

El Manejo del Bagazo de Naranja en la Zona Centro del Estado de Veracruz Managing Orange Bagasse in the Central Area of Veracruz State

Luis Alan Galindo-Segura¹ , Arturo Pérez-Vázquez^{1*} , Alejandra Ramírez-Martínez¹ ,
Gustavo López-Romero¹ y Fernando Carlos Gómez-Merino²

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Tepetates. 91690 Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México; (L.A.G.S.), (A.P.V.), (A.R.M.), (G.L.R.).

* Autor para correspondencia: parturo@colpos.mx

² Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Manuel León. 94946 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México; (F.C.G.M.).

RESUMEN

El cultivo de naranja se produce principalmente en el estado de Veracruz. En los municipios de Martínez de la Torre y San Rafael operan dos de las tres empresas productoras de jugo de naranja más importantes de México. La generación de bagazo de naranja por parte de cada una de estas corporaciones oscila entre 112 500 – 187 500 toneladas por ciclo productivo. El manejo de grandes cantidades de bagazo de naranja es un problema económico y ambiental importante para esta zona de Veracruz. Las empresas productoras de jugo de la zona manejan el bagazo a través de tratamientos térmicos (deshidratación para alimentación animal y combustión para la generación de calor). No obstante, cuando la capacidad de manejo del bagazo se ve rebasada, las empresas optan por depositarlo en tiraderos a cielo abierto. Esto representa un riesgo de contaminación para el suelo, el agua y el aire debido a la putrefacción de la biomasa y la generación de lixiviados. El objetivo de este ensayo fue examinar las prácticas de manejo de bagazo de naranja empleadas por parte de las empresas productoras de jugo instaladas en la zona centro de Veracruz. Para ello, se llevó a cabo una revisión de literatura aunado con una estancia de vinculación con una de estas empresas para recabar datos de primera mano. Todas las estrategias de manejo presentan ventajas y desventajas económico-ambientales. Teóricamente, la alternativa más sostenible es la producción y aprovechamiento de gas natural a partir de la digestión anaerobia del bagazo. No obstante, es recomendable realizar un análisis de ciclo de vida de las estrategias de manejo de bagazo con el propósito de determinar que alternativa es la más adecuada en función de la rentabilidad económica, mitigación del impacto ambiental y eficiencia energética.

Palabras clave: contaminación, mitigación, residuos, sustentabilidad, valorización.

SUMMARY

Orange cultivation occurs mainly in the State of Veracruz. In Martínez de la Torre and San Rafael municipalities, two of the three most important orange juice producing companies operate in Mexico. The orange bagasse generated by each of these corporations ranges from 112 500 - 187 500 tons per production cycle. Managing large orange bagasse quantities is a major economic and environmental problem for this area of Veracruz. The juice producing companies in the area handle bagasse through heat treatments (dehydration for animal feed and combustion for heat generation). However, when the bagasse handling capacity exceeds, companies choose to deposit it in open dumping sites, posing a risk of contaminating soil, water and air due to biomass putrefaction and leachate generation. Therefore, the objective of this trial is to examine the orange bagasse management practices utilized by the juice producing companies installed in the central area of Veracruz. For this purpose,



Cita recomendada:

Galindo-Segura, L. A., Pérez-Vázquez, A., Ramírez-Martínez, A., López-Romero, G., & Gómez-Merino, F. C. (2023). El Manejo del Bagazo de Naranja en la Zona Centro del Estado de Veracruz. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-8. e1673. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1673>

Recibido: 6 de febrero de 2023.
Aceptado: 17 de mayo de 2023.
Ensayo. Volumen 41.
Septiembre de 2023.

Editor de Sección:
Dr. Fabián Fernández Luqueño
Editor Técnico:
Dra. Elizabeth Hernández Acosta



Copyright: © 2023 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

a literature review was performed together with an internship with one of these companies to collect first-hand data. All management strategies have economic-environmental advantages and disadvantages. Theoretically, the most sustainable alternative is the production and use of natural gas from the bagasse anaerobic digestion. Nevertheless, a life cycle assessment of bagasse management strategies should be performed to determine which alternative is the most appropriate based on economic profitability, environmental impact mitigation and energy efficiency.

