

POTENCIAL BIOENERGÉTICO A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL ESTADO DE VERACRUZ

Nava-Pacheco, Diana¹., Juárez-García, Inés Adriana¹., Landeta-Escamilla, Ofelia¹., Del Moral, Sandra²., Rosas-Mendoza, Erik Samuel^{3*}.

¹Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba. Oriente 9, Emiliano Zapata, 94320 Orizaba, Ver.

²CONACYT-Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz-UNIDA, Av. M.A. de Quevedo, Num. 2779, 91860, Veracruz, Ver. México

³CONACYT-Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba. Oriente 9, Emiliano Zapata, 94320 Orizaba, Ver. México

**Autor de correspondencia: eriksamuelrm@hotmail.com. 01 (272) 72 44096.*

Recibido: 20 de Septiembre 2019, Aceptado: 14 de Noviembre 2019.

Resumen

El uso de combustible fósiles está perdiendo terreno cada vez más rápido frente a fuentes de energías renovables como biomasa y biogás, debido a los impactos ambientales que generan. En México, Veracruz cuenta con una superficie de 7.24×10^6 hectáreas, representando 3.7% de la superficie total, siendo el principal proveedor de bienes agroindustriales gracias a su diversidad de ecosistemas. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el potencial bioenergético de los residuos sólidos orgánicos generados a partir de los principales productos agroindustriales del estado de Veracruz. Para llevar a cabo esta investigación, fueron seleccionados los diez cultivos principales de la entidad a través de una profunda revisión bibliográfica, así como el porcentaje de generación de residuos y poder calorífico de cada uno de ellos. Con la información anterior, fueron estimadas las toneladas de residuos agroindustriales producidos y el potencial bioenergético que se puede obtener a partir de cada desecho. Por último, se calculó el potencial bioenergético total de los residuos agroindustriales. Como parte de los resultados, se encontró que Veracruz produce aproximadamente 25.5×10^6 toneladas de productos agroindustriales conformadas por caña de azúcar, naranja, limón, piña, café cereza, plátano, toronja, sandía, arroz palay y pera. Derivado de la actividad agroindustrial, se desechan anualmente 6.97×10^6 toneladas de residuos, siendo el residuo de caña de azúcar el que mayor cantidad aporta con el 75% equivalente a 5.28×10^6 toneladas, seguido de los cítricos son 0.98×10^6 toneladas. Así mismo y como consecuencia de los

residuos agroindustriales, Veracruz tiene un potencial bioenergético cercano a 130.00 PJ por año, lo cual lo colocaría como el mayor proveedor de energía renovable a partir de biomasa.

Palabras clave: Potencial bioenergético, residuos agroindustriales, biomasa, biogás, poder calorífico.

Abstract

The use of fossil fuels is losing interest versus the use renewable energy sources such as biomass and biogas, due to the environmental impacts that they generate. In Mexico, Veracruz has an area of 7.24×10^6 hectares, representing 3.7% of the national area, being the main provider of agro-industrial products due to its diversity of ecosystems. The objective of this paper is to evaluate the bioenergy potential of organic solid waste generated from the main agro-industrial products of the state of Veracruz. To carry out this research, ten main crops of Veracruz were selected through a literature review, determining the percentage of waste generation and calorific value of each of them. With the previous data, the tons of agro-industrial waste and the bioenergy potential were estimated. Finally, the total bioenergy potential of agro-industrial wastes was calculated. As part of the results, Veracruz produces approximately 25.5×10^6 tons of agro-industrial products made up of sugarcane, orange, lemon, pineapple, coffee, banana, grapefruit, watermelon, rice and pear. Derived from the agro-industrial activity, 6.97×10^6 tons of waste are generated annually, being the sugarcane waste the most with 75% equivalent to 5.28×10^6 tons, followed by citrus around 0.98×10^6 tons. Likewise, and as a consequence of agro-industrial waste, Veracruz has a bioenergy potential close to 130.00 PJ per year, which would place it as the largest supplier of renewable energy from biomass.

