

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Análisis de alternativas para obtener etanol a partir de la cáscara del banano.
Una revisión.**

**Josselyn Salome Andrade Cruz
Pablo David Terán Maldonado**

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero en alimentos

Quito, 28 de abril de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Análisis de alternativas para obtener etanol a partir de la cáscara del banano.
Una revisión.**

**Josselyn Salome Andrade Cruz
Pablo David Terán Maldonado**

Nombre del profesor, Título académico

Francisco Carvajal, Ph.D.

Quito, 28 de abril de 2021

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Josselyn Salome Andrade Cruz

Código: 00126216

Cédula de identidad: 1721828844

Nombres y apellidos: Pablo David Terán Maldonado

Código: 00135361

Cédula de identidad: 1726047515

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

La producción de frutas genera grandes cantidades de residuos y desperdicios que afectan al medio ambiente. Específicamente el consumo de banano genera un residuo o cáscara que no puede ser consumido, es por eso que el tratamiento de este material es de vital importancia para evitar el apilamiento el cual puede generar enfermedades y contaminación de suelos y vertientes de agua. Un correcto uso de esta biomasa puede generar subproductos como etanol que puede ser utilizado como un reemplazo de combustibles fósiles. En esta revisión bibliográfica se evalúan las mejores opciones como el proceso de Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF), Pre-sacarificación, Sacarificación y Fermentación Simultánea (PSSF) y Fermentación con pretratamiento de hidrólisis, Además, se realizan sugerencias para mejorar el rendimiento del proceso.

Palabras clave: banano; cáscara; sacarificación y fermentación simultánea (SSF); pre-sacarificación y sacarificación y fermentación simultánea (PSSF), hidrólisis endoenzimática; hidrólisis ácida

ABSTRACT

Fruit production generates large amounts of scraps and waste that affect the environment. Specifically, the consumption of banana generates a residue or peel that can't be consumed, that is why the treatment of this material is of vital importance to avoid stacking, which can generate diseases, contamination of soils and water sources. A correct use of this biomass can generate by-products such as ethanol that can be used as a replacement for fossil fuels. This bibliographic review evaluates the best options such as the Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) process, Pre-saccharification, Simultaneous Saccharification and Fermentation (PSSF) and Fermentation with hydrolysis pretreatment. In addition, suggestions are made to improve the yield of the process.

Key words: banana; peel; simultaneous saccharification and fermentation (SSF); pre-saccharification and saccharification and simultaneous fermentation (PSSF), endo-enzymatic hydrolysis; acid hydrolysis

TABLA DE CONTENIDO

Índice de tablas	8
Introducción	9
Métodos y materiales	10
Resultados y Discusión	11
Conclusiones.....	16
Recomendaciones	17
Referencias bibliográficas	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de algunos trabajos publicados sobre el rendimiento de producción de etanol a base de cáscara de banano.....	11
--	----

INTRODUCCIÓN

La producción de banano se da en más de 107 países del mundo, siendo un producto básico en la canasta familiar. Su fácil consumo y alto grado nutricional hace que el banano sea visto como un alimento indispensable en la dieta diaria de las familias del mundo. La demanda mundial cada año oscila en un crecimiento entre el 6 al 10% (Acon, 2011). Entre los grandes productores y exportadores de este alimento están India, China, Filipinas, Brasil y Ecuador que han contribuido para que la producción aumente de 67 millones de toneladas en el año 2000 a 113 millones de toneladas en el 2017 representando un aumento del 72% durante estas últimas dos décadas (Jaramillo & Arguello, 2020). La tendencia de crecimiento de consumo de banano mundial parece no decaer, pues si bien en algunos años ciertas zonas reducen el consumo como en La Unión Europea entre los años 2018 y 2019, otros mercados como en el Medio Oriente aumentan su importación (WITS, 2018).

