



Ingeniería y competitividad

ISSN: 0123-3033

ISSN: 2027-8284

Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

Gonzalez-Delgado, Angel; Cuenca, Martha; Martinez, Edwin; Rincón, Brahian
Evaluación ambiental asistida por computador del proceso de producción de
hidromiel a escala piloto en el Departamento de Boyacá y Bolívar (Colombia)
Ingeniería y competitividad, vol. 24, núm. 1, e2211112, 2022, Enero-Junio
Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

DOI: <https://doi.org/10.25100/iyc.24i1.11112>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291371829021>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

Computer-aided environmental evaluation of the pilot-scale mead production process in the Department of Boyacá and Bolívar (Colombia)

INGENIERÍA QUÍMICA

Evaluación ambiental asistida por computador del proceso de producción de hidromiel a escala piloto en el Departamento de Boyacá y Bolívar (Colombia)

Angel Gonzalez-Delgado^{1§} , Martha Cuenca¹ , Edwin Martinez¹ , Brahian Rincón¹ 

¹Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química, Grupo de investigación en Nanomateriales e Ingeniería Asistida por Computador (NIPAC), Cartagena, Colombia

[§]agonzalezd1@unicartagena.edu.co, mcuencaq@unicartagena.edu.co, emartinezal@unicartagena.edu.co,
brincons@unicartagena.edu.co

Recibido: 31 de marzo de 2021 – **Aceptado:** 18 de junio de 2021

Abstract

The sustainable growth of the beekeeping production chain has become very important in recent years, by the development of industrial processes and activities that promote it. Mead is the name given to a type of wine that is produced from the alcoholic fermentation from diluted honey. It is one of the oldest drinks on record and is highly desirable and sought after in Northern Europe. In Colombia, mead production is done at a small scale. In this work, the environmental impacts associated with an existing mead plant located in the Municipality of San Mateo, Boyacá, were evaluated. Additionally, the possible impacts generated of implementing a production plant in the Department of Bolívar were assessed. The analysis was carried out using the WARGUI diagnostic tool, an open-source software that allows evaluating both the impacts produced and those consumed by the process, in 8 different categories. This software allows to carry out a study and present alternatives related to the use of fuels and waste, information that contributes to improving the sustainability of the process. The results that stand out are that there was no considerable difference between the impacts caused to the environment of the pilot plant in Boyacá and the simulated one in the Department of Bolívar and, in general, both plants presented a sustainable behavior from the environmental point of view.

Keywords: environmental analysis, WAR algorithm, mead.

Como citar:

González-Delgado A, Cuenca M, Martínez E, Rincón B. Evaluación ambiental asistida por computador del proceso de producción de hidromiel a escala piloto en el Departamento de Boyacá y Bolívar (Colombia). INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD. 2022;24(1):e2211112. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i1.11112>



Este trabajo está licenciado bajo una Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0

Resumen

El desarrollo de procesos y actividades industriales que promueven el crecimiento sostenible de la cadena de producción apícola se ha vuelto muy importante en los últimos años. Hidromiel o *mead* es el nombre dado a un tipo de vino que se produce a partir de la fermentación alcohólica de la miel de abejas diluida; es una de las bebidas más antiguas y apetecida en el norte de Europa. En Colombia, la producción de hidromiel se da a pequeña escala. En este trabajo se evaluaron los impactos ambientales asociados a una planta existente de hidromiel ubicada en el Municipio de San Mateo Boyacá. Adicionalmente, se valoraron los posibles impactos que se generarían en el momento de implementar una planta de producción en el Departamento de Bolívar. El análisis se realizó usando la herramienta de diagnóstico WARGUI, un software de código abierto que permite evaluar tanto los impactos producidos como los consumidos por el proceso, en 8 categorías diferentes. Esta herramienta permitió realizar un estudio y presentar alternativas relacionadas con el uso de combustibles y residuos, información que contribuye a mejorar la sostenibilidad del proceso. Los resultados que se destacan son que no se presentó una diferencia considerable entre los impactos ocasionados al ambiente de la planta piloto de Boyacá y la simulada del Departamento de Bolívar y, que en general, ambas plantas presentaron un comportamiento sostenible desde el punto de vista ambiental.

