

REVALORIZACIÓN DE ENVASES VACÍOS DE AGROQUÍMICOS: UN CAMINO HACIA PRÁCTICAS MÁS SOSTENIBLES

Angelica Avila Anguis ^a, Dulce María Murguía Aguilar ^a, Juan Jesús Reséndiz Luna ^a, Valeria Caltzontzin Rabell ^a, Sergio Iván Martínez Guido ^a, Claudia Gutiérrez Antonio ^{a,*}

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias s/n esquina con Villas del Mesón, Juriquilla, Querétaro, 76230, México. claudia.gutierrez@uaq.mx

Resumen

En México, cada año se desechan aproximadamente 6,000 toneladas de envases vacíos de agroquímicos (EVA), los cuales son catalogados como residuos peligrosos generados en la actividad agrícola. Estos envases representan una seria amenaza debido a la contaminación que generan en los cuerpos de agua, la polución visual que provocan y las emisiones de contaminantes al aire durante su incineración; todo lo anterior es resultado de los métodos de disposición actuales. Además, su fabricación a partir de plásticos derivados del petróleo contribuye a la pérdida de recursos no renovables. Para mitigar los problemas ocasionados por el inadecuado manejo de los EVA su revalorización es una oportunidad. Los EVA se pueden convertir en otros productos, tales como bancos de parque, postes de madera plástica para jardines, tuberías de drenaje, o bien en monómeros destinados a la fabricación de nuevos bienes. Estas alternativas de revalorización no sólo reducen la contaminación ambiental, sino que contribuyen a la preservación de recursos, fomentando prácticas más sostenibles en la gestión de residuos.

Palabras clave: Envases vacíos de plaguicidas; plásticos agrícolas; revalorización; agricultura sostenible.

REVALORIZATION OF EMPTY AGROCHEMICAL CONTAINERS: A PATH TOWARDS MORE SUSTAINABLE PRACTICES

Abstract

In Mexico, approximately 6,000 tons of empty agrochemical containers (EVA) are discarded each year, which are classified as hazardous waste generated at agricultural activity. These containers represent a serious threat due to the pollution they generate in bodies of water, the visual pollution, and the emissions of pollutants into the air during their incineration; this is result of current disposal methods. Furthermore, its manufacture from petroleum derived plastics contribute to the loss of non-renewable resource. To mitigate the problems caused by the inadequate management generation of EVA, its revaluation is an opportunity. The EVA can be converted in different products, such as park benches, plastic wood posts for gardens, drainage pipes, or even monomers intended for the fabrication of new goods. These revaluation alternatives not only reduce environmental pollution, but also contribute to the preservation of resources, promoting more sustainable practices in waste management.

Keywords: Empty agrochemical containers; agricultural plastics; revalorization; sustainable agriculture.

1. Introducción

En un mundo cada vez más poblado y con recursos naturales limitados, la necesidad de establecer sistemas de producción de alimentos sustentables se ha vuelto imperante para salvaguardar nuestro planeta y asegurar el bienestar de las generaciones futuras. La seguridad alimentaria, la conservación del medio ambiente y la equidad social son desafíos que exigen una reestructuración profunda de cómo cultivamos, procesamos y distribuimos nuestros alimentos. Para lograr esto es esencial considerar tres aspectos fundamentales: la estructura del sistema de producción, la implementación de tecnología para aumentar la eficiencia, y la adopción de estrategias de economía circular.

La base de una transformación exitosa reside en reevaluar el sistema de producción agrícola en su totalidad. Como señala la OCDE en su obra "Agriculture and the Environment: Better policies to improve the environmental performance of the agriculture sector", los enfoques convencionales han llevado a la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del agua y el aire. Esto subraya la urgencia de adoptar prácticas que sean sostenibles a largo plazo y respetuosas con los ecosistemas en los que operan (OECD, 2023).

