “arroz” y coronta de “maíz amarillo”.

- El método más adecuado a utilizar para lograr la extracción de ART de los residuos lignocelulósicos, es la hidrólisis mixta.

### Literatura citada

- Avella, O.** 2009. Etanol celulósico a partir de residuos agrícolas. Lima. Perú.
- Barrena, V.** 2009. Análisis de recursos biomásicos leñosos y de residuos para uso combustible.
- Cabrera, S.; E. Aranda; A. Martínez; A. Gómez & R. Quintero.** 2004. Biocombustibles a partir de Residuos Lignocelulósicos, Estudios Económico del Caso: Bagazo de la Caña en México. Centro de Investigación en Biotecnología-UAMEM. Instituto de Biotecnología-UNAM. Instituto Mexicano del Petróleo. México.
- CIEMAT,** 2005. Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas de España. Procedimiento de producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica utilizando una nueva levadura termotolerante. España.
- Energy Project.** 2001. Integrated biomasa utilization for production for biofuels.
- I. E.A.** 2010. 30 key Energy Trend in the IEA and worldwide. Paris. IEA. 35 pp.
- IPCC,** 2011. Climate change – 2011: The physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Ginebra: IPCC. 21 pp.

**Mc Millan, J. D.** 1994. Pretreatment of lignocellulosic biomass. In: Enzymatic conversion of biomass for fuel production. Pp. 292-324. American Chemical Society. Washington.

**Ministerio de Agricultura.** 2013. Informe anual de cultivos de agroexportación.

**Perúpetro.** 2012. Informe anual de la producción de combustibles año 2011- 2012

**Vessi.** 2005. Biofuels from lignocellulosic material. In the Norwegian context 2010, Technology, Potential and Cost. Capítulo 2. Trondheim, Suecia.

Tabla 3. Promedios de los azúcares reductores totales "ART" en g/L extraídos de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales del departamento de La Libertad-Perú mediante hidrólisis química, física y químico-física

Tratamiento ART(g/l) ResLigno	HIDROLISIS QUIMICA (DECOCCIÓN X 30min.)			HIDROLISIS QUIM-FISIC AUTOCLAVE (120°Cx15PSI x 30min)			HIDROLISIS MIXTA H.QUIMICA-QUIM-FISIC DCx30min+120°Cx15x30			H.QUIM-AGOTAMIENTO FRAC.NO SOLUB-HQF + DECOCx30min/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			COMBFRAC-SOLUBLE H.QUIM-FISICA + H. QUIMICA-AGOTAMT		
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.25%	NaOH 1.25%	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.25%	NaOH 1.25%	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.25%	NaOH 1.25%	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.25%	NaOH 1.25%	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1.25%	NaOH 1.25%	H <sub>2</sub> O
ALCACHOFA-BRACTEAS	8.343	1.781	1.502	15.754	1.314	3.596	12.076	1.211	4.579	1.929	3.407	3.824	14.291	4.18	5.335
ALCACHOFA-BROZA	9.021	1.802	3.63	11.881	1.767	2.478	14.996	1.211	5.817	2.707	2.82	3.491	10.991	3.663	2.414
ARROZ-BROZA	4.405	1.079	2.123	7.071	1.299	2.062	12.88	0.941	0.893	3.824	3.442	9.355	8.835	3.103	9.572
ARROZ-CASCARILLA	11.738	1.273	1.234	19.353	1.445	1.048	24.189	0.732	0.817	2.45	3.27	8.109	20.976	1.394	7.131
CAÑA DE AZUCAR-HOJA	12.805	1.356	5.73	22.836	2.176	6.111	29.215	1.983	8.524	3.359	2.619	7.224	21.589	3.873	9.17
ESPARRAGO-BROZA	5.94	1.55	5.26	11.01	2.08	3.48	8.933	1.64	4.44	2.44	2.44	2.46	11.668	3.814	5.565
ESPARRAGO-PELADILLA	1.75	0.65	1.76	5.53	0.6	2.34	6.24	0.84	5.93	1.42	2.82	5.03	6.52	3	7
MAIZAMARILLOD-BROZA	29.02	1.56	6.39	42.68	2.828	7.025	53.93	2.68	11.219	4.34	3.706	8.488	43.27	3.63	7.81
MAIZAMARILLO-CORONTA	4.1	0.053	2.117	9.937	3.203	5.47	20.22	0.817	1.653	7.213	3.193	6.617	14.25	5.643	8.973
PIMIENTO-BROZA	7.443	1.258	5.662	14.295	2.533	7.177	16.518	3.739	7.902	3.961	1.743	4.629	14.154	4.817	10.592