

PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA (*Citrus sinensis*) Y PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.)

BIOETHANOL PRODUCTION FROM ORANGE (*Citrus sinensis*) AND BANANA (*Musa paradisiaca* L.) WASTE

Sharon Chauca Montesinos¹  Carolina Soto Carrión¹  Vanesa Salas Peña¹ 
Yorka Ruiz Barazorda¹ 

¹Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay, Perú

Correspondencia: Mg. Vanesa Salas Peña
vsalasp@utea.edu.pe

Como citar este artículo: Ruiz, Y., Chauca, S., Soto, C., & Salas, V. (2025). Producción de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.). *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 4(1), 109-117. <https://doi.org/10.57107/hyw.v4i1.90>

RESUMEN

En esta investigación se determinó el tratamiento más eficiente para la producción de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.). Este estudio tuvo un diseño experimental, con cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno: T1 (1 kg de residuos de naranja), T2 (1 kg de residuos de plátano), T3 (½ kg de residuos de naranja + ½ kg de residuos de plátano) y T4 (½ kg de residuos de naranja + ½ kg de residuos de plátano); a los tres primeros tratamientos se añadió una dosis de levadura de 5g/L de jarabe glucosado y el cuarto fue el testigo. En cada tratamiento se aplicaron los procedimientos de pretratamiento, hidrólisis ácida, fermentación y destilación simple. Los resultados mostraron que para el T1 se obtuvo un volumen de 221,67 mL y 12,33 % de bioetanol, para T2, 235 mL de bioetanol con 14,67 % de pureza, para T3, un volumen de 255,33 mL y 14,67 % de pureza y en el T4, 206,67 mL de bioetanol con 9 % de pureza. Se concluye que el T3 alcanzó mayor volumen y pureza de bioetanol, siendo el tratamiento con mejores resultados.

Palabras clave: bioetanol, fermentación, residuos orgánicos, naranja, plátano.

ABSTRACT

In this research, the most efficient treatment to produce bioethanol from orange (*Citrus sinensis*) and banana (*Musa paradisiaca* L.) waste was determined. This study had an experimental design, with four treatments with three repetitions each: T1 (1 kg of orange waste), T2 (1 kg of banana waste), T3 (½ kg of orange waste + ½ kg of banana waste) and T4 (½ kg of orange waste + ½ kg of banana waste); a yeast dose of 5 g/L of glucose syrup was added to the first three treatments and the fourth was the control. In each treatment, the procedures of pretreatment, acid hydrolysis, fermentation and simple distillation were applied. The results showed that for T1 a volume of 221.67 mL and 12.33 % bioethanol was obtained, for T2, 235 mL of bioethanol with 14.67 % purity, for T3, a volume of 255.33 mL and 14.67 % purity and in T4, 206.67 mL of bioethanol with 9 % purity. It is concluded that T3 achieved a higher volume and purity of bioethanol, being the treatment with the best results.

Keywords: bioethanol, fermentation, organic waste, orange, banana.



INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos son un importante reto ambiental mundial con una estimación de producción anual de 2.01 mil millones de toneladas métricas y de un incremento fundamental a 3.40 mil millones de toneladas para 2050; siendo la urbanización el principal contribuyente significativo, por el aumento de la población que habitan en ciudades, lo que generan residuos provenientes de hogares, empresas e industrias (Xu et al., 2023).

Según Vargas et al. (2022) aproximadamente se genera 1kg de residuos sólidos/habitante, lo que equivale a la décima parte de los residuos a nivel mundial; por ende, es necesario una mejor planificación en cuanto a la gestión de residuos sólidos, en particular de los orgánicos, debido a la emisión de gases tóxicos que generan enfermedades de manera directa o indirecta (Novais y Márquez, 2020); así como, otros impactos como la contaminación atmosférica, por el metano que se produce de la descomposición de estos residuos, afectando al suelo y agua. (Sánchez et al., 2019).

