

Evaluación del impacto ambiental en el proceso de elaboración de panela mediante el Análisis de Ciclo de Vida

W.F. Quezada-Moreno^{1*}, W.D. Quezada-Torres², M. Proaño-Molina³, M. Mora-Gutiérrez¹, M. Vivas-Vivas¹, A. Jiménez-Sánchez¹, E. González-Suaréz⁴, F. Molina-Borja⁵, Z. Zambrano-Ochoa⁵

¹Universidad de Guayaquil (UG), Facultad de Ciencias Agrarias, Ecuador. ²Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEG), Facultad de Posgrados e Investigación. Ecuador. ³Universidad de las Américas (UDLA), Facultad de Posgrados. Ecuador. ⁴Universidad Central de Las Villas. Facultad de Ingeniería Química. Cuba. ⁵Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Ecuador

Environmental impact Assessment in the panela production process through the Life Cycle Analysis

Avaluació de l'impacte ambiental en el procés d'elaboració de panela mitjançant l'Anàlisi de Cicle de Vida

RECEIVED: 8 JUNE 2020; REVISED: 23 JULY 2020; ACCEPTED: 18 SEPTEMBER 2020

SUMMARY

The panela activity is dispersed in all the country in production units and the linkage productive of the agroindustry from the cultivation of sugar cane, process and commercialization are affected by unfriendly and inefficient productions. The aim of the research was to analyze the environmental impact of panela production by using the Life Cycle Analysis in the different phases of the product's life as an alternative for identifying and solving environmental problems and as a technologically sustainable experience for the development of the panela sector. The cultivation and process are evaluated through the input and output of materials and negative environmental effects according to the categories of impact in health areas, ecosystem and global warming by using the environmental modeling of the SimaPro7 software and as impact methodology the eco-indicator 99. Incorporate sustainable technological improvements, good agricultural and manufacturing practices, with the intervention of the government, the industry and the university, are viable options to mitigate the impacts caused by this agrobusiness.

Keywords: panela industry, environmental impact, sustainability, ecoindicator.

RESUMEN

La actividad panelera está dispersa en todo el país en unidades de producción y el encadenamiento productivo de la agroindustria desde el cultivo de caña, proceso y comercialización se ven afectados por producciones poco amigables y escasamente eficientes. El objetivo

del estudio consistió en analizar el impacto ambiental de producción de panela utilizando como herramienta de evaluación el Análisis del Ciclo de Vida en las diferentes fases de vida del producto como alternativa de identificación y solución de problemas ambientales como estándar de relevancia tecnológica, económica, social y ecológica válida para el desarrollo del sector panelero. Se evalúa el cultivo y proceso a través del inventario de entrada y salida de materiales y efectos negativos ambientales de acuerdo a las categorías de impacto en áreas de salud, ecosistema y calentamiento global, utilizando el modelado ambiental del software SimaPro7 y como metodología de impacto el eco-indicador 99. La etapa industrial de la panelera causa mayor daño ambiental que la etapa agrícola afectando la salud, el ecosistema y los recursos. Incorporar mejoras tecnológicas sostenibles, buenas prácticas agrícolas y de manufactura, con la intervención del gobierno, la industria y la universidad, son opciones viables para mitigar los impactos que causa esta agroindustria.

Palabras clave: industria panelera, impacto ambiental, sostenibilidad, ecoindicador.

RESUM

L'activitat panelera està dispersa en tot el país en unitats de producció i l'encadenament productiu de l'agroindústria des del cultiu de canya, procés i comercialització es veuen afectats per produccions poc

*Corresponding author: mfrancisco473@gmail.com

amigables i escassament eficients. L'objectiu de l'estudi va consistir en analitzar l'impacte ambiental de producció de panela utilitzant com a eina d'avaluació l'Anàlisi del Cicle de Vida a les diferents fases de vida del producte com a alternativa d'identificació i solució de problemes ambientals com a estàndard de rellevància tecnològica, econòmica, social i ecològica vàlida per al desenvolupament del sector paneler. S'avalua el cultiu i procés a través de l'inventari d'entrada i sortida de materials i efectes negatius ambientals d'acord a les categories d'impacte en àrees de salut, ecosistema i escalfament global, utilitzant el modelatge ambiental del programari SimaPro7 i com a metodologia d'impacte el eco-indicador 99. l'etapa industrial de la panelera causa major dany ambiental que l'etapa agrícola afectant la salut, l'ecosistema i els recursos. Incorporar millores tecnològiques sostenibles, bones pràctiques agrícoles i de manufactura, amb la intervenció del govern, la indústria i la universitat, són opcions viables per mitigar els impactes que causa aquesta agroindústria.