Las estimaciones hasta el año 2050 son de un continuo crecimiento de la población mundial, por lo que el aumento de producción de alimentos será imprescindible. Sin embargo, este incremento también generará un aumento de residuos orgánicos e inorgánicos (Doering & Sorensen, 2018). Más aún, este crecimiento no se vio afectado incluso en los primeros meses de la pandemia del SARS-CoV-2, pues la exportación de banano de Ecuador fue de 4.3 toneladas en los primeros 7 meses del 2020 lo que representa un crecimiento del 8.5% con respecto al año 2019 (Altendorf, 2020).

En cuanto a los residuos del plátano se sabe que entre el 20-35% de la fruta no se consume, pues la cáscara no puede ser ingerida por el ser humano. Los residuos orgánicos

del plátano pueden generar dificultades ya sea en los países productores como en los importadores, pues todos estos residuos si no reciben un tratamiento específico pueden aumentar el riesgo de plagas y enfermedades aumentando el riesgo de grandes pérdidas monetarias. El riesgo es más grande para los países productores, pues además de la cáscara existe un excedente de producción del plátano, llamado rechazo, el cual es utilizado para alimentar el ganado, obtener abono o incluso es desechados hacia los ríos (Stanley, n.d.).

En este contexto, una de las opciones más viables para utilizar la cáscara de banano y el rechazo es como materia prima de biocombustibles. La cáscara y rechazo de banano pueden ser recolectado de pequeñas, medianas y grandes agroindustrias alimenticias. Respecto a las alternativas para obtener etanol a partir del banano son i) sacarificación y fermentación simultánea (SSF), ii) pre-sacarificación, sacarificación y fermentación simultánea (PSSF), iii) fermentación con pretratamiento de hidrólisis; sin embargo, los últimos se ven limitados por la complejidad de la despolimerización generando dificultades para una producción continua por la falta de azúcares libres (de Souza et al., 2015). Por otra parte, el tipo de cáscara empleado presenta diferentes rendimientos en cuanto a la producción de etanol. Además, la cantidad de éste dependerá del grado de madurez de la cáscara o pulpa residual que exista. En este trabajo se realizará una evaluación de los mejores tratamientos y combinaciones de procesos para generar etanol a partir de la cáscara de banano.

MÉTODOS Y MATERIALES

Se realizó una revisión bibliográfica para cumplir con el objetivo de la investigación. A partir de la información recopilada, se consideró el peso del material seco

para determinar la concentración de etanol producido por hora evaluando los mejores procedimientos para incrementar la cantidad de azúcares simples mediante las enzimas celulasa, pectinasa y amilasa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Resumen de algunos trabajos publicados sobre el rendimiento de producción de etanol a base de cáscara de banano.

Sustrato /estado de maduración)	Humedad y sólidos totales (%)	Materia seca (g)/kg de cáscara	Peso de material seco usado (g)	Solución	Proceso	Microorganismo (concentración)	Enzima concentración	Temp. hidrólisis [°C]	Tiempo de hidrólisis (h)	Temperatura sacarificación y fermentación [°C]	Tiempo sacarificación y fermentación (h)	Concentración de etanol (g/L) en 12h.	Concentración de etanol por hora (g/L)	Peso de material seco (kg)	Concentración de etanol g/ kg de cáscara seca (g/L)	Costo estimado del proceso (\$/ton)*	(Autores)
Cáscara de plátano (estado de maduración 6)	88.94/110.06	110,6	75	Agua destilada (595 ml), Peptona (2 g), Sulfato de Magnesio (1 g)	SFF	<i>S. cerevisiae</i> (7.5 ml: 3 x 10 ⁹ células/ml)	Celulasa y pectinasa (9 FPU/g celulosa, 72 IU/g pectinasa)	37	14	37	12	28,20	2,35	1	376	39,94	(Oberei et al., 2011)
Cáscara	88.94/110,6	110,6	150	Agua destilada	PSSF	<i>S. cerevisiae</i>	Celulasa y	50	24	35	12	13,91	1,16	1	92,73	45,51	(Palacios)