Index words: *pollution, mitigation, waste, sustainability, valorization.*

INTRODUCCIÓN

Una de las frutas más producidas en el mundo es la naranja (*Citrus sinensis* L.). De acuerdo con FAO (2021); los cinco países principales productores de naranja a nivel mundial son: Brasil, China, India, Estados Unidos y México con 17, 10.5, 9.5, 4.8 y 4.7 Mt, respectivamente. En México, el Estado de Veracruz es el principal productor de este cítrico, en 2021 solo esta entidad federativa produjo el 50% de la oferta nacional; con una producción de 2 271 524 toneladas, seguido por Tamaulipas, San Luis Potosí, Puebla y Nuevo León con 688 237, 376 613, 308 434 y 233 438 toneladas, respectivamente (SIAP, 2021).

De acuerdo con García-Salazar, Bautista, Borja y Guzmán (2021), en México el 56% de la producción se consume en fresco en los hogares, mientras que el 34% se destina para la extracción de jugo de manera industrial y el 10% restante es merma. De acuerdo con Cypriano, Lopes da Silva y Tasic (2018) se estima que, durante el proceso industrial de la extracción de jugo de naranja, aceites esenciales y otros coproductos, aproximadamente el 50% del peso de la fruta (base húmeda) se convierte en bagazo (cáscara, pulpa, semillas y restos de membrana). En consecuencia, en México anualmente se generan aproximadamente 800 000 toneladas de bagazo de naranja como residuo del procesamiento industrial de esa fruta. Particularmente, el manejo de grandes cantidades de bagazo es complicado debido a su pH ácido, gran humedad residual, contenido de aceites esenciales, y estacionalidad de la producción (Calabrò, Fazzino, Sidari y Zema, 2020).

La gestión de grandes volúmenes de bagazo es un problema económico y ambiental importante (Fazzino, Mauriello, Paone, Sidari y Calabrò, 2021), especialmente en aquellas regiones donde el procesamiento industrial de esta fruta es una actividad económica sustancial. Por ejemplo, en los municipios de Martínez de la Torre y San Rafael, en la zona centro del Estado de Veracruz, en donde operan dos de las tres empresas líderes nacionales en la producción y comercialización de jugo concentrado de naranja y otros coproductos. Estas empresas generan grandes cantidades de bagazo de naranja cada temporada. Este residuo aumenta cada año y representa un importante riesgo de contaminación para el suelo, agua y el ambiente de la región.

El objetivo de este ensayo fue examinar las estrategias de manejo de bagazo de naranja que son empleadas por parte de las empresas productoras de jugo instaladas en la zona centro del estado de Veracruz desde un punto de vista ambiental, económico y tecnológico. El análisis y discusión de las estrategias de manejo del bagazo de naranja se realizó con base en una extensa revisión de literatura y la experiencia personal obtenida a través de una estancia de vinculación por parte del autor con una de las empresas productora de jugos de naranja.

DESARROLLO DEL TEMA

Estrategias de Manejo del Bagazo de Naranja Empleadas en Martínez de la Torre y San Rafael

Algunas de las empresas productoras de jugo establecidas en Martínez de la Torre y San Rafael tienen la capacidad de procesar diariamente entre 1 500-2 500 toneladas de naranja fresca durante la temporada, que abarca un período aproximadamente de 150 días (enero-mayo). Por tanto, una empresa productora de jugo de esta escala genera al día entre 750-1250 toneladas de bagazo de naranja. Esto se traduce en aproximadamente entre 112 500-187 500 toneladas bagazo/ciclo productivo/empresa. Es decir, estas compañías tienen la responsabilidad social y ambiental de manejar de alguna manera entre el 14 y 23% del total del bagazo industrial producido anualmente en México. Algunas de estas corporaciones manejan el bagazo de naranja mediante la combustión en orden de generar energía renovable para sus calderas, y reducir el volumen de los residuos. Otras compañías optan por la deshidratación del bagazo para posteriormente venderlo como suplemento alimenticio para el ganado. Las empresas menos tecnificadas, venden su bagazo a otras con la tecnología necesaria para la obtención de pectina y otros coproductos.