El sistema de producción agrícola tradicional ha estado marcado por prácticas insostenibles que agotan los recursos naturales, erosionan los suelos y contaminan tanto el agua como el aire. Por ello, es crucial adoptar un enfoque más equilibrado que preserve los ecosistemas y permita una producción continua a largo plazo; asimismo es importante buscar una transformación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (CEPAL y col., 2021). Aquí es donde entra en juego la tecnología, la cual puede revolucionar la agricultura al aumentar la eficiencia en la producción. Mediante la automatización, el monitoreo en tiempo real y la aplicación precisa de recursos, como agua y fertilizantes, es posible reducir el desperdicio y aumentar los rendimientos; todo esto mientras se minimiza el impacto ambiental. Al reducir el uso de recursos escasos, no sólo se minimiza el impacto ambiental, sino que también se maximizan los rendimientos; de esta manera se contribuye a la seguridad alimentaria global. Así, la tecnología emerge como un catalizador clave para esta revolución agrícola. Conforme apunta Brown (2019) en "Sustainability and the future of food", la implementación de tecnologías innovadoras, como la agricultura de precisión y el uso de drones para monitorear los cultivos, puede

aumentar drásticamente la eficiencia de producción.

Además de la tecnología, la economía circular se erige como una herramienta poderosa en la transformación de los sistemas de producción agrícola. La economía circular propone una visión holística que busca reducir, reutilizar y reciclar los recursos en un ciclo continuo; esto en contraposición al enfoque lineal de "tomar, hacer, desechar". La obra de Stahel (2010), "The Performance Economy", aboga por la integración de este enfoque en todas las etapas de la cadena de suministro alimentario. Mediante la revalorización de subproductos y la transformación de desechos orgánicos en nutrientes ricos para el suelo, la economía circular no sólo reduce la dependencia de insumos externos, sino que también regenera los recursos naturales.

La economía circular adquiere una relevancia inigualable en el contexto agrícola, puesto que esto se traduce en la reutilización de nutrientes a través del compostaje y la recogida de residuos orgánicos para enriquecer los suelos. Así, es posible cerrar el ciclo de nutrientes, lo que, según Jackson (2009) en "Prosperity without Growth", tiene el potencial de crear sistemas más resilientes y equitativos. Es así pues que la

revalorización de residuos se convierte en un componente esencial de esta nueva perspectiva. Los restos de cultivos, generalmente descartados como desperdicios, pueden transformarse en recursos valiosos. Mediante diversos procesos es posible obtener productos útiles, como bioinsumos y bioenergía, a partir de lo que antes era considerado basura. Asimismo, la biomasa residual de cultivos puede ser convertida en diversos tipos de bioproductos como el biogás, los pellets, la bioturbosina y biodiésel (Gutiérrez-Antonio y col., 2017; Martínez-Guido y col., 2019; Romero-Izquierdo y col., 2021; Aguilar-Murguía y col., 2022; Escudero-Enríquez y col., 2023); estos biocombustibles son reinsertados en el mercado, ayudando a cerrar el ciclo de manera sostenible. Esta reconceptualización de los desechos contribuye tanto a la reducción de la contaminación como a la generación de ingresos para los agricultores.

Aunque son varios los desechos que la actividad agrícola genera, uno de los mayores desafíos persistentes es el manejo de los residuos plásticos; en particular, los envases vacíos de agroquímicos (EVA), como de fertilizantes, pesticidas y herbicidas, representan un reto importante. Estos materiales plásticos poseen la particularidad

de ser peligrosos, ya que un mal manejo puede promover la liberación de sustancias tóxicas como organoclorados al medio ambiente. Dichas sustancias causan distintos tipos de cáncer, enfermedades genéticas, entre otras; por ello, representan una amenaza tanto para la salud humana como para la biodiversidad circundante. Actualmente, existen diferentes métodos de manejo de estos residuos como el reciclaje, la trituración, la incineración y el co-procesamiento. Cada uno se aplica dependiendo de las propiedades del envase (SAGARPA, 2012). Aquí es donde la innovación y la creatividad son necesarias para encontrar alternativas viables que vayan de la mano con procesos más sustentables. Una opción es el aprovechamiento de estos plásticos a través del reciclaje, o bien convirtiéndolos en nuevos productos plásticos e incluso en materiales para la construcción mediante su revalorización. La transformación de estos plásticos pesticidas en materiales, que puedan insertarse nuevamente en el mercado, puede disminuir su impacto ambiental y contribuir a cerrar el ciclo de estos materiales peligrosos.