Keywords: Bioenergy potential, agroindustrial waste, biomass, biogas, calorific value.

Nomenclatura

DQO	Demanda Química de Oxígeno, mg/L
GEI	Gases de Efecto Invernadero
L	Litros
MJ	Mega Joules
mLCH₄	Mililitros de metano
PBE_T	Potencial Bioenergético Teórico
PC	Poder Calorífico
PJ	Peta Joules
T	Toneladas
TRA	Toneladas de Residuos Agroindustriales

Introducción

Históricamente, las principales fuentes de energía provienen de recursos no renovables como los hidrocarburos, hecho que ha generado graves problemas ambientales a causa del aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Debido a esto, a nivel mundial se han incrementado los esfuerzos colectivos de las naciones por disminuir las emisiones de GEI y fomentar la sustentabilidad del sector energético a través del uso de fuentes de energía renovable como hidroenergía, energía eólica y solar, biomasa y biogás (SENER, 2018). Esto hace que los hidrocarburos estén perdiendo terreno frente a las energías alternas (CESOP, 2019), destacando los biocombustibles como la biomasa y el biogás. La biomasa se caracteriza por tener un alto contenido de carbono variable y su poder calorífico depende del tipo de biomasa y del contenido de humedad (INEL, 2018). Mientras que, el biogás está compuesto principalmente por metano, el cual es sustituyente del gas natural, su poder calorífico es aproximadamente 6.5-7.0 kWh/m³ a presión y temperatura estándar cuando la composición de metano es 55-70% (Vega De Kuyper y Ramírez Morales, 2014). En países en vías de desarrollo, el uso de biomasa y biogás está jugando un papel cada vez más importante, por ejemplo, en México el Balance Nacional de Energía 2017 menciona que la biomasa está constituida por 31.8% de bagazo de caña y 68.2% de leña, aportando 367.18 PJ; mientras que el biogás es un producto derivado de la digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos y aguas residuales contribuyendo con 2.52 PJ por año (SENER, 2018).

Los residuos agroindustriales son considerados como biomasa con alto potencial para la generación de energía y a la vez existe la necesidad de dar solución a los problemas e impactos ambientales ocasionados por su mal manejo y disposición, ya que emiten malos olores, compuestos orgánicos volátiles, contaminación por lixiviados y GEI. Los procesos de aprovechamiento de residuos agroindustriales más relevantes se pueden clasificar en tres categorías: 1) procesos de combustión directa, se refieren a la quema directa de biomasa en hornos o calderas, 2) procesos termoquímicos, que indican la transformación química de biomasa por aplicación de calor, lo que produce compuestos gaseosos, líquidos y sólidos dependiendo de la tecnología utilizada, y 3) procesos bioquímicos, los cuales emplean reacciones bioquímicas, generalmente usando microorganismos como promovedores de estas transformaciones (Vega de Kuyper y Ramírez Morales, 2014).

Veracruz es el principal proveedor de bienes agroindustriales en México, gracias a su diversidad de ecosistemas, ocupando el primer lugar en producción de caña de azúcar, naranja, piña y toronja; segundo lugar con limón y café cereza; tercer lugar con plátano y pera; y finalmente cuarto lugar con sandía y arroz palay (SIAP, 2018). Cuenta con una superficie de 7.24 x 10⁶ de hectáreas, lo que representa 3.7% de la superficie total de México, su actividad agrícola se lleva a cabo en 1.5 x 10⁶ de hectáreas, de las cuales se cosechan alrededor de 1.4 x 10⁶ (INIFAP, 2017). A partir de la actividad agroindustrial, se generan grandes cantidades de residuos orgánicos que pueden ser aprovechados como biomasa a través de procesos termoquímicos y biológicos, lo que incrementaría el aporte energético nacional en términos de fuentes de energía renovable, siendo Veracruz el principal productor.