No obstante, durante las temporadas productivas en aquellos periodos en los cuales la capacidad de manejo del bagazo es superada, las empresas productoras de jugo se ven en la necesidad de verter el bagazo excedente en terrenos privados, tiraderos municipales o simplemente donarlo a los ganaderos que cuenten con el flete y los permisos especiales de transporte para recoger el bagazo a pie de la empresa. La Figura 1 muestra la extensión

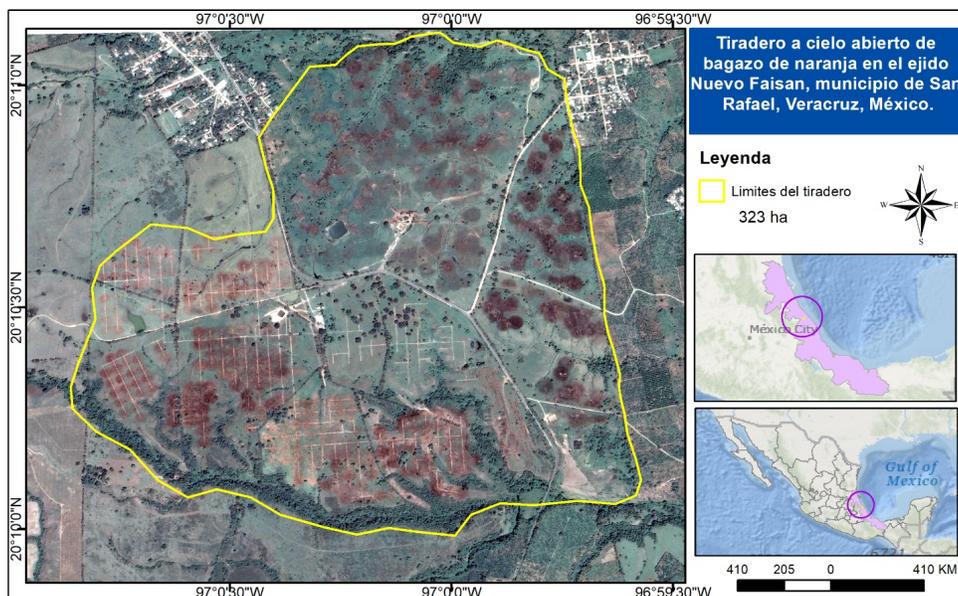


Figura 1. Tiradero a cielo abierto de bagazo de naranja en el ejido “El Nuevo Faisán”, San Rafael, Veracruz, México. 2019 imagen obtenida de Google Earth Pro.
Figure 1. Open dumping site of orange bagasse in the common land Ejido “El Nuevo Faisán”, San Rafael, Veracruz, Mexico. 2019 image source from Google Earth Pro.

de un terreno (323 ha aproximadamente) destinado para la disposición sistemática de bagazo de naranja por parte de una empresa productora de jugo establecida en el municipio de San Rafael, Veracruz (Figura 1). Cabe mencionar que en la Unión Europea esta estrategia de gestión de residuos orgánicos está prohibida bajo la directiva 2008/98/EC (European Parliament, 2008) debido a que el bagazo posee un pH entre 3-4, contiene gran cantidad de humedad (80%) y alto contenido de materia orgánica (aproximadamente 95% de los sólidos totales).

En la figura antes mencionada es posible apreciar la presencia de asentamientos humanos adyacentes al tiradero. Los habitantes de estas comunidades han denunciado por más de 20 años la mala calidad del aire, y episodios repetidos de mortandad de fauna dulce acuícola en los arroyos de la zona (La Jornada Veracruz, 2023).

El bagazo de naranja es transportado desde la empresa productora de jugo hasta el tiradero, en un trayecto de 15 km de longitud aproximadamente, para posteriormente distribuirlo en el terreno con ayuda de tractores. Se estima que el costo de disponer este residuo en un basurero oscila entre 40 - 72 USD Mg⁻¹, es decir entre \$ 800 - 1400 MXN Mg⁻¹ (Statista, 2021).

Existen diversas alternativas para manejar el bagazo de naranja como lo son: alimentación animal, combustión, composteo, pirólisis, vertederos, producción de biogás, entre otras. Cada estrategia posee ventajas y desventajas desde el punto de vista ambiental, tecnológico y económico. Dichos pros y contras aumentan o reducen el interés de las industrias productoras de jugo para su adopción.

A continuación, se examinan y discuten las estrategias de manejo de bagazo empleadas por las empresas productoras de jugo de naranja instaladas en la zona centro del estado de Veracruz.

Alimentación animal. Utilizar el bagazo de naranja para la alimentación animal en base húmeda aparentemente es una opción viable debido al bajo costo del material. Sin embargo, el bagazo de naranja es un suplemento alimenticio pobre, debido a su bajo contenido de proteína, fuerte acidez, y gran cantidad de azúcar y humedad residual (Mamma y Christakopoulos, 2014). Además, la rentabilidad de esta alternativa depende mucho de la distancia de la granja a la fuente de generación del bagazo. Por ejemplo, los municipios de vocación ganadera cercanos a las empresas productoras de jugo como Gutiérrez Zamora, Misantla, Papantla, San José Acateno y Vega de la Torre se encuentran en un radio de 30-60 km de las empresas productoras de jugo. Por tanto, el costo del arrastre implicaría una fuerte inversión. Por otro lado, la deshidratación del bagazo para su comercialización como alimento animal demanda gran cantidad de energía; solo en el proceso de eliminación de la humedad residual, se requiere de 1.7 MJ kg⁻¹ (Mohsin *et al.*, 2022).