A nivel de América Latina y el Caribe, se ha identificado una brecha considerable con las políticas ejecutadas en otros continentes (Lozano y Barbarán, 2021). En el Perú, en 2021 se registró la generación de más de 5.7 millones de toneladas de residuos sólidos domiciliarios, de los cuales la administración municipal deposita 84 % en botaderos, 31,2 % se destina al reciclaje, 18,3 % a rellenos sanitarios, 10,1 % los quema o incinera, y solo 5,9 % restante va como compostaje y otras formas de disposición (INEI, 2021).

Una alternativa a esta problemática es la valorización de los residuos sólidos orgánicos debido a su alto potencial para convertirse en biocombustibles, compost, biochar entre otros (Ebrahimian et al., 2023).

Principalmente se ha identificado gran potencial de valorización de residuos frutales como fuente de biomasa, puede utilizarse para obtener biocompuestos de relevancia industrial, como antiocianinas o aprovechar sus azúcares para la generación de bioetanol. (Saldanha, y Treichel, 2024).

Se conoce que, a nivel global, se generan 113,212,452 toneladas de plátanos anualmente. Es importante destacar que el plátano es uno de los cultivos frutales más extensamente cultivados en el mundo; así como, de los residuos asociados a este cultivo, que incluyen principalmente el pseudotallo, hojas, raquis y cáscara (Medina et al., 2024). Los plátanos maduros en promedio tienen una composición de 15,20 g/100g de sacarosa, 2,34 g/100g de glucosa y 1,98 g/100g de fructosa. (Mediana, et al, 2024). Asimismo, los residuos de naranja, gracias a su elevado contenido de azúcares y polisacáridos, presentan un gran potencial, para ser utilizados en la fermentación etanólica (Christofi et al., 2022).

Debido a lo antes mencionado este estudio tuvo como objetivo determinar el tratamiento más eficiente, para la producción de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación tuvo un diseño experimental. La población fue 26 puntos de los establecimientos de expendio de frutas y juguerías del Mercado Las Américas de Abancay, de un total de 56 puntos; la muestra fue 24 puestos de venta. Las muestras se recolectaron en 12 puestos, ½ kg de residuos de naranja y en los otros 12, ½ kg de residuos de plátano, obteniendo 6 kg de residuos de naranja y 6 kg de residuo de plátano.

El procedimiento experimental se desarrolló en el

laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes, en la ciudad de Abancay. Se formularon cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. La Tabla 1 muestra las formulaciones de los tratamientos.