Algunas investigaciones han orientado su trabajo al aprovechamiento de los residuos agroindustriales como fuente de energía, Vargas et al. (2018), presentaron una revisión bibliográfica de diferentes alternativas de aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente, donde destacan la biomasa y el biogás. Por otro lado, Ortiz Laurel et al. (2016), obtuvieron 57 mil PJ de energía disponible proveniente de biomasa aprovechable a partir de 25 ingenios azucareros. Así mismo, Montenegro et. al (2016), estimaron un potencial promedio de biogás de 10 PJ/año, donde los residuos con mayor aporte fueron los generados por actividades agrícolas, a través de digestión anaerobia. De igual modo, González et. al (2015), demostraron que el residuo de plátano es una materia prima con alto potencial para producción de metano, obteniendo 63.89 mLCH₄/gDQO. Finalmente, Ramírez (2012), alcanzó 2.7 L de biogás/kg de mezcla de estiércol y cascarilla de arroz, con 48.9% de metano, a través de un proceso de codigestión anaerobia.

Por consiguiente, el objetivo de esta investigación es evaluar el potencial bioenergético de los residuos sólidos orgánicos generados a partir de los principales productos agroindustriales del estado de Veracruz.

Metodología

2.1 Principales productos agroindustriales de Veracruz

Para el desarrollo de la presente investigación, como caso de estudio fue seleccionado el estado de Veracruz, ya que es el principal proveedor de bienes agroindustriales en México. Aproximadamente, 1.5 x 10⁶ de hectáreas están dedicadas a la agricultura, lo que equivale al 20.7% de su superficie total. A su vez, fueron seleccionados los diez principales cultivos en los que Veracruz destaca a nivel nacional en términos de producción, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de producción de los principales cultivos de Veracruz (SIAP, 2018).

Producto	Toneladas
Caña de azúcar	21.12 x 10 ⁶
Naranja	2.33 x 10 ⁶
Limón	0.66 x 10 ⁶
Piña	0.61 x 10 ⁶
Toronja	0.24 x 10 ⁶
Plátano	0.21 x 10 ⁶
Café cereza	0.19 x 10 ⁶
Sandía	0.11 x 10 ⁶
Arroz palay	0.03 x 10 ⁶
Pera	0.002 x 10 ⁶

2.2 Generación de residuos agroindustriales

La demanda actual de productos agroalimentarios conlleva un crecimiento sostenido en la actividad industrial y por tanto en la generación de grandes cantidades de residuos, los cuales pueden ser aprovechados para diferentes fines entre ellos la generación de bioenergéticos, (Vargas y Pérez, 2018), lo que puede traer consigo beneficios económicos para quien los genera si es que son aprovechados adecuadamente. Sin embargo, la mayoría de agroindustrias no cuentan con estrategias claras para su aprovechamiento. A través de una exhaustiva revisión bibliográfica, en la Tabla 2 se muestran los porcentajes aproximados de residuos agroindustriales generados por producto.

Tabla 2. Porcentajes de residuos agroindustriales generados por producto en Veracruz.

Producto	% de residuos agroindustriales	Referencia
Caña de azúcar	25.0	Kazmi et al. (2016)
Naranja	27.0	SIAP (2018)
Limón	36.0	FEN (2018)
Piña	65.0	Sánchez et al. (2015)
Toronja	50.0	Wilkins et al. (2007)
Plátano	40.0	Oberoi et al. (2011)
Café cereza	92.4	Suárez (2012)
Sandía	35.0	USDA (2004)
Arroz palay	25.0	Llanos et al. (2016)
Pera	12.0	FEN (2018)

A partir de los datos de las Tablas 1 y 2, y mediante la Ecuación 1 se obtuvieron las toneladas de residuos agroindustriales (TRA) para cada producto.

$$TRA = \sum_i^n \frac{P_{(i)} \times \%R_{(i)}}{100} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$P_{(i)}$ representa las toneladas por cada producto

$\%R_{(i)}$ es el porcentaje de residuos agroindustriales generados por cada producto

2.3 Recolección de información del Poder Calorífico (PC)

El poder calorífico se define como la cantidad de energía liberada en forma de calor en un kilogramo, o en un metro cúbico de combustible cuando se quema por completo en un ambiente a presión constante de 101 kPa y 25 °C. En otros términos, el poder calorífico es el valor absoluto de la entalpía (Arroyo y Guzmán, 2016). Para fines de esta investigación el PC

expresa la cantidad de energía aprovechable que posee la biomasa procedente de cada uno de los residuos agroindustriales.