Palabras clave: *análisis ambiental, algoritmo WAR, hidromiel.*

1. Introducción

Colombia es uno de los países con mayor biodiversidad por metro cuadrado del mundo⁽¹⁾, esta característica, y la variedad de pisos térmicos que posee, representan un ambiente propicio para el desarrollo de la industria Apícola. La necesidad de aumentar e impulsar la apicultura en Colombia ha ocasionado la conformación de asociaciones⁽²⁾ a lo largo del territorio nacional con el fin de regular la actividad económica y generar, mediante la comercialización de productos derivados como la miel, polen, propóleos, jalea real y otros, un bienestar económico y social a las múltiples familias beneficiarias. Con el objetivo de buscar nuevas alternativas que complementen el portafolio de producto ofrecido al consumidor se opta por la transformación de la miel para producir vino de miel (Hidromiel)⁽³⁾.

A nivel nacional existen solo dos plantas piloto para la producción de hidromiel con una capacidad de 80-100 L, ubicadas en Boyacá y Huila, las cuales han representado una alternativa para ampliar los ingresos de las asociaciones de apicultores, diversificando el portafolio de productos ofrecido por las mismas⁽⁴⁾.

El reciente interés por generar procesos sostenibles ha llevado a qué pequeñas, medianas y grandes industrias se interesen por su impacto ambiental, y cómo pueden remediar los daños ambientales que se ocasionen⁽⁵⁾. La agencia Americana para la conservación del medioambiente EPA ha desarrollado un software de libre acceso llamado WAR-GUI, es un programa en el que utilizando datos como balance de masa y consumo energético se puede realizar un diagnóstico de los impactos producidos o consumidos por cualquier proceso, sin importar su tamaño o tipo de proceso, el software divide los impactos en 8 categorías⁽⁶⁾, lo que contribuye a determinar los impactos que trae la contaminación del proceso, en este trabajo se utilizó este software para evaluar los impactos generados por la planta productora de hidromiel, ubicada en el departamento de Boyacá y la viabilidad ambiental del montaje de una planta en Bolívar, Colombia.

En este sentido, el hidromiel es un producto que ha generado mucho interés en el mercado de productos apícolas, está evaluación servirá como un punto de partida y de comparación frente a procesos de un mayor volumen de producción. Los análisis ambientales han sido desarrollados

por varios autores como ⁽⁷⁾ en el que se realizó la evaluación a una planta productora de aceite de palma, esta investigación permitió encontrar los focos de contaminación y realizar sugerencias y recomendaciones para mejorar dicho proceso.

2. Metodología

2.1. Descripción del proceso

En la Figura 1, se puede observar una fotografía reciente de la configuración de la planta piloto, compuesta por un tanque de calentamiento y mezcla, 2 fermentadores y dos tanques para el proceso de maduración, siendo los equipos principales para el proceso de obtención de hidromiel, todos están construidos en acero inoxidable utilizado en la industria alimenticia ⁽³⁾. Las variables del proceso se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables del proceso

Equipos	Temperatura (°C)	Presión (hPa)
Marmita 1	60	1017
Reactor	17	1017
Separador	17	1017
Marmita 2	55	1017
Filtro	17	1017

Fuente: Elaboración propia.

El proceso productivo de hidromiel a partir de miel de abejas se basó en una planta piloto con capacidad de 80 L ubicada en el municipio de San Mateo, Boyacá. La Figura 2 muestra el diagrama de bloques. El proceso cuenta con una etapa inicial (marmita) donde se adiciona miel (flujo 1) y agua (flujo 2) para formar el mosto. En esta etapa se calienta la mezcla hasta los 60 °C durante 20 min con el fin de disminuir la carga microbiana proveniente de las materias primas. El equipo posee una chaqueta de enfriamiento, la cual adecúa la temperatura del mosto a 17 °C, para luego pasar a la segunda etapa que es la