TABLA 1

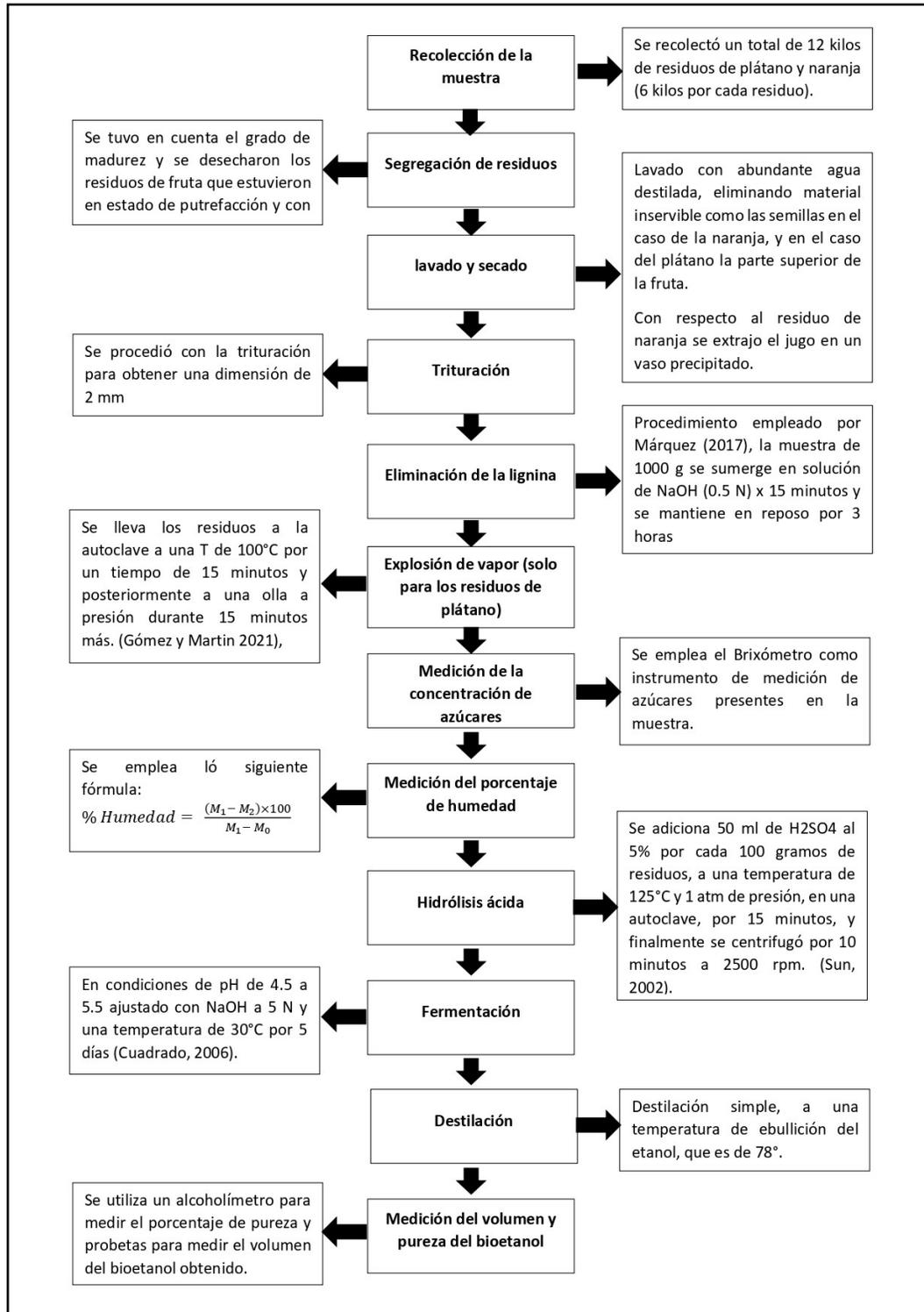
Formulaciones de los tratamientos

Tratamientos	Repeticiones	Cantidad de residuos	Dosis de levadura
T1	R1	1 kg de naranja	5g/L de jarabe glucosado
T1	R2	1 kg de naranja	5g/L de jarabe glucosado
T1	R3	1 kg de naranja	5g/L de jarabe glucosado
T2	R1	1 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T2	R2	1 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T2	R3	1 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T3	R1	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T3	R2	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T3	R3	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T4	R1	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	sin levadura
T4	R2	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	sin levadura
T4	R3	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	sin levadura

Nota: Diagrama de flujo del procedimiento del bioetanol.

FIGURA 1

Diagrama de flujo para la producción de bioetanol



Después del pretratamiento, seguido de la hidrólisis, jarabe, pH, fermentación y destilación. se determinaron los grados Brix y volumen del

RESULTADOS

Los resultados del grado (°) Brix en el proceso de hidrólisis para la obtención de bioetanol muestran que el T2 alcanzó la mayor concentración, lo que indica una mayor disponibilidad de azúcares fermentables necesarios, para una eficiente producción de bioetanol.

TABLA 2

Valores de grados Brix en el proceso de Hidrolisis

	Tratamiento 1			Tratamiento 2		
Jarabe glucosado	Rep1	Rep2	Rep3	Rep1	Rep2	Rep3
Vol (mL)	475	485	482	425	418	420
°Brix	14	17	15	17	21	18
	Tratamiento 3			Tratamiento 4		
Jarabe glucosado	Rep1	Rep2	Rep3	Rep1	Rep2	Rep3
Vol (mL)	550	560	563	560	556	565
°Brix	16	18	17	16	17	17

Después, se realizó el proceso de fermentación, registrándose los siguientes valores para el pH (Tabla 3) Se observa una reducción del pH durante el primer día en la mayoría de los tratamientos, lo cual es característico de la fermentación, debido a la producción de ácidos. A partir de ese punto, el pH tiende a estabilizarse o a experimentar un ligero incremento en los días siguientes.