Con base en lo anteriormente mencionado, el objetivo del presente artículo es informar y concientizar al público sobre la problemática

de los EVA, centrándose en las prácticas actuales de disposición (vertedero, incineración) y explorando las iniciativas que se han desarrollado para su reciclaje. Se busca destacar la importancia de adoptar prácticas de gestión de residuos más sostenibles, así como promover la responsabilidad ambiental en la industria agrícola y entre los consumidores. Así, mediante la presentación de información y ejemplos concretos se pretende inspirar acciones positivas hacia la preservación del medio ambiente.

2. Envases vacíos de agroquímicos

Durante años, los envases vacíos de agroquímicos (EVA) han sido objeto de una disposición inadecuada, siendo lanzados a la intemperie en zonas de cultivo y cuerpos de agua; asimismo, esto representa focos de contaminación al medioambiente e intoxicación para las formas de vida que lo rodeen (SAGARPA, 2012). El uso generalizado de plaguicidas (agroquímicos) en México tuvo como punto de partida la Revolución Verde durante los años 60's; no obstante, la regularización de estas sustancias sucedió tiempo después. Para el año 1988 se establecieron criterios para no dañar el medioambiente a través de la Ley General del

Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA, (INECC, 2018).

La responsabilidad de esta disposición entra en debate, debido a que los agricultores perciben los EVA como ajenos a ellos, ya que no son ellos los fabricantes de este producto. De hecho, los agricultores consideran que los gobiernos o los mismos fabricantes deben ser los encargados en dar solución a esta problemática (SAGARPA, 2012). En México, se considera a los EVA como residuos peligrosos, ya que los plaguicidas tienen propiedades tóxicas. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define a los envases, recipientes y embalajes que estén en contacto con sustancias reactivas, corrosivas, explosivas, inflamables como residuos peligrosos, estando a sujetos a planes de manejo (SENASICA, 2004).

3. Agricultura en México y generación de envases vacíos de agroquímicos

La agricultura desempeña un papel crucial en la economía mexicana, contribuyendo significativamente al Producto Interno Bruto nacional con un 4% (INEGI, 2020). Además, esta actividad es vital en la estructura social del país, ya que es una fuente importante de

empleo, proporcionando trabajo alrededor del 13% de la población (CEFP, 2016).

México cuenta con una extensión total de aproximadamente 196.4 millones de hectáreas, de las cuales alrededor de 21 millones se dedican a la agricultura (SAGARPA, 2015). Según el censo agropecuario de 2022, los cultivos principales incluyen maíz, avena, sorgo, trigo y frijol (INEGI, 2022); estos cultivos son esenciales tanto para la seguridad alimentaria como para la economía agrícola del país.

Una práctica habitual en la agricultura, para controlar las enfermedades y malezas que pueden afectar negativamente el crecimiento, la productividad y la salud de los cultivos, es el uso de pesticidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas y nematocidas) (Garbounis y col., 2022). El 90% de los agricultores en México utilizan este tipo de productos para el cuidado de los cultivos, generando aproximadamente 50 millones de EVA, los cuales equivalen a 6,000 toneladas anuales (SAGARPA, 2012). Estos envases mayormente son de plástico rígido, y generalmente se fabrican de polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno coextruido (PE COEX) o tereftalato de polietileno (PET) (Garbounis y Komilis, 2021). Estos plásticos se clasifican como termoplásticos, lo que

significa que pueden fundirse y moldearse repetidamente. Esta característica facilita su reciclaje, ya que pueden ser calentados, fundidos y remodelados en nuevos productos sin perder sus propiedades fundamentales (Grigore, 2017).