Sustrato /estado de maduración)	Humedad y sólidos totales (%)	Materia seca (g)/kg de cáscara	Peso de material seco usado (g)	Solución	Proceso	Microorganismo (concentración)	Enzima concentración	Temp. hidrólisis [°C]	Tiempo de hidrólisis (h)	Temperatura saccharificación y fermentación [°C]	Tiempo saccharificación y fermentación (h)	Concentración de etanol (g/L) en 12h.	Concentración de etanol por hora (g/L)	Peso de material seco (kg)	Concentración de etanol g/ kg de cáscar seca (g/L)	Costo estimado del proceso (\$/ton)*	(Autores)
de plátano (estado de maduración 7)	.06			da (600 ml), Solución con material seco, microorganismo, enzimas y nutrientes (400 g)		ae (50 ml: 1.6 x 10 ⁸ células/ml)	pectinasa (15 FPU/g celulosa, 15 IU/g pectinasa)										et al., 2019)
Rechazo/n 1)	85/15	176,47	176,47	Ca (OH) ₂ 10%	Hidrólisis	Levadura comerc	Celulasa y amila	33	66	33	12,00	50,00	4,17	1	83,33	34,64	(Guevara Brav

Sustrato /estado de maduración)	Humedad y sólidos totales (%)	Materia seca (g)/kg de cáscara	Peso de material seco usado (g)	Solución	Proceso	Microorganismo (concentración)	Enzima concentración	Temp. hidrólisis [°C]	Tiempo de hidrólisis (h)	Temperatura sacarificación y fermentación [°C]	Tiempo sacarificación y fermentación (h)	Concentración de etanol (g/L) en 12h.	Concentración de etanol por hora (g/L)	Peso de material seco (kg)	Concentración de etanol g/ kg de cáscara seca (g/L)	Costo estimado del proceso (\$/ton)*	(Autores)
				(70ml), H ₂ SO ₄ (500ml)	endoenzimática		sa										o et al., 2015)
Cáscara de plátano (estado de maduración 6)	88.94/110.06	110,6	210	Agua destilada(200 ml), H ₂ SO ₄ (25ml), S. cerevisiae (0.5g), Benzathine	Hidrólisis ácida	<i>S. cerevisiae</i> y <i>benzathine penicillin G</i>	Celulosa	91,02	30	30	12,00	45,09	3,76	1	214,70	26,64	(Gebreger et al., 2016)

Sustrato /estado de maduración)	Humedad y sólidos totales (%)	Materia seca (g)/kg de cáscara	Peso de material seco usado (g)	Solución	Proceso	Microorganismo (concentración)	Enzima concentración	Temp. hidrólisis [°C]	Tiempo de hidrólisis (h)	Temperatura sacarificación y fermentación [°C]	Tiempo sacarificación y fermentación (h)	Concentración de etanol (g/L) en 12h.	Concentración de etanol por hora (g/L)	Peso de material seco (kg)	Concentración de etanol g/ kg de cáscara seca (g/L)	Costo estimado del proceso (\$/ton)*	(Autores)
				<i>penicillin G</i> (0.05g)													

*Costo calculado estimado en función de la información de (Akbarnejad et al., 2015) y (Velásquez-Arredondo et al., 2010).

El estudio de Oberoi et al., (2011) obtuvo 28.2 g/L de etanol a partir de 595 ml de suspensión que tenía 75 g de polvo seco de cáscara de banano y en doce horas de fermentación. Por su parte el estudio de Singh et al., (2015) reportó 4.56 g/L en 48 horas a partir de 50g de materia prima a un pH 6, temperatura de 30°C, y con una sacarificación y fermentación con *A. niger* y *S. cerevisiae*. Por otro lado, el estudio de Chantawongsa (n.d) consiguió 8.48 g/L en 16 horas a partir de un litro de suspensión con 15g de materia prima. Usaron una combinación de enzimas amilasa, amiloglucosidasa, xynalasa y pectinasa, y para la fermentación se usó una combinación entre *S. cerevisiae* y *C. tropicalis* a 30°C con un pH 5. En todos esos estudios realizaron un pretratamiento de esterilización hidrotermal para debilitar los enlaces de los residuos lignocelulósicos para aumentar la cantidad de azúcares simples antes del tratamiento SSF. Este paso es útil para que las enzimas o microorganismos puedan romper los enlaces de hemicelulosa, celulosa, y lignina con mayor facilidad (Kucharska et al., 2019). En todo caso, el estudio de Oberoi es el que aparentemente obtuvo los mejores resultados, pues su rendimiento fue superior y pese a que el proceso duró menos tiempo, por ende, consumió menos energía en comparación con los resultados de Chantawongsa y Singh. Además, no se encontró después de doce horas de SSF residuo de glucosa, galactosa, o celobiosa, sin embargo, se encontró residuos de material lignocelulósico (Dalal et al., 2007).