TABLA 3

Valores de pH en el proceso de fermentación

Días	Tratamiento 1			Tratamiento 2		
	Rep1	Rep2	Rep3	Rep1	Rep2	Rep3
Día 0	5.02	5.1	5.03	5.01	4.75	4.95
Día 1	4.52	4.96	4.87	4.83	4.61	4.7
Día 2	4.69	4.89	5.01	4.97	5.05	5.03
Día 3	4.91	4.74	4.95	4.71	5.02	4.98
Día 4	5.06	4.69	4.93	4.84	4.99	4.96
Días	Tratamiento 3			Tratamiento 4		
	Rep1	Rep2	Rep3	Rep1	Rep2	Rep3
Día 0	5.49	5.3	4.99	5.49	5.07	4.94
Día 1	5.04	5.15	4.8	5.04	4.89	4.81
Día 2	5.33	4.95	5.1	5.02	4.75	4.73
Día 3	5.36	5.23	5.05	5.07	5.02	5.08
Día 4	5.31	5.2	5.02	5.09	4.98	5.04

Asimismo, a lo largo de los cinco días, se midieron los grados Brix del jarabe glucosado (Tabla 4). Los valores de ° Brix registrados durante el proceso de fermentación muestran una reducción continua en la concentración de azúcares en todos los tratamientos.

TABLA 4

Valores de grados (°) Brix en el proceso de fermentación

Días	Tratamiento 1			Tratamiento 2		
	Rep1	Rep2	Rep3	Rep1	Rep2	Rep3
Día 0	14	17	15	17	21	18
Día 1	12	15	13	15	17	15
Día 2	12	14	12	13	16	13
Día 3	11	13	11	10	14	11
Día 4	11	13	11	10	14	10

Días	Tratamiento 3			Tratamiento 4		
	Rep1	Rep2	Rep3	Rep1	Rep2	Rep3
Día 0	16	18	17	16	17	17
Día 1	14	14	14	15	16	16
Día 2	13	12	11	14	15	15
Día 3	10	11	10	14	15	14
Día 4	9	10	9	14	15	14

Así mismo, se desarrolló el proceso de destilación bioetanol producido y el porcentaje de pureza simple, en el que se midió el volumen final de (Tabla 5).

TABLA 5

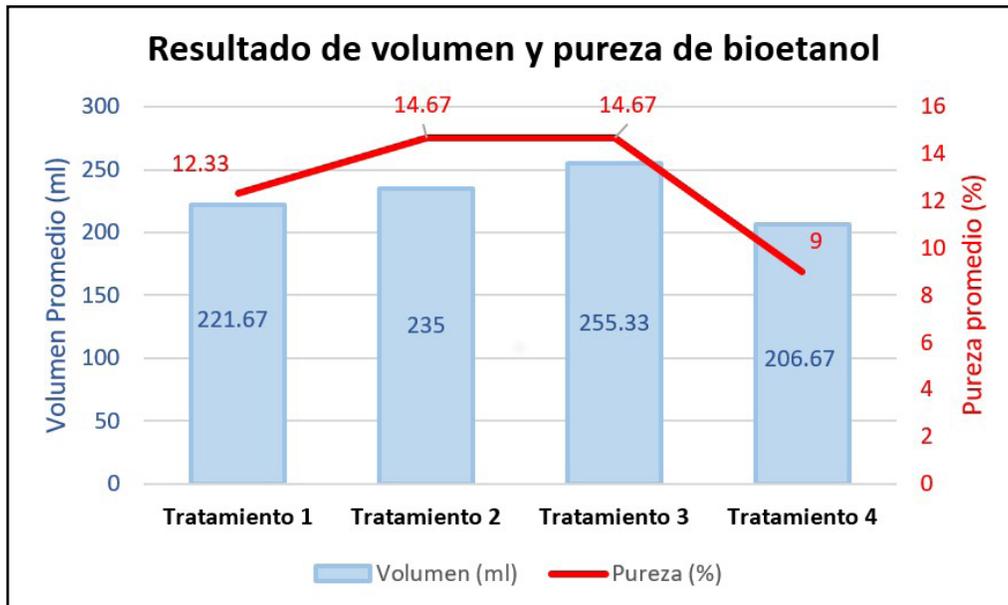
Proceso de destilación en todos los tratamientos