Paraules clau: indústria panelera, impacte ambiental, sostenibilitat, ecoindicador.1.

1. INTRODUCCIÓN

La industria panelera transforma el jugo de la caña de azúcar en panela y su efecto en familias campesinas del sector rural en términos de empleo y valor nutricional, es importante. Este sector involucra actividades de producción de caña, operaciones de manufactura y distribución de la producción, contribuyendo con alimento y trabajo. El escaso apoyo gubernamental, insuficiente uso de tecnología (proceso tradicional), calidad e inocuidad del producto y desconocimiento de sus propiedades nutritivas influyen en su desarrollo, lo que la convierte en una industria más de carácter artesanal que industrial afectando la sostenibilidad, la competitividad, la seguridad y la soberanía alimentaria. Soberanía alimentaria que debe sustentarse con producciones ambientalmente sostenibles como respuesta a la crisis alimentaria, pobreza y efectos climáticos¹.

El sector panelero se desarrolla en unidades de producción en las 24 provincias del país y por su encadenamiento productivo, el ambiente se ve afectado por producciones poco amigables y escasamente eficientes. A pesar de la informalidad, el uso de materiales combustibles (bagazo, madera y neumáticos) y de sustancias químicas(carbonatos,óxidos, hidroxidos e hidrosulfito de sodio) en el proceso de clarificación de jugos, esta industria se ubica en la categoría II y para operar necesita una ficha ambiental²; esta categorización supone poco daño ambiental y por consiguiente no se requieren estudios de impacto ambiental para operar. Por la informalidad, tecnología utilizada y uso de materiales contaminantes para el proceso y combustión, esta categoría contradice la realidad de operación actual de una industria panelera. Cambiar este escenario significa definir los impactos para establecer medidas correctivas a travez de estudios ambientales con metodologías

actualizadas y aceptadas internacionalmente, como el análisis del ciclo de vida.

La evaluación del impacto ambiental, es un proceso que permite a quienes toman decisiones identifiquen los posibles impactos ambientales de los proyectos propuestos, a fin de evaluar los enfoques alternativos para diseñar e incorporar medidas adecuadas de prevención, mitigación, gestión y monitoreo³. Se ha convertido en el mundo empresarial y gubernamental, en acciones para entender y gestionar los riesgos y oportunidades para la introducción del conocimiento científico sostenido mediante el análisis del ciclo de vida de un producto o proceso, con fines de restringir su impacto al entorno en los momentos de la producción. Además, de decisiones y que son la base de la democracia ambiental y la buena gobernanza⁴.

La preocupación mundial por el cambio climático, las evidencias científicas sobre su existencia, y las consecuencias que este cambio traería (alteración en los patrones de precipitaciones, extinción de especies, cambio en los rendimientos de las cosechas, escasez hídrica, aumento del nivel de los océanos, etc.), han motivado el diseño, desarrollo e implementación de acciones de mitigación y adaptación para reducir sus impactos negativos, no sólo por parte de los gobiernos, sino también de las empresas⁵, y que bien pueden ajustarse a la industria panelera.

La evaluación del ciclo de vida (LCA) o análisis de ciclo de vida (AVC) y en nomenclatura inglesa Life cycle assessment (LCA), es una herramienta para examinar el impacto ambiental de un producto en cada paso de su vida. Estima los posibles impactos⁶, y son enfoques científicos detrás de un número creciente de políticas ambientales modernas y apoya la toma de decisiones empresariales en el contexto del Consumo y Producción Sostenibles (SCP)⁷. Como herramienta de evaluación el LCA, analiza, calcula y evalúa los impactos ambientales durante todo el ciclo de vida de un producto, material o servicio en la cadena de producción⁸, para que todos los residuos sean devueltos a la tierra⁹, sin causar daño ambiental. Permite reducir la energía, las emisiones y los impactos en los desechos¹⁰. Es un sistema inteligente de economía sostenible, donde nada se desecha todo se recicla y se aprovecha evitando contaminación. Según la norma ISO 14001 2015, es el requisito para que las organizaciones adopten una perspectiva ciclo de vida de los productos que generan o fabrican¹¹.