En el caso de Palacios et al., (2019) la cantidad obtenida de etanol fue de 13.91 g/L a partir de 150 g de polvo seco de cáscara de banano en 600 ml de suspensión y durante 12 horas de fermentación. En este caso se autoclavó y presacarificó en condiciones óptimas. Sin embargo, el autoclavado no tuvo algún efecto positivo significativo, por otra parte, la presacarificación si redujo la celulosa, por ende, se aumentó la cantidad de azúcares

fermentables (Lin et al., 2014). Por otro lado, Guerrero et al., (2018) muestran una leve mejora en el rendimiento cuando prolonga el tiempo de tratamiento, pues con 100 horas de PSSF se consiguió 40g/L de etanol usando 388g de materia prima seca en un litro de suspensión. En estos trabajos se evaluó cómo afectaría una pre-sacarificación a un proceso SSF. En los dos casos se presacarificaron en condiciones óptimas para que los cocteles de enzimas logren aumentar la cantidad de azúcares fermentables para *S. cerevisiae*. Cabe indicarse que en el trabajo de Guerrero la materia prima utilizada no fue previamente lavada, pues en ese estudio se demostró que el lavado puede reducir la cantidad de azúcar fermentable. Desafortunadamente, estos procesos se ven limitados por su duración, esto es aumenta el tiempo y gastos operacionales. Lo que hace que el proceso PSSF aún no pueda ser implementado en procesos industriales (Neves et al., 2016).

En el proceso de fermentación realizado por el estudio de Gebregergs et al., (2016) el etanol obtenido fue de 214.70 g/L a partir de la misma materia prima de los anteriores estudios la cual fue de 210g en 12 horas. En este trabajo se realizó hidrólisis ácida para determinar la interacción entre concentración de ácido, tiempo de retención y temperatura de hidrólisis sobre el rendimiento de etanol producido. Las condiciones óptimas para este proceso (concentración de ácido 1.50% v/v, tiempo 21.66 min y temperatura de 91.02°C) las cuales permiten que la enzima celulosa hidrolice azúcares simples como la glucosa para la fermentación, esto genera efectos positivos en el rendimiento del proceso. Por otro lado, para mejorar el proceso de fermentación se adicionó *Penicilina G benzatina* lo que incrementó en un 8.97% la cantidad de etanol producido. El pretratamiento de hidrólisis ácida mejora el proceso de fermentación para la obtención de etanol a partir de cáscaras de banano (Guevara et al., 2012).

Por último, en el estudio de Guevara Bravo et al., (2015) la concentración obtenida de etanol fue de 83.33g/L a partir de 176.47g de rechazo de banano en 12 horas y utilizando el proceso de hidrólisis endo-enzimática para acelerar la maduración del fruto mediante etileno antes de la fermentación (Zapata & Pelaez Jaramillo, 2010). Se analizaron tres tipos de extracciones, encontrándose que la extracción en contracorriente es la óptima para la obtención de etanol. La temperatura influye en la actividad enzimática de la celulasas y amilasas. Así por ejemplo, se obtiene una inhibición enzimática a 37°C y además una pérdida de sólidos solubles y pérdidas de peso por hidrólisis endo-enzimática lo cual afecta a la fermentación generando menor concentración de etanol. Por otro lado, en el estudio de Ocaña et al., 2019 se consiguió 7.7 g/L de etanol a partir de 50g de materia seca de cáscara de banano tratada por hidrolisis enzimática. Por su parte, el estudio de Romero Bonilla et al., 2019 obtuvo 70 g/L de etanol a partir de 600 g de cáscara de banano en 24 horas y utilizando polietilenglicol (PEG) para la conversión de celulosa en glucosa con el objetivo de mejorar la fermentación, lo cual no se logró (González & Barranzuela, 2017). Como puede notarse en todos los casos que utilizaron pretratamientos, estos no generaron mayor cantidad de azúcares reductores disponibles para la fermentación, por lo que se obtiene un rendimiento bajo de etanol. Por lo tanto, la adición de un pretratamiento de hidrolisis no mejoraron el rendimiento de etanol.