fermentación. En esta etapa, ingresa el mosto (flujo 3) y se le adiciona 0.02 kg de levadura (flujo 4), obteniendo como resultado la corriente de producto general (flujo 5). Seguido de la etapa de fermentación, se hace circular el flujo 5 a un separador donde se retira el dióxido de carbono, la corriente resultante (flujo 7) se calienta en una marmita a 55 °C y mediante la chaqueta se reduce la temperatura a 17°C. Finalmente se ingresa la corriente 8 a un filtro donde se realiza el trasiego para retirar los sólidos presentes y se obtiene el producto principal (flujo 10).

2.2. Análisis ambiental

La evaluación ambiental del proceso productivo de hidromiel a partir de miel de abejas se llevó a cabo mediante el *software* WARGUI, donde se evaluaron 4 casos de estudios. El caso 1 (base) solo tiene en cuenta los desechos del proceso. En el caso 2 solo se incluyen las corrientes de producto. El caso 3 representa la energía del proceso. En el caso 4 se tienen en cuenta la energía y las corrientes de productos del proceso. El algoritmo WAR introduce el concepto de equilibrio Impacto ambiental potencial (PEI), que implica el impacto ambiental de un flujo a través de los límites del sistema, debido a la masa o energía que cruza estos límites ⁽⁸⁾. Este índice se considera desde dos puntos de vista, la salida de PEI y la PEI generada, mostrados a continuación:

2.2.1. Impactos totales de salida

Mide el impacto de PEI emitido por el proceso, y su uso principal consiste en resolver preguntas sobre la eficiencia ambiental externa del proceso, es decir, la capacidad del proceso para obtener productos finales con una descarga de impacto ambiental potencial mínima. Se calcula con la Ec. (1) (ver tabla 2)

$$I_{\text{out}}^{(\text{t})} = I_{\text{out}}^{(\text{cp})} + I_{\text{out}}^{(\text{ep})} + I_{\text{we}}^{(\text{cp})} + I_{\text{we}}^{(\text{ep})} \quad (1)$$



Figura 1. Planta de producción de hidromiel a escala piloto, San Mateo, Boyacá.
Fuente: Elaboración propia.

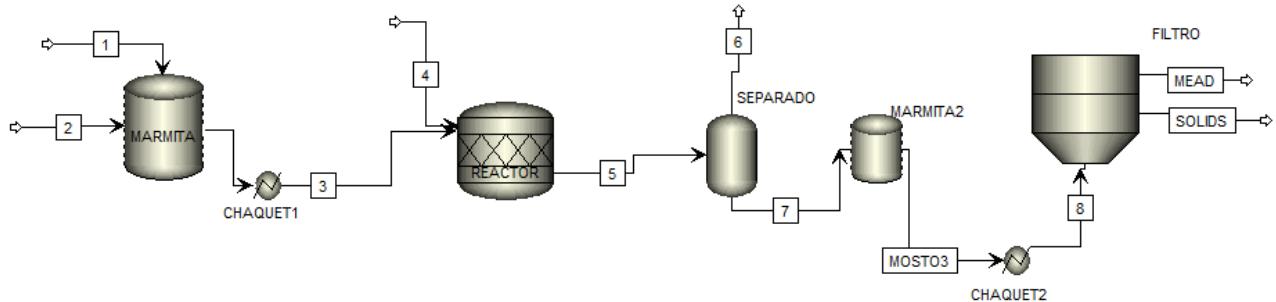


Figura 2. Diagrama de procesos producción de hidromiel a partir de miel de abejas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Definición de términos

Términos	
$I_{\text{out}}^{(t)}$	Impactos totales de salidas
$I_{\text{gen}}^{(t)}$	Impactos totales generados
$I_{\text{out}}^{(\text{cp})}$	Tasa de impactos potenciales de salida
$I_{\text{out}}^{(\text{ep})}$	Tasa impactos de salida relacionado con la energía del proceso
$I_{\text{we}}^{(\text{cp})}$	Tasa de impactos potenciales asociados a la perdida de energía en el proceso
$I_{\text{in}}^{(\text{cp})}$	Impactos de entrada