De modo que, los PCs se obtuvieron mediante una exploración bibliográfica en diversas investigaciones enfocadas al aprovechamiento de los residuos agroindustriales por procesos biológicos y termoquímicos. En la Tabla 3 se presentan los PCs aproximados para cada residuo agroindustrial.

Tabla 3. Poderes caloríficos por cada residuo agroindustrial generado en Veracruz.

Producto	PC (MJ/kg)	Referencia
Caña de azúcar	19.40	McKendry P (2002)
Naranja	15.82	Ayala et al. (2017)
Limón	17.84	Universidad Politécnica de Cartagena (2017)
Piña	14.27	Saha et al. (2016)
Toronja	17.60	Ozturk et al. (2006)
Plátano	16.58	Saha et al. (2016)
Café cereza	17.90	Toschi et al. (2014)
Sandía	13.85	SENER (2018)
Arroz palay	15.70	De Oliveira et al. (2017)
Pera	18.40	Riva et al. (2014)

2.4 Potencial Bioenergético Teórico (PBE_T)

El potencial bioenergético teórico muestra una estimación anual total de la energía de la biomasa que se obtiene a partir de residuos agroindustriales. El valor de PBE_T varía según las cantidades de producción anual de residuos (Avcioglu, Dayioglu, y Türker, 2019). Por lo cual, para determinar dicho valor se emplea la Ecuación 2, utilizando los resultados obtenidos a partir de la Ecuación 1 y los datos mencionados en la Tabla 3:

$$PBE_T = \sum_i^n TRA_{(i)} \times PC_{(i)} \times 1 \times 10^{-6} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$TRA_{(i)}$ representa las toneladas residuos agroindustriales por producto

$PC_{(i)}$ es el poder calorífico de cada residuo agroindustrial

1×10^{-6} es el factor de conversión de MJ/kg a PJ/T de residuo agroindustrial

Resultados y discusión

3.1 Residuos agroindustriales generados

La caña de azúcar es uno de los cultivos que presenta menor porcentaje de generación de residuos agroindustriales en comparación con otros productos como limón, piña, toronja, plátano, café cereza y sandía, sin embargo; al poseer la mayor producción con 21.12×10^6 toneladas y de acuerdo con la Ecuación 1 genera 5.28×10^6 toneladas de residuo, lo que también coloca a la caña de azúcar como el mayor generador de residuos, aportando el 76.0% del total de residuos. Otros cultivos importantes son los cítricos, conformados por naranja, limón y toronja que en conjunto generan 0.98×10^6 toneladas representando el 14.0% de los residuos totales. Los productos blandos y con alto contenido de azúcares como piña, plátano, sandía y pera suman alrededor de 0.52×10^6 toneladas, correspondiendo al 7.0% de los residuos totales. Finalmente, para este análisis el café cereza aporta el 3.0% del total de residuos, mientras que el arroz palay generan menos de 0.1%.

De acuerdo con la Ecuación 1, a partir de los principales cultivos del estado de Veracruz se pueden generar aproximadamente 6.97×10^6 toneladas de residuos agroindustriales como se muestra en la Tabla 4. Haciendo una comparación, Alvarado-Lassman et al. (2016) reportan que en México se generan 41.0×10^6 toneladas de residuos sólidos municipales y de estos 22.0×10^6 toneladas corresponden a residuos sólidos orgánicos, por lo que Veracruz aporta cerca del 32.0% de residuos sólidos orgánicos de acuerdo con el análisis presentado en esta investigación. Por otro lado, en Latinoamérica se estima que anualmente se desechan 127×10^6 toneladas (FAO, 2016) de residuos de alimentos, así que Veracruz estaría contribuyendo con el 5.5%.