Hoy en día, la disposición inadecuada de los EVA ha sido un problema persistente. Durante años, los EVA han sido arrojados a la intemperie, en cuerpos de agua, y terminan en vertederos o son incinerados, lo que resulta en un gran impacto ambiental. Estos métodos de disposición conllevan a la contaminación de los cuerpos de agua, la contaminación visual y la emisión de contaminantes al aire durante la incineración. Además, existe un grave riesgo para la salud cuando se reutilizan como recipientes.

4. Disposición de envases vacíos de agroquímicos en vertederos

La disposición en vertederos es el método de disposición de residuos más tradicional y comúnmente utilizado para almacenar una amplia gama de desechos, con un costo menor, incluidos los envases vacíos de agroquímicos (Krook y col., 2012). Este tipo de alternativa para la disposición de EVA se define como la eliminación, compresión y

relleno de terraplenes de residuos en sitios apropiados (Vaverková, 2019).

Se estima que alrededor del 60% de los residuos plásticos a nivel mundial terminan en un vertedero o en el medio ambiente (Vlasopoulos y col., 2023); aunque puede parecer una solución conveniente, esta práctica conlleva varios problemas ambientales. Los EVA se consideran fuentes potenciales de contaminación en el medio ambiente, los cuales pueden causar contaminación de las aguas subterráneas debido a la filtración de los residuos de agroquímicos que podrían estar presentes en los envases. También, los EVA causan contaminación del aire mediante la evaporación de los remanentes de pesticidas que pudieran contener; además, los EVA contaminan el suelo por los años que tardan en degradarse (Montoya y col., 2014; Iravanian y Ravari, 2020). Además, se estima que el gas proveniente de los vertederos representa más de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero (Ángeles-Hurtado y col., 2021).

Es crucial destacar que la disposición de envases vacíos de agroquímicos en vertederos genera un impacto ambiental significativo, dado que estos residuos, al estar compuestos mayoritariamente de plástico, requieren entre

300 y 500 años para degradarse (Singh y col., 2018).

5. Incineración de los envases vacíos de agroquímicos

Otro método para el manejo de los EVA es la incineración, la cual se refiere a la quema de residuos sólidos para reducirlos a cenizas; sin embargo, esta práctica no es bien vista en las políticas ambientales de México (Ángeles-Hurtado y col., 2021). Lo anterior se debe a la controversia que ha generado por su potencial para emitir contaminantes gaseosos y compuestos nocivos (Roy y Dutta, 2019). Estos aspectos plantean preocupaciones significativas sobre sus impactos en la salud humana y el medio ambiente. Este tipo de residuos al ser quemados liberan compuestos orgánicos volátiles, como dioxinas y furanos; estos compuestos pueden dañar el medio ambiente y la salud humana, aumentando la contaminación del aire y los problemas respiratorios (Lwin, 2023).

Es importante mencionar que esta práctica no elimina el 100% de los plásticos (Vlasopoulos y col., 2023), y en algunas ocasiones los restos de los EVA que no fueron incinerados terminan en el vertedero (Tsikati, 2019). Por último, la incineración no destruye

los remanentes de pesticidas que los EVA pudieran contener, y estos remanentes pueden filtrar sustancias químicas peligrosas al aire, suelo y agua (Lwin, 2023).

6. Revalorización de los envases vacíos de agroquímicos

En la actualidad, la disposición de los envases vacíos de agroquímicos (EVA) carece de un enfoque adecuado, ya que a menudo terminan en vertederos o son enviados a la incineración. Sin embargo, ambos métodos son conocidos por su impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, es crucial adoptar prácticas de manejo de residuos que sean respetuosas con el ecosistema y promuevan la sostenibilidad ambiental.

Una práctica que se ajusta al paradigma de la economía circular es la revalorización de los EVA, en donde este tipo de residuo se transforma en algún producto de alto valor añadido (Galati y Scalenghe, 2021).