En la norma UNE-EN ISO 14040 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia)¹², define el Análisis de Ciclo de Vida como una técnica que trata los aspectos medioambientales y los impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto, mediante: la recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema del producto (producto/proceso en estudio); la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con las entradas y salidas identificadas en el inventario; la interpretación de los resultados de las fases de análisis de inventario y evaluación de impacto de acuerdo con el objetivo del estudio¹³ y son necesarios para tomar acciones ambientales para mitigar sus impactos.

Analizar el impacto ambiental en la producción de panela en las diferentes fases del ciclo de vida del producto, contribuye a la toma de acciones ejecutivas tecnológicamente ambientales para desarrollarlas hacia a una verdadera seguridad y soberanía alimentaria en un sistema de economía circular sostenible con ahorro, estabilidad y con beneficio económico y social de la empresa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La extracción de los recursos naturales y su transporte; manufactura del producto; posterior transporte y distribución; hasta su uso y disposición final^{14,15}. El estudio se basa en información del cultivo, producción de panela y otros productos obtenidos en una fábrica tradicional “principalmente derivados de bases de datos de LCA como ecoinventarios”¹⁶. Los gases generados se miden con el analizador industrial de gases de combustión E-instrument 4400.

Se aplica el ACV como herramienta de evaluación de impactos ambientales asociados a un producto a través de un inventario de entradas y salidas del sistema¹⁷. Los efectos según las categorías de impacto en áreas de protección de: salud, calidad del ecosistema y recursos naturales, son valorados como alternativa viable para tomar decisiones sobre problemas ambientales.

Se realiza inventarios (tabla 1) y balance de materiales (figura 1), se interpreta resultados de una unidad de producción con capacidad de 10 t caña/día, siendo la panela producto único de elaboración.

Se cuantifican y agrupan los impactos ambientales del sistema, proceso, servicios y producto, mediante la elaboración de inventarios de insumos, materiales y las emisiones de residuos durante el ciclo de vida de fabricación de panela.

La evaluación ambiental se realizó utilizando la metodología del análisis de ciclo de vida, la tabulación de los resultados a través del modelado ambiental utilizando el software Simapro⁷¹⁸ y como metodología de interpretación de resultados de las categorías de impacto (uso del suelo, combustibles fósiles, capa de ozono,

cambio climático, minerales, entre los principales) el eco-indicador 99.

Tabla 1. Inventario para la producción de panela.

Principales entradas y salidas	Valores
ETAPA AGRICOLA	
H ₂ O superficial (m ³)	125
Terreno cultivo (ha)	0,2
Fábrica (m ²)	3000
Semilla de caña (kg)	16 000
Fertilizantes (gallinaza) (kg)	31,81
Preparación suelo (ha)	0,2
Siembra (ha)	0,2
Transporte (km)	100
ETAPA INDUSTRIAL	
Caña (t/día)	10
Hidrosulfito de sodio (kg)	5
Carbonato de calcio (kg)	10
Bagazo (t)	4,4
Energía eléctrica (kw/mes)	1200
Combustibles motor diésel (L/d)	56,7
Distribución panela (km)	200
Panela kg/d	1056
Emisiones al agua	
Sólidos (kg)	71,6
Vertimientos al agua m ³ /d	0,306
DQO (kg)	0,38
DBO ₅ (kg)	0,245
Diésel (kg)	19
Acido cítrico	0,728
Clarificantes químicos (kg)	7,5
Sólidos suspendidos (kg)	100
Emisiones al aire	
PM10 (kg)	23960
CO ₂ biogénico (kg)	2396
N ₂ O (kg)	1,23
CH ₄ (kg)	20,58
Emisiones al suelo	
Cenizas (kg)	90
Cachaza (kg)	800

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el proceso de fabricación de panela se generan residuos líquidos, residuos sólidos, ruido y gases que afectan al ambiente. Las aguas residuales en un día de trabajo alcanza los 200 litros (11,3 ° Brix y pH de 5,11),