Algunas empresas utilizan cal u óxido de calcio (CaO) durante el proceso de secado mecánico del bagazo de naranja, la adición de cal promueve una reducción de aproximadamente 40% de humedad en la etapa de deshidratación mecánica cuando se aplica en el orden de 5 kg cal Mg⁻¹ de bagazo. (Barbosa, Rocha, Saldarriaga,

Estiati, Freire y Freire, 2020). No obstante, este compuesto químico también disminuye la palatabilidad del bagazo para el ganado, por lo que se debe tomar en cuenta. Por último, es posible incrementar el valor nutrimental del bagazo seco con forrajes y otros suplementos alimenticios, pero, esto aumentaría el costo de esta alternativa.

Combustión. La combustión del bagazo de naranja es una alternativa para la producción de energía renovable, así como para reducir el volumen de los residuos. Sin embargo, presenta ventajas y desventajas desde el punto de vista económico y energético. El calor específico superior del bagazo deshidratado (3900-4140 kcal kg⁻¹) es comparable con otro tipo de biomasa utilizada para la generación de energía y calor tales como la astilla de pino, bagazo de caña, cascarilla de arroz, rastrojo de maíz, entre otras. La combustión del bagazo de naranja no contribuye a un incremento neto en la concentración de CO₂ en la atmósfera, ya que se asume que el dióxido de carbono es asimilado por las plantas en ciclos anuales posteriores (Siles-López, Li y Thompson, 2010). Además, la combustión del bagazo de naranja presenta una ventaja sobre la utilización de combustibles fósiles como el carbón o el combustóleo, ya que emite menos SO₂ que estos últimos. Se ha reportado que los combustibles fósiles emiten entre 1500-2500 mg SO₂ m⁻³, mientras que el bagazo emite apenas 353 mg SO₂ m⁻³. No obstante, la emisión de NO₂ derivado de la combustión de este material es alta (4 553 mg NO₂ m⁻³).

Los tratamientos térmicos, no se pueden aplicar directamente al bagazo de naranja. A pesar de ser técnicamente factibles, estas alternativas no son eficientes desde el punto de vista económico y energético, debido a que el tratamiento previo de deshidratación es costoso, y complicado, ya que este residuo tiene aproximadamente el 80% de humedad (Siles, Vargas, Gutiérrez, Chica y Martín, 2016).

Tiraderos. La alternativa de manejo de bagazo de naranja más utilizada a nivel mundial son los tiraderos a cielo abierto, debido a que es el proceso relativamente menos complicado y barato para las empresas (Okino-Delgado y Fleuri, 2016). No obstante, esta práctica puede impactar negativamente en el suelo y fuentes de agua subterráneas y superficiales adyacentes al tiradero. Lo anterior se debe a la alta descarga de materia orgánica, a su pH altamente ácido, a la gran cantidad de partículas suspendidas y a la alta demanda química de oxígeno (DQO). En el Cuadro 1 se presentan las propiedades fisicoquímicas del bagazo de naranja. Los impactos negativos que representa la disposición del bagazo de naranja en tiraderos a cielo abierto se atribuyen directamente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y a la disminución de la calidad del aire debido a la descomposición de la materia orgánica, además, de la potencial contaminación del suelo y cuerpos de agua adyacentes debido a la infiltración de lixiviados (Abbasi, 2018; Malini, Tajuddin y Hamid, 2018; Andiloro, Calabrò, Folino, Zema y Zimbone, 2021; Teigiserova, Hamelin, Tiruta, Ahmadi y Thomsen, 2022).

El bagazo de naranja es un recurso natural renovable que puede ser aprovechado en lugar de ser eliminado por métodos tradicionales tales como los tiraderos a cielo abierto (Zema *et al.*, 2018; González-Miquel y Díaz 2020; Ortiz-Sánchez, Alzate y Ariel, 2021a; Teigiserova, Tiruta, Ahmadi, Hamelin y Thomsen, 2021).