CONCLUSIÓN

La revisión muestra varias alternativas donde el método SSF es aparentemente la mejor opción, pues la cantidad de etanol obtenido por materia prima utilizada, es la más alta entre los estudios analizados. El rendimiento de todos estos procesos, sin embargo, se hallan limitados por los compuestos lignocelulósicos. En todos los trabajos se presentó

diferentes alternativas para aumentar los azúcares fermentables, pero en general, los resultados no fueron los esperados, porque a pesar de recibir tratamientos térmicos y enzimáticos sus estructuras lignocelulósicas permanecieron firmes pues no se lograron romper en gran cantidad sus enlaces internos.

RECOMENDACIONES

1. Probar otros pre-tratamientos para fragmentar los enlaces de los compuestos lignocelulósicos como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Por ejemplo, la detoxificación que permita eliminar sustancias inhibitoras que afectan la fermentación (Sánchez et al., 2010), y el tratamiento de ozono que degrada la lignina y hemicelulosa (Garea, 2017). A fin de generar más azúcares libres para que los diferentes microorganismos fermentadores produzcan más etanol. Y a partir de este punto volver a evaluar cuál es la mejor opción en cuanto a tiempo, dinero y rendimiento, de esta manera mejorar la cadena de producción de banano, a fin de que sea más amigable con el medio ambiente y se pueda convertir en un verdadero aporte socio-económico.

2. Enfocado en la industria bananera se recomienda que exista un mejor manejo de sus residuos ya que esto permitirá obtener subproductos que favorecerían a las industrias y medio ambiente. Asimismo, los países productores de banano como el Ecuador y Brasil deben crear mecanismos de reutilización de sus productos que reduzcan el desperdicio de la agroindustria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acon, G. (2011). Banana sector. In *The Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA (Issue July))*.
- Akbarnejad, A., Azadbakht, M., & Asghari, A. (2015). Determination of thermal properties of the Cavendish banana peel as a function of temperature and moisture. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(4), 387–396.
- Altendorf, S. (2020). Evaluación preliminar del impacto de la pandemia de la COVID-19 en el comercio de bananos y frutas tropicales. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO)*, Noviembre, 11–16.
- Chantawongsa, N. (n.d.). *Pretreatment Methods for Banana Peel as a Substrate for the Bioproduction of Ethanol in SHF and SSF*. 15–19.
- Dalal, S., Sharma, A., & Gupta, M. N. (2007). A multipurpose immobilized biocatalyst with pectinase, xylanase and cellulase activities. *Chemistry Central Journal*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-1-16>
- de Souza, L. G. A., de Moraes, M. A. F. D., Dal Poz, M. E. S., & da Silveira, J. M. F. J. (2015). Collaborative Networks as a measure of the Innovation Systems in second-generation ethanol. *Scientometrics*, 103(2), 355–372. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1553-2>
- Doering, O., & Sorensen, A. (2018). The land that shapes and sustains us. *How to Feed the World*, 46–58. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-885-5>