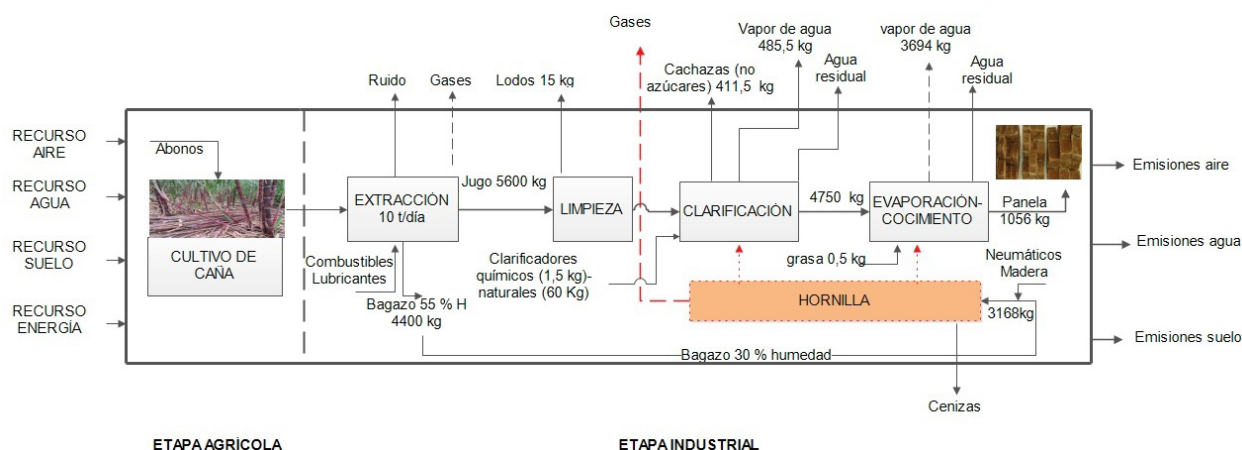


Figura 1. Entradas y salidas de materiales en la producción de panela.

son generadas por el lavado de materiales, moldes y tinas de purificación y concentración del jugo, y se vierten a los afluentes. Tomar medidas correctivas a través de la construcción de tanques de oxidación y purificación contribuye a mitigar el problema y aprovechar este recurso en el cultivo y fabrica.

El bagazo, la cachaza y la ceniza están dentro del límite permitido y se utilizan como combustible, alimentación animal y abono respectivamente. Sin embargo, es visible el hecho de que cachaza (800 kg) y ceniza (90 kg) son arrojadas en zanjas que conducen a afluentes, por lo que, es necesario tomar medidas correctivas para dar buen uso a estos residuos, especialmente en el aprovechamiento tecnológico de la cachaza en la fabricación alimentos nutritivos ricos en minerales y elaboración de bloque nutritivos (bagazo-cachaza) como alimento animal.

Elaborar otros materiales como compost¹⁹ o bloques ecológicos²⁰ de bagazo-ceniza-cemento para uso en la construcción, se convierte en alternativas de aprovechamiento de estos productos.

En cuanto al ruido, los límites permisibles de presión sonora (medida zonómetro) utilizando un equipo EX-TECH Instruments, serie: EIC 407730, rango entre 26 a 130 dB, dentro de una zona industrial, es de 75 dB(A) en una exposición a ruido de ocho horas diarias²¹ sin embargo, el molino de caña proporciona valores de 83,42 dB(A) de ruido, superando el límite permisible por lo que, que deben tomarse medidas para no afectar al personal, mediante uso de motores eléctricos.

La unidad panelera opera en promedio 12 horas diarias y genera materiales como: bagazo, lodos, cachaza (no azúcares aglutinados), gases y además ruido, entre otros. La generación de gases expulsados del motor del molino de caña, arroja valores promedios de: monóxido

de nitrógeno (NO) de 429 ppm y monóxido de carbono (CO) de 3149 ppm.

Los gases promedio expulsados en la chimenea producto de la combustión en la hornilla cuando utiliza bagazo emite 93 ppm de NO y 1095 ppm de CO y la mezcla (bagazo-madera-neumáticos) genera 146 ppm de NO y 4821 ppm de CO; todos medidos en cinco momentos, utilizando un equipo analizador industrial de gases de combustión E-instrument 4400.