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Impactos totales generados

Mide la generación de PEI dentro de los límites del proceso y su importancia radica en descubrir la eficiencia ambiental interna del proceso, es decir, cuánto potencial de impacto ambiental se consume en el proceso. Se calcula con la Ec. (2) (ver tabla 2), como se muestra a continuación:

$$I_{\text{gen}}^{(t)} = I_{\text{out}}^{(\text{ep})} - I_{\text{in}}^{(\text{cp})} + I_{\text{out}}^{(\text{ep})} - I_{\text{ep}}^{(\text{ep})} + I_{\text{we}}^{(\text{cp})} + I_{\text{we}}^{(\text{ep})} \quad (2)$$

Además, el algoritmo WAR considera ocho categorías (ver Tabla 3) donde se evalúa la PEI de los productos químicos y el proceso ⁽⁹⁾. Estas categorías se pueden clasificar en dos grupos principales: Impactos toxicológicos locales humanos y ecológicos, conformado por los potenciales de toxicidad humana por ingestión (HTPI), inhalación o exposición dérmica (HTPE), toxicidad acuática potencial (ATP) y potencial de toxicidad terrestre (TTP); e impactos atmosféricos globales y regionales , donde se incluyen el potencial de calentamiento global (GWP), potencial del agotamiento del ozono (ODP), potencial de acidificación (AP) y el potencial de oxidación fotoquímica (PCOP) ⁽¹⁰⁾.

3. Resultados

Como punto de referencia se inició la evaluación con la planta piloto existente en Boyacá donde se tuvo en cuenta 4 casos de estudios. El caso 1 (base) solo incluye los desechos del proceso. En el caso 2 solo se incluyen las corrientes de producto. El caso 3 representa la energía del proceso. En el caso 4 se tienen en cuenta la energía y las corrientes de productos del proceso.

En la Figura 3 se pudo identificar que los impactos generados dentro de la planta, por unidad de tiempo y masa para los cuatro 4 casos son negativos, ya que el proceso dentro de sí mismo no generó daños ambientales debido a la naturaleza orgánica de las materias primas que se

procesan (miel, polen, levadura, agua). Cuando se tiene en cuenta el caso 2, el PEI/kg-P es de 8.1×10^{-2} , valor que estuvo por encima del caso 1 debido a la presencia de etanol y dióxido de carbono, este último, contribuye al aumento de la huella de carbono ⁽¹¹⁾. Respecto a los PEI de salida por unidad de masa, se puede concluir que en general los daños ocasionados al ambiente son mínimos, comparados con procesos como la Producción de Bioetanol Carburante, el cual posee unos impactos totales de salida de 0.311-0.404 PEI/kg-p cuando se utiliza maíz y caña de azúcar como materia prima⁽¹²⁾; en el proceso de producción de hidromiel los máximos valores alcanzados se atribuyen al caso 2 (8.10×10^{-2} PEI/kg-P) y caso 4 (8.39×10^{-2} PEI/kg-P) en los cuales se tienen en cuenta la corriente de producto.