Tratamientos	Repeticiones	Vol (mL)	Promedio	Pureza (%)	Promedio
Tratamiento 1	Rep1	220	221,67	12	12,33
	Rep2	225		13	
	Rep3	220		12	
Tratamiento 2	Rep1	235	235,0	15	14,67
	Rep2	232		14	
	Rep3	238		15	
Tratamiento 3	Rep1	250	255,33	14	14,67
	Rep2	256		15	
	Rep3	260		15	
Tratamiento 4	Rep1	210	206,.67	9	9,00
	Rep2	200		8	
	Rep3	210		10	

Los datos del proceso de destilación reflejan en la pureza alcanzada en cada tratamiento (Fig.2). diferencias en el volumen de destilado obtenido y

FIGURA 2

Volumen y pureza del bioetanol



DISCUSIÓN

La eficiencia del pretratamiento maximiza los resultados de la producción de bioetanol (Hamdi et al., 2024). También, Vadalà et al. (2023) resalta la importancia del pretratamiento, ya que al consistir en procesos físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos, influirá en el control de la duración de la fermentación y la producción de etanol en su totalidad.

En el proceso de hidrólisis ácida, se obtuvieron valores mayores de sacarosa en el T2; en relación con las cáscaras de naranja, Ayala, (2021) reportó un contenido de glucosa de 24,585 g/L tras llevar a cabo la hidrólisis ácida en su estudio sobre la producción de bioetanol, a partir de este residuo, resultando valores comparables a los obtenidos en laboratorio. Por otro lado, Riera (2024), al evaluar las cáscaras de plátano, registró valores de 1,49 + 0,06 g/L después del proceso de hidrólisis ácida, siendo un valor menor al obtenido en esta investigación.

El proceso de fermentación culminó a los cinco días, y se pudo observar que durante el primer día hubo

una mayor reducción de grados Brix o un mayor consumo de glucosa, ya que según lo expresado por Canizales et al. (2022), en las primeras 24 horas la levadura alcanza su fase de crecimiento exponencial.

Los resultados de bioetanol que se obtuvieron del proceso de destilación simple, se puede inferir para los residuos de naranja (T1) que por cada kilogramo se obtiene 221,67 mL de bioetanol con 12,33 % de pureza, resultado relativamente inferior a lo registrado por Canizales et al. (2022), que por cada 0.15 kg obtuvo 65 mL de bioetanol con 12,24 % de pureza.

Respecto a los residuos de plátano (T2), se observa que por cada kilogramo se puede obtener 235 mL de bioetanol con una pureza de 14,67 %, volumen que supera lo registrado por Favaretto et al. (2023) que fue de 100 mL por cada 2.6808 kg de residuos de plátano. Asimismo, se observó que la combinación de residuos de naranja y plátano (T3), alcanzó el mayor volumen y pureza de bioetanol con 255,33

mL/kg y una pureza de 14,67 %, a diferencia de lo registrado por el T4 con 206,67 mL de bioetanol/kg con una pureza de 9 %, lo cual se debe a la ausencia de microorganismos que lleven a cabo la fermentación de azúcares.