Cuadro 1. Caracterización fisicoquímica del bagazo de naranja. Adaptado de (Siles, Vargas, Gutiérrez, Chica y Martín, 2016; Ortiz-Sánchez, Solarte, Orrego, Acosta y Cardona, 2021b).

Table 1. Physicochemical characterization of orange bagasse. Adapted from (Siles, Vargas, Gutiérrez, Chica y Martín, 2016; Ortiz-Sánchez, Solarte, Orrego, Acosta y Cardona, 2021b).

Parámetro	Valor
pH	3.42
DQO (mg O ₂ g ⁻¹)	1085
C (%)	44.33
H (%)	5.9
N (%)	0.76
O (%)	46.33
S (%)	0.11
Celulosa (%)	30.17
Hemicelulosa (%)	9.35
Lignina (%)	5.07
Pectina (%)	11
Proteína (%)	4.86
Grasa (%)	5.18
Cenizas (%)	3.61
Humedad (%)	78-80

pH = potencial hidrogeno; DQO = demanda química de oxígeno; C = carbono; H = hidrógeno; N = nitrógeno; O = oxígeno; S = azufre.
pH = potential hydrogen; DQO = oxygen chemical demand; C = carbon; H = hydrogen; N = nitrogen; O = oxygen; S = sulfur.

Valorización del Bagazo de Naranja en un Contexto de Economía Circular

En México se aprobó la Ley General de Economía Circular (Cámara de Senadores, 2021), la cual pretende promover el aprovechamiento y valorización de los residuos a través de la gestión integral de estos; desde la fabricación hasta su uso final, en orden de reducir la huella ecológica de los sistemas productivos y mitigar el cambio climático. El eje medular de esta ley se basa en tres principios esenciales; 1) Los productos y servicios desde su origen no deben generar residuos ni agentes contaminantes, 2) Se deberá incrementar la vida útil de los materiales y productos mediante esquemas de reaprovechamiento y valorización y 3) Se deberá impulsar la creación de sistemas económicos sustentables (INECC, 2021).

Por lo cual, todas aquellas entidades generadoras que dispongan sus residuos en tiraderos a cielo abierto (p. ej.: las empresas productoras de jugo en temporadas de producción altas) tendrán que replantear sus estrategias de manejo de residuos sólidos mediante un enfoque congruente a lo estipulado en esta ley, en orden de mitigar el impacto ambiental, reciclar materiales, procurar el ciclaje de nutrientes y valorizar los residuos. De no hacerlo podrán ser acreedoras a sanciones administrativas que pueden ir desde multas, clausuras parciales, totales, temporales, y definitivas, o arrestos administrativos.

No obstante, dentro de esta ley propositiva también se estipula que todas las personas físicas, morales, instituciones o entidades gubernamentales que adopten prácticas coherentes con los criterios de economía circular en sus sistemas productivos podrán ser acreedores a incentivos fiscales a través de la Secretaría de Hacienda. Así mismo, se facilitará el comercio de las materias primas secundarias y se podrán otorgar certificaciones voluntarias de economía circular. Por consiguiente, las empresas productoras de jugo que valoricen sus residuos a través de estrategias coherentes con una economía circular podrían solventar la inversión en tecnología, reducir su huella ecológica, y mejorar su identidad ambiental ante la sociedad.

En este orden de ideas, la producción de biocarbón por pirólisis a partir del bagazo es una alternativa de valorización atractiva para mitigar el cambio climático a través de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (Sial *et al.*, 2019). Además, el biocarbón de bagazo de naranja es un material con propiedades de remediación de suelos agrícolas con el potencial de reducir la adsorción de metales pesados por las plantas y aumentar la productividad de los cultivos (Gonzaga, Mackowiak, de Almeida, de Carvalho Junior y Andrade, 2018; Ghani *et al.*, 2022). Por otro lado, el biocarbón de bagazo de naranja solo o activado es un efectivo insumo para la remediación de aguas y suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos tales como metales pesados, herbicidas, y colorantes artificiales (Abdelhafez y Li, 2016; Tran, You y Chao, 2016; Pandiarajan, Kamaraj, Vasudevan y Vasudevan, 2018; Amin, Alazba, y Shafiq, 2019; Zhang *et al.*, 2019; Ying *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2022). El biocarbón de bagazo de naranja puede ser fabricado por las empresas productoras de jugo y utilizarse en el tratamiento de sus propias aguas residuales, o en su defecto venderse a otras corporaciones que lo demanden.