Tabla 4. Toneladas de residuos generados en Veracruz.

Producto	Producción (Toneladas)	% de residuos agroindustriales	TRA
Caña de azúcar	21.12×10^6	25.0	5.28×10^6
Naranja	2.33×10^6	27.0	0.63×10^6
Limón	0.66×10^6	36.0	0.23×10^6
Piña	0.61×10^6	65.0	0.40×10^6
Toronja	0.24×10^6	50.0	0.12×10^6
Plátano	0.21×10^6	40.0	0.08×10^6
Café cereza	0.19×10^6	92.4	0.18×10^6
Sandía	0.11×10^6	35.0	0.04×10^6
Arroz palay	0.03×10^6	25.0	0.007×10^6
Pera	0.002×10^6	12.0	0.0002×10^6
Toneladas de residuos agroindustriales totales			6.97×10^6

Todo esto hace que Veracruz se posicione como un estado generador de residuos con alto potencial de aprovechamiento para distintos fines, entre ellos la generación de bioenergéticos, mejoradores de suelos, reciclaje, entre otros.

3.2 Obtención del Potencial Bioenergético Teórico

A partir de la Ecuación 2, se estimó el PBE_T de cada residuo, así como el PBE_T total. El menor PC específico corresponde a la sandía con 13.85 MJ/kg, mientras que el mayor es para la caña de azúcar con 19.40 MJ/kg, lo que significa que la sandía posee mayor contenido de humedad que la caña de azúcar, siendo el promedio del PC de todos los residuos es 16.74 MJ/kg.

Como era de esperarse, el residuo de caña de azúcar tuvo el mayor PBE_T con 102.00 PJ, como se presenta en la Tabla 5, este dato es comparable con el reportado en el Balance Nacional de Energía (2017), ya que indica que de biomasa a partir de bagazo de caña se producen 115.00 PJ por año en México, por lo que Veracruz puede aportar 88.7%, siendo una entidad con alta actividad azucarera. Así mismo, los cítricos (naranja, limón y toronja) aportan 16.32 PJ, siendo la fracción sólida la que tiene mayor aporte energético, ya que Rosas-Mendoza et al. (2019) concluyeron que a partir de digestión anaerobia de efluentes provenientes de la industria citrícola se pueden obtener alrededor de 0.06 PJ por año en México, considerando los efectos de inhibición a causa del D-limoneno.

Tabla 5. Potencial bioenergético teórico a partir de residuos agroindustriales de Veracruz.

Producto	TRA	PC (MJ/kg)	PBE_T (PJ)
Caña de azúcar	5.28 x 10 ⁶	19.40	102.00
Naranja	0.63 x 10 ⁶	15.82	9.96
Limón	0.23 x 10 ⁶	17.84	4.23
Piña	0.40 x 10 ⁶	14.27	5.61
Toronja	0.12 x 10 ⁶	17.60	2.13
Plátano	0.08 x 10 ⁶	16.58	1.37
Café cereza	0.18 x 10 ⁶	17.90	3.22
Sandía	0.04 x 10 ⁶	13.85	0.55
Arroz palay	0.007 x 10 ⁶	15.70	0.11
Pera	0.0002 x 10 ⁶	18.40	0.0045
Potencial bioenergético teórico total			130.00

La biomasa proveniente de piña, café cereza y plátano presentó aportes energéticos en conjunto de 10.20 PJ, siendo residuos con potenciales bioenergéticos por debajo de los cítricos. Los residuos de sandía, arroz palay y pera tuvieron el menor potencial bioenergético con alrededor de 0.67 PJ, destacando la sandía con mayor PBE_T respecto a la pera, a pesar de tener un PC menor. Finalmente, los principales residuos agroindustriales de Veracruz tienen un PBE_T total de 130.00 PJ, como se muestra en la Tabla 5. Esto posicionaría a Veracruz como

la entidad proveedora más grande de energía renovable a partir de biomasa, aportando el 36%, ya que en México en 2017 se generaron 362.00 PJ provenientes de biomasa como leña y bagazo de caña (SENER, 2018). En países como Turquía se han reportado PBE_T equivalentes a 90.00 PJ a partir de cultivos hortícolas (Avcioglu, Dayioglu, y Türker, 2019).