En lo que se refiere a la emisión de gases, la OMS propone concentraciones máximas de 10mg/ m³ CO en el aire para una exposición de 15 minutos, 30mg/m³ para un periodo de 1 hora, o 10 mg/m³ para 8 horas²². La Ley de Aire Limpio requiere que la Environmental Protection Agency (EPA), establezca estándares nacionales de calidad del aire del ambiente para los óxidos de nitrógeno como uno de los seis contaminantes de criterio, de carbono (CO) cuando los niveles de CO se elevan al aire libre²³.

En consecuencia, disponer de una hornilla eficiente, con una adecuada combustión del bagazo y con pérdidas de calor mínimas, requiere de un buen diseño y uso de materiales refractarios en la construcción de estas.

Partículas en suspensión o material particulado (PM) como ácidos (nitratos y sulfatos), productos químicos orgánicos, metales y partículas de suelo o polvo^{24,25} provienen del material utilizado y condiciones de la combustión en la hornilla. La norma Americana, señala que la emisión puede darse hasta valores máximos de 0,054 kg de material particulado/10⁶ kcal, en el caso de las paneleras está entre 3 a 2,6 kg/10⁶ kcal²⁶.

El grado de emisión calórica en el entorno de la fábrica está dado por la temperatura de los gases a la salida de la chimenea que se encuentra entre 198°C a 512°C, mientras que el ambiente de trabajo está entre 22°C a

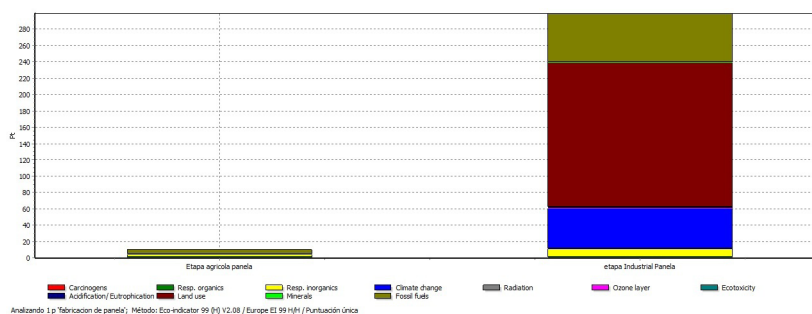


Figura 2. Efecto ambiental de la etapa agrícola e industrial según categorías de impacto

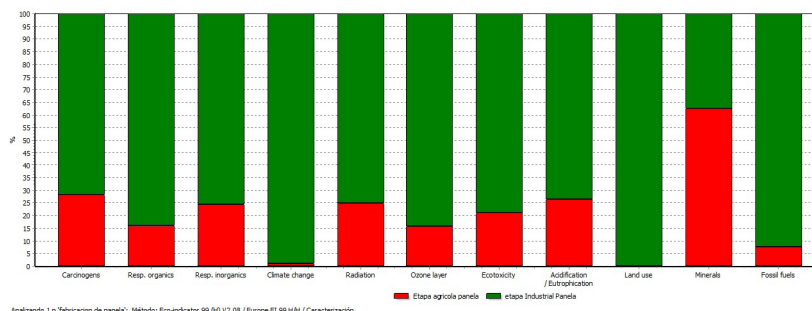


Figura 3. Categorías de impacto del impacto en la etapa industrial

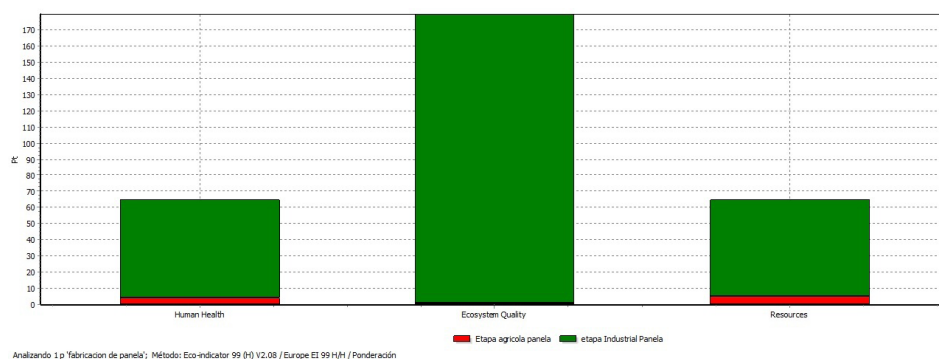


Figura 4. Afección de la etapa industrial en áreas de protección

29°C, considerando que la temperatura promedio de la zona es 18°C a una altura de 1800 nsm.