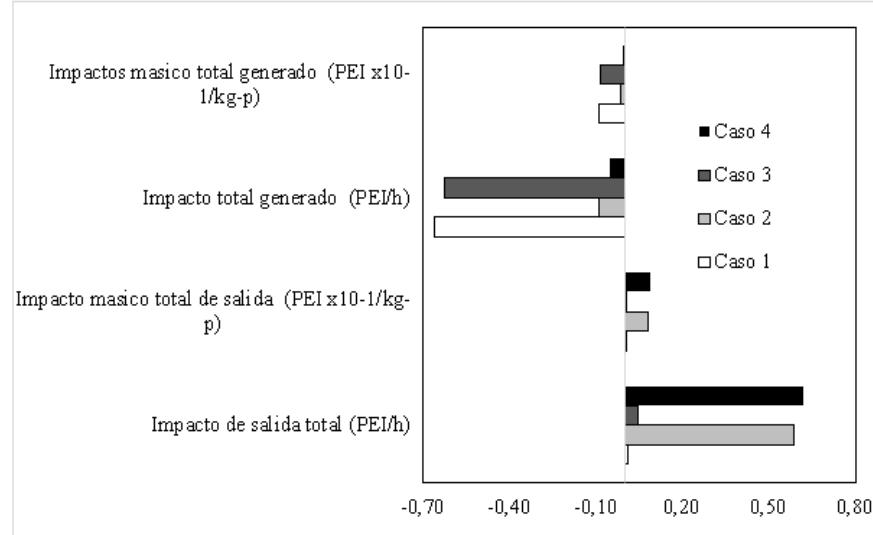
En la Figura 4 se evaluaron los impactos totales potenciales de la planta de Bolívar, los cuales son dependiente del balance global del proceso, valorando el intercambio de materia y energía a través de los límites del sistema para calcular los diferentes índices que proporcionan información acerca de la hostilidad del mismo⁽⁶⁾. Debido a que las plantas en estudio tienen la misma capacidad (80 L)⁽³⁾, el balance de materia es idéntico para ambos procesos, por tal razón los impactos totales generados y de salida asociados al flujo másico (desechos y flujo de producto) son iguales para ambas plantas.

En la Figura 5, se observó que la planta de Boyacá generó un mayor impacto ambiental, debido a la diferencia a favor en el consumo energético entre Boyacá (31.79% MJ/h) y Bolívar (24.74 MJ/h). La temperatura ambiente de la región de San Manteo, que en promedio es 17°C ⁽¹³⁾, hace que se eleve el requerimiento energético de gas natural para calentar y por ende se producen en mayor cantidad de contaminantes que facilitan la formación de lluvias ácidas y calentamiento global^(14,15).

Tabla 3. Categorías de impactos

Grupos	Categorías de impactos	Ecuación	Propiedades termo-físicas
Toxicológicos locales	HTPI	$HTPI, TTP = \frac{1}{LD_{50}}$	Dosis letal LD ₅₀
	TPP		
	ATP	$ATP = \frac{1}{LC_{50}}$	Concentración letal LD ₅₀
humanos y ecológicos	HTPE	$HTPE = \frac{1}{TLV}$	Tasa de liberación de H ⁺
	GWP	$GWP(kg CO_2) = \frac{\int_0^t a_i c_i(t) dt}{\int_0^t a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt}$	Eficiencia radioactiva
	ODP	$ODP = \frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]FCKW - 11} m_i$	Tiempo de vida del compuesto en la atmósfera
	AP	$AP = \frac{V_i}{M_i} \frac{M_{SO_2}}{V_{SO_2}} m_i$	Tasa de rxn con Hidroxilo
Atmosféricos globales y regionales	PCOP	$PCOP (kgC_2H_4) = \frac{\frac{a_i}{b_i(t)}}{\frac{a_{C_2H_4}}{b_{C_2H_4}(t)}} m_i$	Taza de rxn con Ozono

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.** Impactos potenciales de la planta de producción de hidromiel ubicada en Boyacá.

Fuente: Elaboración propia.