La revalorización de este tipo de residuos se ha demostrado factible siempre y cuando los contaminantes de los remanentes de pesticidas no excedan el 5% del peso total del envase. Se ha demostrado que es posible eliminar la mayor parte de las sustancias

remanentes de pesticidas, alcanzando niveles por debajo del límite legal mediante la técnica del “Triple lavado” (Eras y col., 2017). Esta técnica consiste en llenar con agua limpia el envase a un nivel de aproximadamente un cuarto de su capacidad; posteriormente, el recipiente se agita durante al menos 30 segundos para garantizar que el agua cubra todas las superficies y rincones. Después de drenar el agua lavada, el procedimiento se repite dos veces, utilizando cada vez agua fresca (Lwin, 2023). Se ha demostrado que esta práctica reduce significativamente la cantidad de residuos químicos presentes en el envase, alcanzando niveles por debajo del límite legal, permitiendo su revalorización de manera segura (Eras y col., 2017). Un aspecto fundamental del proceso de triple lavado radica en que el agua utilizada para realizar el lavado se integra directamente al tanque de mezcla del fertilizante, evitando así cualquier desperdicio de agua. Esto no sólo previene la contaminación del agua y del suelo, sino que también reduce los riesgos para la salud (SAGARPA, 2012).

Es importante implementar medidas con la finalidad de asegurar un manejo seguro para la revalorización de los EVA. Una de estas medidas es el uso adecuado del equipo de Protección Personal (EPP), el cual incluye

guantes, lentes de seguridad, y uso de camisa manga larga; además, es de gran importancia otorgar una capacitación exhaustiva sobre los riesgos asociados y los procedimientos correctos de manipulación. El uso de EPP y la capacitación proporciona al personal del manejo de este tipo de residuo las herramientas para proteger su salud, mientras realizan sus tareas (SAGARPA, 2012).

La revalorización de los EVA puede ser mecánica o química. La revalorización mecánica es una de las soluciones más comunes para la eliminación de los EVA (Galati y Scalenghe, 2021). En este proceso, los envases se separan inicialmente, luego se trituran y peletizan. Posteriormente, pasan por ciclos de procesamiento de conversión e inyección para finalmente ser reprocesados y mezclados, produciendo un nuevo componente. Es importante destacar que durante este proceso no se modifica la composición química del material (Ángeles-Hurtado y col., 2021). Algunos productos que se han fabricado a partir de la revalorización de EVA incluyen bancos de parque, postes de madera plástica para jardines, tuberías de drenaje, alfombras, traviesas de ferrocarril, revestimiento para cajas de camiones, y caminos de plástico (Pratelli y col., 2022).

Por otro lado, la revalorización química consiste en la descomposición de los polímeros, contenidos en los EVA, en monómeros destinados a la producción de nuevos productos y otros compuestos de alto valor (Galati y Scalenghe, 2021). Las tecnologías de revalorización más atractivas son la pirólisis y la gasificación (Vlasopoulos y col., 2023). En la pirólisis, los EVA se calientan a altas temperaturas en un ambiente sin oxígeno, con lo cual se descomponen en productos gaseosos, líquidos y sólidos. Estos productos pueden incluir gases combustibles (como metano y monóxido de carbono), líquidos (como aceites y alquitranes), así como carbón sólido (Roy y Dutta, 2019). Por otra parte, la gasificación implica la reacción del material orgánico con una cantidad limitada de oxígeno o vapor de agua a altas temperaturas. Esto produce un gas combustible llamado gas de síntesis, que consiste principalmente en monóxido de carbono e hidrógeno (Pratelli y col., 2022).

7. Perspectivas

La revalorización de los EVA es un tema crucial en el contexto actual, dado el impacto ambiental significativo asociado con su uso e inadecuado desecho. La adopción de

prácticas de revalorización para este tipo de productos puede generar significativas mejoras medioambientales.

Por un lado, la revalorización implica una reducción de residuos, ya que estos procesos ayudan a disminuir la cantidad de plástico que termina en vertederos. Además, conlleva a la conservación de recursos naturales al reprocesar los EVA, dado que la fabricación de plástico a menudo requiere recursos no renovables como el petróleo. Por ello, la revalorización de estos envases posibilita la conservación de dichos recursos, y se reduce la dependencia de materias primas no renovables.