Los efectos negativos ambientales analizados, de acuerdo a las categorías de impacto afectan áreas de protección y contribuyen al deterioro del ecosistema, salud humana y recursos; son causados en el proceso industrial y su mitigación e inclusive eliminarlos depende de aspectos tecnológicos ambientalmente aplicados en el proceso de fabricación del producto donde el manejo de buenas prácticas de manufactura, eficiencia de la hornilla, combustible utilizado son definitorios.

Al analizar la figura 2 y comparar el efecto ambiental entre la etapa agrícola con la etapa industrial, se determina que la mayor afectación genera la etapa industrial causado por ausencia de controles técnicos en todas las etapas del proceso, mal uso de materiales y manejo incorrecto de descargas de sólidos, líquidos y gases entre los principales. Aspectos que de acuerdo a las categorías de impacto incluyen: uso del suelo para la industria, gases generados producto de los combustibles fósiles en el motor, uso de neumáticos, madera y mala combustión del bagazo en la hornilla determinan el impacto ambiental negativo en la etapa industrial.

La figura 3, muestra las categorías de impacto de la Evaluación del Ciclo de Vida generados en la etapa industrial de fabricación de panela edulcorante utilizado para alimentación. Entre los principales indicadores de impactos que se evidencian según las categorías incluye **uso del suelo** por la fábrica; deterioro al **cambio climático** en el tiempo, afectado por la expulsión al ambiente de gases a elevadas temperaturas, producidos por el uso inadecuado de combustibles en la hornilla y su escasa eficiencia que genera efecto invernadero; uso de **combustibles fósiles** necesarios para la maquinaria utilizada en el proceso de extracción del jugo y transporte de materiales; disminución de la capa de ozono; respiración inorgánica y orgánica. Construcción de hornillas eficientes y reemplazar el motor a diesel por un motor eléctrico para la extracción de jugo caña, aprovechando la capacidad energética del país, disminuirá el ruido y generación de gases producto del uso de los combustibles fósiles.

De acuerdo a la caracterización de las categorías de impacto indicadas, se obtiene la figura 4, donde se evidencia que los indicadores analizados causan afectación en el área de protección como es la calidad del ecosistema, generados especialmente por los gases e inadecuado

manejo de materiales sólidos, líquidos. En la industria panelera, una prioridad en la gestión y considerando un contexto de producción limpia con responsabilidad social, se deben definir mejoras tecnológicas para mitigar y controlar los efectos ambientales generados en la empresa y cumplir las normas ambientales.

4. CONCLUSIONES

La aplicación del análisis de ciclo de vida como herramienta cuantitativa de evaluación ambiental en la industria panelera, es una propuesta de aplicación válida en la toma de decisiones que contribuyen a la resolución de problemas ambientales que esta genera y como información útil para generar políticas, legislación y gestión ambiental de residuos en el sector.

Los impactos ambientales negativos generados en la industria panelera tradicional se evidencian en mayor grado en la etapa agrícola y, según las categorías de impacto sobresalen afecciones al cambio climático, combustibles fósiles, agotamiento a la capa de ozono, respiraciones inorgánicas, afectando la calidad del ecosistema, salud humana y recursos, Producto de emisiones y recursos consumidos.

En la industria panelera, la informalidad, el incumplimiento de normativas, ausencia de buenas prácticas agrícolas y de manufactura; deben superarse con propuestas y acciones tecnológicas eficientes y sostenibles que mitiguen los impactos ambientales como aporte de relevancia económico, social y ecológico, con enfoque a la seguridad y soberanía alimentaria para el sector rural y del país.