Conclusiones

El estado de Veracruz es el mayor proveedor de productos agroindustriales con alrededor de 25.5×10^6 de toneladas por año, de acuerdo con los diez cultivos estudiados, a partir de los cuales se desechan 6.97×10^6 de toneladas de residuos, lo que corresponden al 27.33% en promedio. El potencial bioenergético total a partir de los residuos sólidos agroindustriales de Veracruz corresponde a 130.00 PJ por año, lo cual depende de la cantidad de cultivo producido, del porcentaje de residuos generados y del poder calorífico específico. De modo que, Veracruz sería capaz de aportar el 36% de la energía producida por fuentes renovables como biomasa, en relación con los 362.00 PJ reportados en el Balance Nacional de Energía que equivalen al 5.4% de los combustibles fósiles.

Como parte de los trabajos a futuro, se diseñará una cadena de suministro para la generación de bioenergéticos de los mismos residuos a través de dinámica de sistemas, considerando diversos factores entre ellos área sembrada, área cosechada, producción de cultivos, generación de residuos, método de tratamiento de residuos, entre otros.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado a través de los programas de Becas Nacionales y Cátedras CONACYT, así como al Tecnológico Nacional de México.

Referencias

- Alvarado Lassman, A., Méndez Contreras, J. M., Martínez Sibaja, A., Rosas Mendoza, E. S., & Vallejo Cantú, N. A. (2016). Biogas production from the mechanically pretreated, liquid fraction of sorted organic municipal solid wastes. *Environmental Technology*, 38(11), 1342-1350.
- Arroyo Vinueza, J. S., & Guzmán, R. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *INGENIUS*, 20-29.
- Avcioglu, A. O., Dayioglu, M. A., & Türker, U. (2019). Assessment of the energy potencial of agricultural biomass residues in Turkey. *ELSEVIER*(138), 610-619.
- Ayala, J., Montero, G., Campbell, H., García, C., Coronado, M., León, J., y otros. (2017). Extraction and Characterization of Orange Peel Essential Oil from Mexico and United States of America.
- CESOP, C. d. (2019). Política energética: gasolina e hidrocarburos en México.

-
- De Oliveira Maia, B. G., De Oliveira, A. P., De Oliveira, T. M., Marangoni, C., Souza, O., & Sellin, N. (Brazil 2017). Characterization and Production of Banana Crop and Rice Processing Waste Briquettes. *Salto Norte, Blumenau-SC*.
- Estrada Gasca, C., & Islas Samperio, J. (2010). Energías Alternas: Propuesta de Investigación y Desarrollo Tecnológico para México. *Academia Mexicana de Ciencias, México*.
- FAO. (2016). *Food losses and waste in latin america and the caribbean*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/3/a-i5504e.pdf>
- FEN. (2018). *La alimentación española. Características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta*. Obtenido de Fundación Española de la Nutrición: <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/pera.pdf>
- FEN. (2018). *La alimentación española. Características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta*. Obtenido de Fundación Española de la Nutrición: <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/limon.pdf>
- González Sánchez, M., Pérez Fabel, S., Wong Villareal, A., Bello Mendoza, R., & Yañez Ocampo, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *ELSEVIER*, 229-235.
- INEL. (2018). *Instituto Nacional de Energías Limpias*. Obtenido de <https://dgel.energia.gob.mx/inel/CleanEnergies.html>
- INIFAP, I. N. (2017). Agenda Técnica Agrícola de Veracruz. México.
- Kazmi, S., Abbas, S., Saleem, M., Munir, M., & Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane. *ELSEVIER*, 29-41.
- Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C., & Rodríguez Herrera, L. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Scielo*, 150-160.
- Mckendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technol.* 37-46.
- Montenegro Orozco, K. T., Rojas Carpio, A. S., Cabeza Rojas, I., & Hernández Pardo, M. A. (2016). Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. *ION*, 23-27.
- Oberoi, H., Vadlani, P., Saida, L., Bansal, S., & Hughes, J. (2011). Ethanol production from banana peels using statistically optimized simultaneous saccharification and fermentation process. *ELSEVIER*, 1576-1584.
- Ortiz Laurel, H., Debernardi De La Vequia, H., & Rosas Calleja, D. (2016). Energía disponible a partir de biomasa de residuos de caña de azúcar. *Agroproductividad*, 9(7), 68-73.
- Ozturk, H., & Bascetincelik, A. (2006). Energy exploitation of agricultural biomass potential in Turkey. *Energy Explot*, 313-330.