Por otro lado, es posible disminuir la contaminación y reducir el consumo de energético, pues la producción de plástico a partir de materias primas vírgenes consume una gran cantidad de energía.

8. Conclusiones

En este trabajo se han presentado detalladamente los impactos ambientales asociados con los envases vacíos de agroquímicos, los cuales son residuos peligrosos con efectos significativos en el medio ambiente y la salud pública. Los

métodos de disposición final de estos envases suelen involucrar la deposición en vertederos o la incineración; estos métodos han contribuido a la contaminación de cuerpos de agua, visual y atmosférica, y han causado riesgos para la salud humana.

Además de los impactos directos mencionados, es fundamental reconocer que la disposición inadecuada de los EVA también representa una pérdida de recursos valiosos que podrían ser reutilizados o revalorizados. Es decir, los EVA pueden transformarse, mediante métodos mecánicos o químicos, en nuevos productos de valor; esto posibilita reducir la necesidad de utilizar recursos naturales y minimizar el impacto ambiental asociado con su manejo inadecuado.

Por lo tanto, se observa que la adopción de prácticas de revalorización de los EVA no sólo beneficiaría al medio ambiente al reducir la contaminación y la sobreexplotación de recursos, sino que también tendría un impacto positivo en la salud pública y contribuiría a la construcción de una sociedad más sostenible para las generaciones futuras.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONAHCYT por el apoyo económico a través de la beca de manutención (835894) para los estudios de posgrado de Angélica Ávila Anguis. Asimismo, se agradece al Laboratorio Nacional CONAHCYT de Biocombustibles Sólidos (BIOENER) (Apoyo LNC-2023-40). De igual manera, el Grupo Procesos Sustentables de Producción de Bioproductos (PSPB) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro apoya mediante becas de manutención a Dulce María Murguía Aguilar y Juan Jesús Reséndiz Luna.

Referencias bibliográficas

Aguilar-Murguía, D. M., Martínez-Guido, S. I., García-Trejo, J. F., Hernández, S., y Gutiérrez-Antonio, C. (2022). Optimal configuration of a biodiesel production network using oil from black soldier fly larvae. *Computer Aided Chemical Engineering*, 51, 901–906. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95879-0.50151-X>

Ángeles-Hurtado, L. A., Rodríguez-Reséndiz, J., Salazar-Colores, S., Torres-

Salinas, H., y Sevilla-Camacho, P. Y. (2021). Viable Disposal of Post-Consumer Polymers in Mexico: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.749775>

Brown, S. (2019, 29 julio). Sustainability and the Future of Food. www.linkedin.com. <https://www.linkedin.com/pulse/sustainability-future-food-scott-brown>

CEPAL, FAO, y IICA. (2021). *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022 (Vol. 1)*.

Escudero-Enríquez, E., Lara Montaña, O.D., Martínez Guido, S.I., y Gutiérrez-Antonio, C. (2023). Bagazo de agave, la otra cara (valiosa) de la producción de tequila. *Naturaleza y Tecnología*, Mayo Agosto 2023, 55-67.

Gutiérrez-Antonio, C., Gómez-Castro, F. I., de Lira-Flores, J. A., y Hernández, S. (2017). A review on the production processes of renewable jet fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 709–729. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.108>

INECC. (2018). Estudios sobre el uso de plaguicidas en México. 1, 1–14. Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/file/728079/141_2022_Estudios_plaguicidas_Mexico_1980-2018.pdf

Jackson, T. (2009). *Prosperity Without Growth: Economics for a Finite Planet (1ª Edición)*, Routledge.