CONCLUSIONES

El T3 compuesto por residuos de naranja y plátano, obtuvo mejores resultados, tanto en volumen como en pureza, para la producción de bioetanol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, J., Montero, G., Coronado, M., García, C., Curiel, M., León, J., Sagaste, C., & Montes, D. (2021). Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars. *Molecules*, 26(5), 1348. doi: 10.3390/molecules26051348.
- Canizales, R., Zavala, F., Suazo, K., Rivera, Y., & Reyes, J. (2022). Obtención de bioetanol a partir de residuo del naranja *Citrus sinensis* (variedad Valencia). Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Christofi, A., Tsipiras, D., Malamis, D., Moustakas, K., Mai, S., & Barampouti, E. (2022). Biofuels production from orange juice industrial waste within a circular economy vision. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103028. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103028>
- Cuadrado, B., & Vélez, M. (2006). Práctica Nº 1. Obtención de vino de frutas. Guía de Prácticas de Microbiología Industrial. Editor Cartagena de Indias. *Editorial Universitaria*.
- Ebrahimian, F., Khoshnevisan B., Mohammadi A., Karimi K., Birkved M. (2023). A biorefinery platform to valorize organic fraction of municipal solid waste to biofuels: An early environmental sustainability guidance based on life cycle assessment. *Energy Convers Manage*, 283, 116905. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116905>
- Favaretto, D., Rempel, A., Lanzini, J., Silva, A., Lazzari, T., Barbizan, L., & Treichel, H. (2023). Fruit residues as biomass for bioethanol production using enzymatic hydrolysis as pretreatment. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(6), 144. doi: 10.1007/s11274-023-03588-2.
- González, M., Pérez, S., Wong, A., Bello, R., & Yañez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>
- Gupte, A., Di Vita, N., Myburgh, M., Cripwell, R., Basaglia, M., van Zyl, W., Viljoen, M., Casella, S., & Favaro, L. (2024). Consolidated bioprocessing of the organic fraction of municipal solid waste into bioethanol. *Energy Conversion and Management*, 302, 118105. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118105>
- Hamdi, G., Abbas, M., & Ali, S. (2024). Bioethanol production from agricultural waste: A review. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 28 (02), 233-252. DOI:10.31272/jeasd.28.2.7
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2021). *Indicadores de Resultados de los Programas Presupuestales, 2020*
- Lozano, P., & Barbarán, H. (2021). La gestión ambiental en los gobiernos locales en América Latina. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), 212-228. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.221

- Márquez, F., & Duchén, E. (2017). *Optimización del procesamiento de las cáscaras de mandarina, naranja, limón y toronja; para la obtención de la d-glucosa y el ácido galacturónico y una potencial aplicación industrial* [Tesis de Licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/16312>
- Medina, J., Concepción, V., Pino, C., & Zerpa, F. (2024). Bioethanol from canary banana waste as an energy source to reduce the carbon footprint of island electricity systems. *Fuel*, 371, 131848. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131848>
- Novais, J., & Márquez, J. (2020). Los residuos sólidos urbanos municipales en Luanda, caracterización y consecuencias ambientales de su inadecuada gestión. *Centro Azúcar*, 47(1), 33-42. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/167/158
- Riera, M. (2024). Residuos de yuca y plátano como fuente de azúcares fermentables. *Ciencia en Desarrollo*, 15(1), 205-211. DOI:10.19053/01217488.v15.n1.2024.15495
- Saldanha, L., & Treichel, H. (2024). A Review of Anthocyanin Extraction and Bioethanol Production from Fruit Residues. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, 59, e1933. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781933>
- Sánchez, M., Cruz, J., & Maldonado, P. (2019). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la generación. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321-336. DOI: <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.2.6>
- Vadalà, R., Lo Vecchio, G., Rando, R., Leonardi, M., Cicero, N., & Costa, R. (2023). A Sustainable Strategy for the Conversion of Industrial Citrus Fruit Waste into Bioethanol. *Sustainability*, 15(12), 9647. <https://doi.org/10.3390/su15129647>
- Vargas, A., Díaz, D., Jaramillo, S., Rangel, F., Villa, D., & Villegas, J. (2022). Improving the tactical planning of solid waste collection with prescriptive analytics: a case study. *Production*, 32, 8. DOI:10.1590/0103-6513.20210037
- Xu, M., Sun, H., Chen, E., Yang, M., Wu, C., Sun, X., & Wang, Q. (2023). From waste to wealth: Innovations in organic solid waste composting. *Environmental Research*, 229:115977. doi: 10.1016/j.envres.2023.115977.