Sin embargo, al ser un tratamiento térmico requiere de gran cantidad de energía lo que reduce el interés de las empresas para fabricarlo, además, de que no resuelve del todo el problema de la utilización integral del bagazo. Por último, no existe demanda de este material en el mercado nacional, por lo que las empresas productoras de jugo no muestran interés alguno por esta alternativa. Se espera que, con normativas en materia de valorización de residuos como la Ley general de economía circular, esta alternativa se extienda y existan las facilidades para comercializarlo en mercados de materias primas secundarias.

Por último, aparentemente la alternativa de manejo de bagazo de naranja más viable, desde el punto de vista tecnológico, ambiental y económico es la digestión anaeróbica que permitiría la producción de abono y la generación de gas metano (CH_4) que posteriormente puede ser utilizado como una fuente de combustible (Negro, Ruggeri, Fino y Tonini, 2017; Calabrò, Paon y Komili, 2018). De acuerdo con Ortiz-Sánchez, Solarte, Orrego, Acosta y Cardona (2021b) el rendimiento del metano obtenido a partir del bagazo de naranja es de $77.72 \text{ Nm}^3 \text{ Mg}^{-1}$. Por tanto, hipotéticamente una empresa productora de jugo de una escala similar a las instaladas en la zona centro de Veracruz tendría el potencial de generar entre 8.7 - 14.5 millones de $\text{m}^3 \text{ CH}_4 \text{ año}^{-1}$. El metano producido podría sustituir al combustóleo utilizado en las calderas, lo que se traduciría en importantes ahorros económicos, debido a la reducción del consumo de combustibles fósiles y prescindir del proceso de deshidratación (no consumir cal y no utilizar los hornos de secado). Estos autores señalan que una empresa productora de jugo con la capacidad de generar $\geq 1 \text{ 000 toneladas bagazo día}^{-1}$ que opte por la producción de biogás a partir del bagazo podría ver recuperada su inversión en apenas tres años.

Con el fin de brindar opciones objetivas y viables para los tomadores de decisiones para un manejo sostenible del bagazo de naranja en la zona centro del Estado de Veracruz es recomendable llevar a cabo un análisis de ciclo de vida que contraste los impactos ambientales, análisis económico, energético y logístico de cada una de las estrategias de gestión empleadas en la región. Para ello, se requieren datos concretos y confiables que permita hacer los cálculos correspondientes.

CONCLUSIONES

Las empresas productoras de jugo de naranja que operan en los municipios de Martínez de la Torre y San Rafael, Veracruz son las más importantes de México. Cada una de ellas genera aproximadamente entre 112 500-187 500 toneladas bagazo por ciclo productivo (13% al 24% del total del bagazo producido anualmente en México). Para manejar este residuo las empresas optan por tres alternativas: combustión, alimentación animal y tiraderos a cielo abierto. La combustión del bagazo representa una fuente de energía renovable y reduce el volumen de los residuos, no obstante, se genera gran cantidad de NO₂. Aprovechar el bagazo como alimento natural es factible, sin embargo, este material es un suplemento alimenticio pobre debido a su acidez y bajo contenido de proteína, además, el costo del arrastre a los puntos de consumo reduce la rentabilidad de esta práctica. Estas dos alternativas requieren de un tratamiento térmico previo, ya que el bagazo contiene gran humedad residual (80%), por tanto, estas estrategias no son eficientes desde una perspectiva económica y energética. Por último, depositar el bagazo a cielo abierto representa una fuente de contaminación puntual para el suelo y los cuerpos de agua, además de la generación de malos olores y la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera. Teóricamente, la digestión anaeróbica del bagazo es la opción más sostenible, con ello se podría generar gas natural y fertilizante orgánico. El gas podría suplir la demanda de combustible de las empresas productoras de jugo y el fertilizante usarse en las huertas. Sin embargo, es recomendable llevar a cabo un análisis de ciclo de vida que contraste todas las alternativas de manejo de bagazo en un contexto ambiental, energético y económico, para tener mayores elementos técnicos para discernir entre una y otra estrategia.

La nueva Ley general de economía circular, promueve que las entidades generadoras de bagazo de naranja valoricen sus residuos a través de tecnologías sustentables. Las empresas productoras de jugo de naranja que valoricen su bagazo mediante alternativas consistentes con la ley podrían solventar parte de la inversión que representa la transición a nuevas tecnologías de manejo, reducir su huella ecológica y mejorar su identidad ambiental ante la sociedad.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos analizados durante el estudio actual no están disponibles públicamente debido a que son propiedad privada de las empresas productoras de jugo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

Todos los fondos utilizados para la realización de esta investigación fueron proporcionados por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y por el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, investigación y redacción: A.M.R., G.L.R. y F.C.G.M. Revisión y edición: A.P.V.