- Jaramillo, E., & Arguello, A. (2020). Ecuador, líder en la producción de banano. Recuperado el 1/31/2021 de <https://www.ekosnegocios.com/articulo/ecuador-lider-en-la-produccion-de-banano#:~:text=las%20exportaciones%20mundiales,-,Desde%20hace%2025%20a%C3%B1os%20Ecuador%20es%20l%C3%ADder%20en%20la%20exportaci%C3%B3n,baby%20banana%20y%20banano%20rojo>.
- Garea, A. (2017). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica. Matriz de reacciones y optimización. *Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, 1*(Septiembre), 74.
- Gebregergs, A., Gebresemati, M., & Sahu, O. (2016). Industrial ethanol from banana peels for developing countries: Response surface methodology. *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering, 18*(1), 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.psra.2016.06.002>
- González, M., & Barranzuela, M. (2017). Estudio Experimental de la obtención de Bioetanol a partir de cáscara de Plátano en Piura, Perú. *Pirhua, 1*–55.
- Guerrero, A. B., Ballesteros, I., & Ballesteros, M. (2018). The potential of agricultural banana waste for bioethanol production. *Fuel, 213*(October 2017), 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.105>
- Guevara Bravo, C. A., Arenas, H. A., & Peláez Jaramillo, C. A. (2015). Hidrólisis Endo-Enzimática Y Producción De Etanol a Partir Del Banano De Rechazo. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial, 13*(2), 86. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)86-93](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)86-93)

- Guevara, C. A., Arenas, H. A., Mejía, A., & Peláez, C. A. (2012). Obtención de etanol y biogás a partir de banano de rechazo. *Informacion Tecnologica*, 23(2), 19–30. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200004>
- Kucharska, K., Słupek, E., Cieśliński, H., & Kamiński, M. (2019). Advantageous conditions of saccharification of lignocellulosic biomass for biofuels generation via fermentation processes. *Chemical Papers*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00960-1>
- Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S., & Kong, H. (2014). Factors affecting ethanol fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Biomass and Bioenergy*, 47, 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.019>
- Neves, P. V., Pitarelo, A. P., & Ramos, L. P. (2016). Production of cellulosic ethanol from sugarcane bagasse by steam explosion: Effect of extractives content, acid catalysis and different fermentation technologies. *Bioresource Technology*, 208, 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.085>
- Oberoi, H. S., Vadlani, P. V., Saida, L., Bansal, S., & Hughes, J. D. (2011). Ethanol production from banana peels using statistically optimized simultaneous saccharification and fermentation process. *Waste Management*, 31(7), 1576–1584. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.02.007>
- Ocaña, B., Decker, R., & Cardenas, G. V. (2019). *Cinética de sacarificación y fermentación para producción de bioetanol a partir de cáscara de banano maduro mediante pretratamiento de secado.*

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14088>

Palacios, A. S., Ilyina, A., Ramos-González, R., Aguilar, C. N., Martínez-Hernández, J. L., Segura-Ceniceros, E. P., González, M. L. C., Aguilar, M., Ballesteros, M., Oliva, J. M., & Ruiz, H. A. (2019). Ethanol production from banana peels at high pretreated substrate loading: comparison of two operational strategies. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00562-7>

Romero Bonilla, H., Macías Balón, C., Palacios Moreno, A., & Redrovan Pesantez, F. (2019). Estudio cinético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de la cáscara de banano maduro. *Industrial Data*, 22(1), 187–202. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16534>

Sánchez, A., Gutiérrez, A., Muñoz, J., & Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos Bioethanol Production from agroindustrial lignocellulosic byproducts. *Tumbaga*, 5, 61–91. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/194/163>

Singh, A. K., Kumar, Y., Masih, H., & Peter, J. K. (2015). Bio-Ethanol Production from Banana peel by Simultaneous Saccharification and Fermentation Process using cocultures *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* Original Research Article Bio-Ethanol Production from Banana peel by Simultaneous Saccharific. *Int. J. Curr. Microbiol. App.Sci*, 3(5), 84–96.

Stanley, R. (n.d.). *Final Report Commercial feasibility of banana waste utilisation in the processed food industry*.

- Velásquez-Arredondo, H. I., Ruiz-Colorado, A. A., & De Oliveira, S. (2010). Ethanol production process from banana fruit and its lignocellulosic residues: Energy analysis. *Energy*, 35(7), 3081–3087. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.052>
- WITS. (2018). Ecuador Datos comerciales básicos: Valor más reciente. Recuperado el 1/31/2021 de <https://wits.worldbank.org/CountrySnapshot/es/ECU/textview>
- Zapata, A., & Pelaez Jaramillo, C. (2010). Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas. *Tumbaga*, 1(5), 49–60.