REFERENCIAS

1. León Sicard, T.E. Perspectiva Ambiental de la Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2014, 416 p.
2. Ministerio del Ambiente. Acuerdo Ministerial No. 028. Sustitúyase el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Registro Oficial, Quito, Ecuador. 2015, 270 p.
3. FAO. Evaluación del Impacto Ambiental. Directrices para los proyectos de campo de la FAO.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia. 2012, 52 p.
4. CEPAL. Acceso a la información, participación y justicia en temas ambientales en América Latina y el Caribe: situación actual, perspectivas y ejemplos de buenas prácticas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile, Chile. 2013, 73 p.
 5. Colón Jordá, J.; Arena, A.P. Guías metodológicas: análisis deciclo de vida y huella **hídrica, Cuaderno metodológico N° 32. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)** - Unión Europea (UE), Buenos Aires. Argentina. 2016.
 6. Hedal Kløverpris, J.; Bruun, S.; Thomsen, I.K. Environmental life cycle assessment of Danish cereal cropping systems. Impacts of seeding date, intercropping, and straw removal for bioethanol. DCA Reports, AAETHUS University, Denmark, 2016, 67 p.
 7. European Unión. Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. European Commission Joint Research Centre (JRC). Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy, 2010, 115 p.
 8. Department of Environmental Affairs and Tourism. Life Cycle Assessment. Integrated Environmental Management, Information. Specialist Studies, Department of Environmental Affairs and Tourism (DEAT), Pretoria, South Africa, 2002, 16 p.
 9. El Haggag, S.M. Rural and Developing Country Solutions. In: Environmental Solutions. Life Cycle Analysis - an overview (Chapter 13), Lagardy, F; Nemerow, N.L. (Eds.), Academic Press, USA. 2005, pp. 313-400.
 10. Das, S. Recycling and life cycle issues for light-weight vehicles. In: Materials, Design and manufacturing for light weight vehicles (Chapter 9). Mallick, P.K. (Ed.), Woodhead Publishing, Cambridge, UK. 2010, pp. 309-331.
 11. ISO. Perspectiva de ciclo de vida en la norma ISO 14001 2015. International Standard Organization (ISO), 20 febrero de 2017, 1 p.
 12. ISO. ISO 14040:2007. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Standard Organization (ISO), 2007, 20 p.
 13. Haya Leiva, E. Análisis de Ciclo de Vida. Fundación EOI Escuela de Organización Industrial, España. 2016, 43 p.
 14. Ecologic Girona. Como aplicar fácilmente el enfoque de Ciclo de Vida exigido en ISO 14001:2015, España, 3 p.
 15. Della Torre, V.; Garimald, L.; Palioff, C. Campo I+D+i. Análisis de ciclo de vida. Hacia un abordaje institucional. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina. 2018, 36 p.
 16. Oxenboll, K.M.; Pontoppidan, K.; FruNji, F. Use of a Protease in Poultry Feed Offers Promising Environmental Benefits. International Journal of Poultry Science. *Asian Network for Scientific Information*. 10(11), 2011, pp. 842-848.
 17. Moral, A.; Couceiro, L.; Sampedro, A. El análisis del Ciclo de Vida como herramienta de evaluación ambiental en las secciones de firme. *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, 13, Madrid, España. 2015, pp. 1-24.
 18. Nielsen, P.H.; Høier, E. Environmental assessment of yield improvements obtained by the use of the enzyme phospholipase in mozzarella cheese production. *Int J Life Cycle Assess*, 14. 2009, pp. 137–143.
 19. López, E.; Andrade, A.; Herrera, M.; Gozález, O.; García, A. Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Revista Centro Agrícola*. Vol.44, N° 3, julio-septiembre 2017. Cuba, pp 49-55.
 20. Tórres, B.J.; Gaitán, J.R.; Espinoza, L.J.; Escalante J.I. Valorización de la ceniza de bagazo de la caña de la industria azucarera Nicaragüense como sustituto parcial al cemento Portland. *Nexo Revista Científica*. Vol. 27, No. 02, diciembre 2014, Nicaragua, pp. 82-89.
 21. Ministerio del Ambiente. Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Acuerdo N° 061. [Registro Oficial: Quito, 04 de Mayo de 2015, Edición Especial N° 316]. Corporación de Estudios y Publicaciones. Quito, Ecuador. 2015, 80p.
 22. Zaror Zaror, C.A. Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos. Universidad de Concepción. Chile. 2000, 500 p.
 23. EPA. Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2017. Extraído el 02 de junio de 2020, desde: <https://www.epa.gov/environmental-topics/air-topics>
 24. EPA. Particulate Matter (PM) Pollution. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2017. Extraído el 02 de junio de 2020, desde: <https://www.epa.gov/pm-pollution>.
 25. EPA. Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2017. Extraído el 02 de junio de 2020, desde: <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#Effects>.
 26. García, M.C. Hornillas paneleras. Evaluación de su impacto ambiental, Artículos Científicos, Corpoica, Colombia. 2016, 12 p.