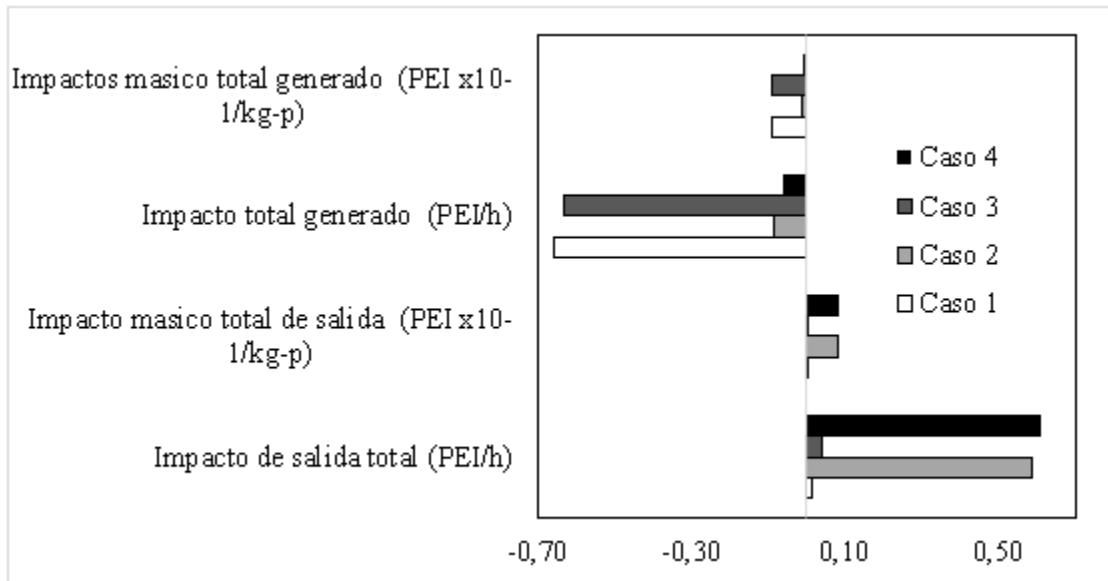


Figura 4. Impactos totales potenciales de la planta de producción de hidromiel ubicada en Bolívar.

Fuente: Elaboración propia.

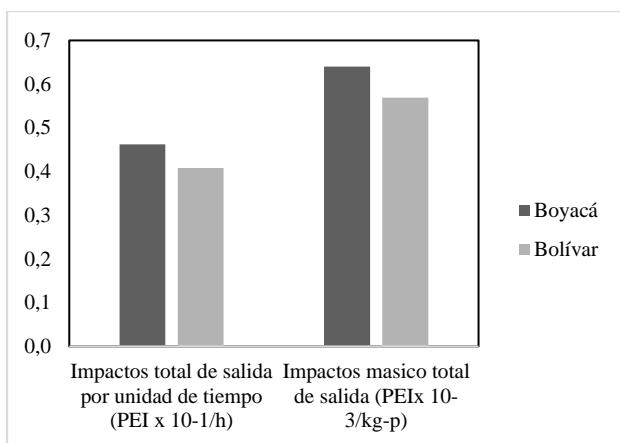


Figura 5. Impactos totales de salida para Boyacá y Bolívar teniendo en cuenta la energía del proceso.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6, se compararon los impactos toxicológicos por unidad de masa generados en las plantas de estudios, donde se tuvo en cuenta la influencia de la energía asociada a los procesos. Se analizó, que la diferencia energética de 7.05 MJ/h a favor de Boyacá, tuvo mayor impacto en la categoría ATP la cual depende del LC₅₀, relacionado con la combustión de la fuente de energía y la producción de vinazas, subproducto generado en la fermentación con alto contenido

orgánico capaz de alterar los cuerpos de agua, colocando en riesgo la vida acuática⁽¹⁶⁾. Los impactos HTPI, HTPE y TTP dependen del flujo de materia prima que cruza los límites del sistema.

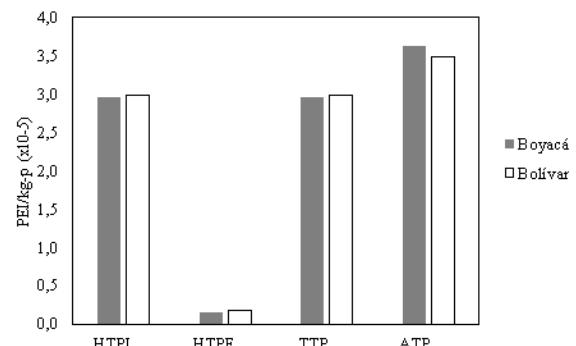


Figura 6. Impactos toxicológicos por unidad de masa, Boyacá y Bolívar. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7, se graficaron los impactos atmosféricos por unidad de masa teniendo en cuenta la energía de los procesos. En general, se pudo observar que un amento en el consumo energético incrementa los impactos atmosféricos, como en la categoría AP y GWP, debido a que la combustión de un mayor volumen de gas generará un incremento en la producción de NO_x y SO_x que