-
- Ramírez, E. (2012). Producción de biogás a nivel de laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (torta de piñon, cascarilla de arroz y rumen de ganado vacuno) en la E.E.A. El Porvenir-Distrito De Juan Guerra. Tarapoto, Perú.
- Riva, G., Foppapedretti, E., & Caralis, C. (2014). *Handbook on Renewable Energy Sources- Biomass ENER SUPPLY*, 157.
- Rosas-Mendoza, E. S., Palacios-Rios, J. H., Méndez-Contreras, J. M., Vallejo-Cantú, N. A., & Alvarado-Lassman, A. (2019). Designing a Supply Chain for the Generation of Bioenergy from the Anaerobic Digestion of Citrus Effluents. En *Techniques, Tools and Methodologies Applied to Global Supply Chain Ecosystems* (págs. 209-235). Springer.
- Saha, S., Kurade, M., El Dalatony, M., Chatterjee, P., Lee, D., & Byong Hun, J. (2016). Improving bioavailability of fruit wastes using organic acid: An exploratory study of biomass pretreatment for fermentation. *ELSEVIER*.
- Sánchez Hernández, M., Ahuja Mendoza, S., & Acevedo Gómez, R. (2015). Producción de Piña Cayena Lisa y MD2 (Ananas comosus L.) en condiciones de Loma Bonita, Oaxaca. Loma Bonita, Oaxaca, México. Obtenido de https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias-BIO-T_I/Handbook_Biologia_y_Agronomia_T1_V1_109_119.pdf
- SENER. (2018). *Atlas Nacional de Biomasa*. Obtenido de ANBIO: <https://dgel.energia.gob.mx/ANBIO/>
- SENER, S. d. (2018). Balance Nacional de Energía 2017. México.
- SIAP, S. d. (2018). Atlas Agroalimentario 2012 - 2018.
- Suárez Agudelo, J. M. (2012). Aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania Antioquia: usos y aplicaciones. Betania, Antioquia. Obtenido de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/APROVECHAMIENTO_RESIDUOS_SOLIDOS_BENEFICIO_CAFE.pdf
- Toschi, T., Cardenia, V., Bonaga, G., Mandrioli, M., & Rodríguez Estrada, M. (2014). Coffee silverskin: characterization, possible uses, and safety aspects. *J. Agric. Food Chem*, 62(44), 10836-10844.
- Universidad Politécnica de Cartagena. (2017). Valorización de biocarbones obtenidos mediante pirólisis de residuos orgánicos. Cartagena, Murcia, España.
- USDA. (2004). *National Nutrient Database for Standard Reference*. Obtenido de <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>
- Vargas Corredor, Y., & Pérez Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72.

Vega De Kuyper, J. C., & Ramírez Morales, S. (2014). Fuentes de energía, renovables y no renovables. Aplicaciones. México: Alfaomega.

Wilkins, M., Widmer, W., Grohmann, K., & Cameron, R. (2007). Hydrolysis of grapefruit peel waste with cellulase and pectinase enzymes. *ELSEVIER*, 98, 1596-1601.