AGRADECIMIENTOS

Todos los autores expresan su más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico brindado a través de la beca 692611.

LITERATURA CITADA

- Abbasi, S. A. (2018). The myth and the reality of energy recovery from municipal solid waste. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13705-018-0175-y>
- Abdelhafez, A. A., & Li, J. (2016). Removal of Pb (II) from aqueous solution by using biochars derived from sugar cane bagasse and orange peel. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61, 367-375. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.01.005>
- Amin, M. T., Alazba, A. A., & Shafiq, M. (2019). Application of the biochar derived from orange peel for effective biosorption of copper and cadmium in batch studies: isotherm models and kinetic studies. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4184-0>
- Andiloro, S., Calabrò, P. S., Folino, A., Zema, D. A., & Zimbone, S. M. (2021). Evaluating the pollution risk of soil due to natural drainage of orange peel: First results. *Environments*, 8(5), 43. <https://doi.org/10.3390/environments8050043>
- Barbosa, A. M., Rocha, T. A., Saldarriaga, J. F., Estiati, I., Freire, F. B., & Freire, J. T. (2020). Alternative drying of orange bagasse in vibrofluidized bed for use in combustion. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 152, 107941. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107941>
- Calabrò, P. S., Fazzino, F., Sidari, R., & Zema, D. (2020). Optimization of orange peel waste ensiling for sustainable anaerobic digestion. *Renewable Energy*, 154, 849-862. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.047>
- Calabrò, P. S., Paon, E., & Komili, D. (2018). Strategies for the sustainable management of orange peel waste through anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*, 212, 462-468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.039>
- Cámara de Senadores (2021). *Ley General de Economía Circular (L.G.E.C.)*. Consultado el 1 de julio, 2022, desde http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/senclave/65/CS-LXV-I-1P-038/01_minuta_038_17nov21.pdf
- Cypriano, D. Z., Lopes da Silva, L., & Tasic, L. (2018). High value-added products from the orange juice industry waste. *Waste Management*, 79, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.028>
- European Parliament (2008). *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*. Consultado el 17 de marzo, 2023, desde: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2021). *Citrus Fruit Statical Compendium*. Italy, Rome: FAO. Consultado el 20 de enero, 2022, desde: <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf>
- Fazzino, F., Mauriello, F., Paone, E., Sidari, R., & Calabrò, P. S. (2021). Integral valorization of orange peel waste through optimized ensiling: Lactic acid and bioethanol production. *Chemosphere*, 271, 129602. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129602>
- García-Salazar, J. A., Bautista-Mayorga, F., Borja-Bravo, M., & Gúzman-Soria, E. (2021). Variación de los precios de la naranja (*Citrus sinensis* L.) en México. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 209-223. <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.40679>
- Ghani, J., Nawab, J., Khan, S., Khan, M. A., Ahmad, I., Ali, H. M., ... & Dinelli, E. (2022). Organic amendments minimize the migration of potentially toxic elements in soil-plant system in degraded agricultural lands. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02816-3>
- Gonzaga, M. I. S., Mackowiak, C., de Almeida, A. Q., de Carvalho Junior, J. I. T., & Andrade, K. R. (2018). Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. *Catena*, 162, 414-420. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.018>
- González-Miquel, M., & Díaz, I. (2020). Valorization of citrus waste through sustainable extraction processes. In M. R. Kosseva, & C. Webb (Eds.). *Food Industry Wastes* (pp. 113-133). Cambridge, MA, USA: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817121-9.00006-1>
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2021). Martínez, A. A., Octaviano, V. C.A., & Nieto, R. J. Análisis y revisión técnica del marco legal existente para la instrumentación de una política en materia economía circular para México. México. Consultado el 1 de julio, 2022, desde https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/677876/V2_An_lisis_y_revisi_n_tcnica_de_marco.pdf
- Kumar, A., Bhattacharya, T., Shaikh, W. A., Chakraborty, S., Owens, G., & Naushad, M. (2022). Valorization of fruit waste-based biochar for arsenic removal in soils. *Environmental Research*, 213, 113710. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113710>
- La Jornada Veracruz. (2023, 3 de marzo). Nuevo ecocidio en el río Bobos causado por Citrofrut. *La Jornada Veracruz*. <https://jornadaveracruz.com.mx/estado/nuevo-ecocidio-en-el-rio-bobos-causado-por-citrofrut/>
- Malini, R., Tajuddin, R. M., & Hamid, N. S. A. (2018). Citrus fruit waste leachate treatment by using newly developed flat sheet membrane. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8(3), 1-7. <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.8.3.2018.p7514>
- Mamma, D., & Christakopoulos, P. (2014). Biotransformation of citrus by-products into value added products. *Waste and Biomass Valorization*, 5, 529-549. <https://doi.org/10.1007/s12649-013-9250-y>
- Mohsin, A., Hussain, M. H., Zaman, W. Q., Mohsin, M. Z., Zhang, J., Liu, Z., ... & Guo, M. (2022). Advances in sustainable approaches utilizing orange peel waste to produce highly value-added bioproducts. *Critical Reviews in Biotechnology*, 42(8), 1284-1303. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.2002805>
- Negro, V., Ruggeri, B., Fino, D., & Tonini, D. (2017). Life cycle assessment of orange peel waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.014>
- Okino-Delgado, C. H., & Fleuri, L. F. (2016). Orange and mango by-products: Agro-industrial waste as source of bioactive compounds and botanical versus commercial description- A review. *Food Reviews International*, 32(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1041183>
- Ortiz-Sánchez, M., Alzate, C., & Ariel, C. (2021a). Comparative environmental life cycle assessment of orange peel waste in present productive chains. *Journal of Cleaner Production*, 322, 128814. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128814>
- Ortiz-Sánchez, M., Solarte-Toro, J. C., Orrego-Alzate, C. E., Acosta-Medina, C. D., & Cardona-Alzate, C. A. (2021b). Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(2), 645-659. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00627-y>