potencializan las lluvias acidas^(17,18) y aumenta las emisiones de dióxido de carbono al ambiente⁽¹⁴⁾. Respecto a la categoría PCOP, se observó una mayor influencia en el Departamento de Bolívar debido a que, las altas temperaturas de la región, facilitan la emisión de compuestos volátiles al ambiente en su mayoría dióxido de carbono⁽¹⁹⁾.

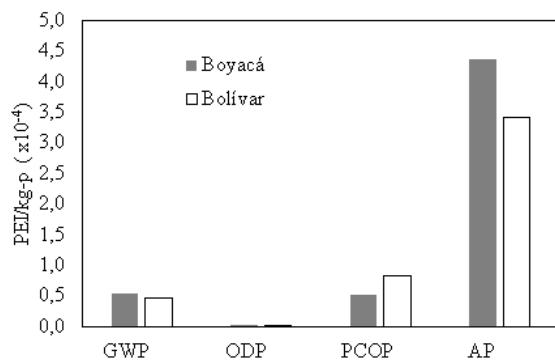


Figura 7. Impactos atmosféricos por unidad de masa, Boyacá y Bolívar. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

El análisis realizado bajo el algoritmo de reducción de residuos (WAR) permitió concluir que debido a que los procesos son prácticamente iguales, los resultados de impactos ambientales no presentan diferencias notables, sin embargo, debido a la diferencia en el consumo energético a favor de Boyacá hay una mayor emisión de compuestos (CO_2 , NO_2 , SO_2 , etc) por parte de la misma, que fomentan problemáticas ambientales como lluvia acida y calentamiento global. Los residuos orgánicos arrojados a cuerpos de agua pueden llegar a afectar la vida acuática, por tal razón se recomienda el aprovechamiento de los mismos como abono. El producto en general, no representan una amenaza en el ecosistema y la salud de las personas. Por último, se evidencia que las 7 categorías de impactos presentaron valores bajos, en algunos casos prácticamente llegando a cero por lo que desde el punto de vista ambiental este proceso podría posicionarse como

una alternativa para aumentar la proliferación de abejas y producción de miel en el departamento de Bolívar.

5. Agradecimientos y declaración de financiación

Los autores agradecen a la Universidad de Cartagena, en especial a la Vicerrectoría de Investigaciones por la financiación del proyecto: Evaluación de la prefactibilidad técnica-económica energética, ambiental y social de una planta de producción de bebidas fermentadas a partir de miel de Abejas en el Departamento de Bolívar utilizando Ingeniería de procesos asistida por computador, en la Sexta Convocatoria para la Financiación de Proyectos de Investigación para Semilleros de Estudiantes de Pregrado Adscritos a Grupos de Investigación Visibles (Categorizados o Reconocidos) en la Plataforma Científica del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Minciencias y Avalados por la Universidad de Cartagena, Resolución 02005 de agosto 30 de 2018 y Acta de compromiso 133-2018.

6. Referencias

- (1) Minciencias. Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo | MINCIENCIAS [Internet]. Colombia: Minciencias. 2016 [cited 2019 Feb 14]. 3. Available from: https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo.
- (2) SIOC. Apicola [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 15]. Available from: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Pages/default.aspx>
- (3) Quicazán M, Cuenca M, Paz A. Producción de hidromiel en el contexto de la apicultura en Colombia. Primera edición. Bogotá:

- Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agraria. Centro Editorial; 2017.
- (4) Apisred. APISRED | Producción de Miel en Colombia | Apicultura en Colombia: - Productos Derivados [Internet]. 2019. 2019 [cited 2019 Feb 14]. Available from: <https://www.apiculturaencolombia.com/website/productos/productos-derivados>
- (5) Nieto M. La responsabilidad social de la organización una herramienta para el desarrollo sostenible. In: Izarra D, editor. Experiencias y perspectivas en ética profesional y responsabilidad social universitaria en Iberoamérica. San Cristobal: BNC; 2016. p. 142–62.
- (6) Gonzalez-Delgado AD, Parejo V, Herrera T. Computer-aided environmental evaluation of bio-hydrogen production from residual biomass of palm cultivation. *Contemp Eng Sci.* 2017;10(16):773–83 <https://doi.org/10.12988/ces.2017.7770>.
- (7) Herrera-aristizábal R, Salgado-dueñas JS, Peralta-Ruiz YY, Gonzalez-Delgado AD. Environmental Evaluation of a Palm-based biorefinery under North-Colombian Conditions. *Chem Eng Trans.* 2017;57:193–8. <https://doi.org/10.3303/CET1757033>
- (8) Meramo-hurtado S, Ojeda-delgado K, Sánchez-Tuirán E. Environmental Assessment of a Biorefinery : Case Study of a Purification Stage in Biomass Gasification. 2018;11(3):113–20 <https://doi.org/10.12988/ces.2018.813>.
- (9) Cardona CA, Marulanda VF, Young D. Analysis of the environmental impact of butylacetate process through the WAR algorithm. *Chem Eng Sci.* 2004 Dec 1;59(24):5839–45 <https://doi.org/10.1016/j.ces.2004.06.043>
- (10) Ramirez-cando LJ, Spugnoli P, Matteo R, Bagatta M, Tavarini Si, Foschi L, et al. Environmental Assessment of Flax Straw Production for Non-. 2017;58:787–92. <https://doi.org/10.3303/CET1758132>.
- (11) Chakana. El vino “responsable”: huella de carbono e impacto ambiental [Internet]. Argentina: Chakana. 21/04/2017. [cited 2021 May 30]. Available from: <https://www.chakanawines.com.ar/blog/el-vino-“responsable”:-huella-de-carbono-e-impacto-ambiental>
- (12) Montoya MI; Quintero JA; Sánchez OJ; Cardona CA. Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia et Technica.* 2005;28(2):187–92. Available from: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revista-ciencia/article/view/6859>.
- (13) Pronóstico del tiempo y condiciones meteorológicas para San Mateo, Boyacá: The Weather Channel | Weather.com [Internet]. The weather channel. 2021 [cited 2021 Feb 10]. Available from: <https://weather.com/es-CO/tiempo/hoy/l/6.40,-72.55?par=google&temp=c>
- (14) Godoy M, Espinoza B. Incidencia del calentamiento global en la flora y fauna del ecuador. Desarrollo local Sostenible [Internet]. 2018 [cited 2021 Feb 10]; Available from: <https://www.eumed.net/rev/delos/31/Maria-Godoy-calentamiento.html>
- (15) Sánchez OJ, Cardona CA, Sánchez DL. Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: Una aproximación cualitativa. *Rev Univ EAFIT.* 2007;43(146):59–79. Available from: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad->

eafit/article/view/773.

- (16) Montoya R M, Quintero S J, Sánchez T Ó, Cardona A C. Environmental impact assessment for ethanol production process using the waste reduction algorithm. *Rev Fac Ing Univ Antioquia*. 2006;(36):85–95. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/343247>.
- (17) Ojeda KA, Herrera AP, Sierra MJ, Tamayo K. Evaluación del impacto ambiental del uso de nanopartículas de alúmina como aditivo de mezclas biodiesel/diésel mediante análisis de ciclo de vida. *Ing Y Compet.* 2015;17(1):133–42. <https://doi.org/10.25100/iyc.v17i1.2208>.
- (18) Granados Sánchez D, López Ríos GF, Hernández García MÁ. La Lluvia Ácida Y Los Ecosistemas Forestales. *Rev Chapingo Ser Ciencias For Y Del Ambient*. 2010;16(2):187–206. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>
- (19) Camargo Y, Bolaño T, Alvarez A. Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico y su contribución dinámica atmosférica. *Intropica*. 2010;5(1):77–86. Available from: <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/155>.