Kristiawan, R. B., Imaduddin, F., Ariawan, D., Ubaidillah, y Arifin, Z. (2021). A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. *Open Engineering*, 11(1), 639–649. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>

Martínez-Guido, S. I., Ríos-Badrán, I. M., Gutiérrez-Antonio, C., y Ponce-Ortega, J. M. (2019). Strategic planning for the use of waste biomass pellets in Mexican power plants. *Renewable Energy*, 130, 622–632. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.084>

OECD. (2023). Agriculture and the environment. Disponible en: <https://www.oecd.org/en/topics/agriculture-and-environment.html>

Romero-Izquierdo, A. G., Gómez-Castro, F. I., Gutiérrez-Antonio, C., Hernández, S., y Errico, M. (2021). Intensification of the alcohol-to-jet process to produce renewable aviation fuel. *Chemical Engineering and*

Processing - Process Intensification, 160, 108270.

<https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108270>

SAGARPA. (2012). Plan de Manejo y Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas PLAMREVP. 39.

<http://www.cesaveq.org.mx/cesa3/page/dctos/inocuidad/plamrevp.pdf>

SENASICA. (2004). *Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo*. 1, 1–14.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL_PARA_EL_BUEN_USO_Y_MANEJO_DE_PLAGUICIDAS_EN_CAMPO.pdf

Stahel, W. R. (2010). *The Performance Economy: 2nd Edition*. https://www.globaleu.org/wp-content/uploads/THE_PERFORMANCE_ECONOMY1.pdf

Eras, J., Costa, J., Vilaró, F., Pelacho, A. M., Canela-Garayoa, R., y Martin-Closas, L. (2017). Prevalence of pesticides in postconsumer agrochemical polymeric packaging. *Science of The Total Environment*, 580, 1530-1538. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.139>

Galati, A., y Scalenghe, R. (2021). Plastic end-of-life alternatives, with a focus on the agricultural sector. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 32, 100681. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100681>

Garbounis, G., Karasali, H., y Komilis, D. (2022). A Life Cycle Analysis to Optimally Manage Wasted Plastic Pesticide Containers. *Sustainability*, 14(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su14148405>

Iravanian, A., y Ravari, S. O. (2020). Types of Contamination in Landfills and Effects on The Environment: A Review Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 614(1), 012083. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012083>

Krook, J., Svensson, N., y Eklund, M. (2012). Landfill mining: A critical review of two decades of research. *Waste Management*, 32(3), 513-520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.015>

Lwin, H. T. (2023). Comparative Analysis of Open Burning and Triple Rinsing Method for Empty Pesticide Container Management: A Review. *Open Access Library Journal*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.4236/oalib.1110380>

Montoya R, M. L., Restrepo M., F. M., Moreno T, N., y Mejía G, P. A. (2014). Impacto del manejo de agroquímicos, parte alta de la microcuenca Chorro Hondo, Marinilla, 2011. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 32(2), 26-35.

Pratelli, A., Cinelli, P., Seggiani, M., Strangis, G., y Petri, M. (2022). Agricultural Plastic Waste Management. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 18, 1312-1319. <https://doi.org/10.37394/232015.2022.18.124>

Roy, P., y Dutta, A. (2019). Life Cycle Assessment (LCA) in Municipal Waste Management Decision Making. En S. M. Al-Salem (Ed.), *Plastics to Energy* (pp. 377-402). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00015-7>

Singh, M. V., Kumar, S., y Sarker, M. (2018). Waste HD-PE plastic, deformation into liquid hydrocarbon fuel using pyrolysis-catalytic cracking with a CuCO₃ catalyst. *Sustainable Energy & Fuels*, 2(5), 1057-1068. <https://doi.org/10.1039/C8SE00040A>

Tsikati, A. F. (2019). Proposed model for handling pesticide containers by agriculture teachers in eswatini. *Uneswa Journal of*

Agriculture.

<http://ojs.uneswa.ac.sz/index.php/uja/article/view/424>

Vaverková, M. D. (2019). Landfill Impacts on the Environment—Review. *Geosciences*, 9(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>

Vlasopoulos, A., Malinauskaite, J., Żabnieńska-Góra, A., y Jouhara, H. (2023). Life cycle assessment of plastic waste and energy recovery. *Energy*, 277, 127576. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127576>