- Pandiarajan, A., Kamaraj, R., Vasudevan, S., & Vasudevan, S. (2018). OPAC (orange peel activated carbon) derived from waste orange peel for the adsorption of chlorophenoxyacetic acid herbicides from water: adsorption isotherm, kinetic modelling and thermodynamic studies. *Bioresource Technology*, 261, 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.005>
- Sial, T. A., Lan, Z., Khan, M. N., Zhao, Y., Kumbhar, F., Liu, J., ... & Memon, M. (2019). Evaluation of orange peel waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties within a loess soil. *Waste Management*, 87, 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.042>
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 1 de julio, 2022, desde <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Siles-López, J. A., Li, Q., & Thompson, I. P. (2010). Biorefinery of waste orange peel. *Critical Reviews in Biotechnology*, 30(1), 63-69. <https://doi.org/10.3109/07388550903425201>
- Siles, J. A., Vargas, F., Gutiérrez, M. C., Chica, A. F., & Martín, M. A. (2016). Integral valorisation of waste orange peel using combustion, biomethanisation and co-composting technologies. *Bioresource Technology*, 211, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.056>
- Statista (2021). *Average cost to landfill municipal solid waste in the United States in 2020 and 2021, by region*. Consultado el 10 de marzo, 2023, desde <https://www.statista.com/statistics/692063/cost-to-landfill-municipal-solid-waste-by-us-region/>
- Teigiserova, D. A., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2021). A step closer to circular bioeconomy for citrus peel waste: A review of yields and technologies for sustainable management of essential oils. *Journal of Environmental Management*, 280, 111832. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111832>
- Teigiserova, D. A., Hamelin, L., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., & Thomsen, M. (2022). Circular bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading production from orange peel waste under current and future electricity mixes. *Science of The Total Environment*, 812, 152574. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152574>
- Tran, H. N., You, S. J., & Chao, H. P. (2016). Effect of pyrolysis temperatures and times on the adsorption of cadmium onto orange peel derived biochar. *Waste Management & Research*, 34(2), 129-138. <https://doi.org/10.1177/0734242X15615698>
- Ying, D., Hong, P., Jiali, F., Qinqin, T., Yuhui, L., Youqun, W., ... & Yunhai, L. (2020). Removal of uranium using MnO₂/orange peel biochar composite prepared by activation and in-situ deposit in a single step. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105772. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105772>
- Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G., & Zimbone, S. M. (2018). Valorization of citrus processing waste: A review. *Waste Management*, 80, 252-273. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.024>
- Zhang, B., Wu, Y., & Cha, L. (2019). Removal of methyl orange dye using activated biochar derived from pomelo peel wastes: performance, isotherm, and kinetic studies. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 41(1), 125-136. <https://doi.org/10.1080/01932691.2018.1561298>