

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 1 de 13

16.

FECHA	miércoles, 24 de enero de 2024
--------------	--------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Ramírez Ruiz	Andres Felipe	1106899869
Hernández Sáenz	Jorge Andres	1070628368

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Molina León	Diana Carolina

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 2 de 13

TÍTULO DEL DOCUMENTO

Estudio comparativo de los análisis de ciclo de vida de producción de polihidroxialcanoatos (phas) vs plásticos a base de tereftalato de polietileno (pet) como herramienta de educación ambiental

SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

EXCLUSIVO PARA PUBLICACIÓN DESDE LA DIRECCIÓN INVESTIGACIÓN

INDICADORES	NÚMERO
ISBN	
ISSN	
ISMN	

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO

13/12/2023

NÚMERO DE PÁGINAS

77

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1.Ciclo de vida	Lifecycle
2. Bioprospección	Bioprospecting
3.Bioplastico	Bioplastic
4.Polihidroxialcanoato	Polyhydroxyalkanoate
5.Economía Circular	Circular economy
6.Contaminación plástica	Plastic pollution

FUENTES (Todas las fuentes de su trabajo, en orden alfabético)

Achkar, M., Cantón, V., Cayssials, R., Domínguez, A., Fernández, G., Pesce, F., De, S., & Permanente, E. (2005). Ordenamiento ambiental del territorio. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/20227/1/FCIEN_AchkarM_2005_OrdenamientoAmbientaDelTerritorio.PDF

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2023). Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/ozono.pdf>

Alcaldía Municipal de Girardot. (2021). Plan municipal de desarrollo: Girardot 2020-2023. <https://www.obsgestioneducativa.com/download/plan-de-desarrollo-municipal-girardot-2020-2023/>

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca

Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414

www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co

NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 3 de 13

Alcaldía municipal de Girardot. (2020). Consejo municipal de Girardot. https://concejo-municipal-de-girardot.micolombiadigital.gov.co/sites/concejo-municipal-de-girardot/content/files/000124/6184_acuerdo-003-de-2020-plan-de-desarrollo.pdf

Álvarez Da Silva, L. (2016). Síntesis de PHAs en R. Eutropha [Imagen]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54517/BIOPL%20%20STICOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Belen Alcocer, E. (2020). Determinación del ahorro energético y ahorro de emisiones derivadas del reciclaje de envases PET frente a la disposición en rellenos sanitarios, con base en la valoración del ciclo de vida del producto en Ecuador. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12356/1/UDLA-EC-TIAM-2020-22.pdf>

Beltaco, M. (2016). El impacto ambiental de la generación de gases de efecto invernadero en la seguridad alimentaria. Análisis de la perspectiva de la fabricación de envases flexibles para alimentos. <http://190.210.72.90/xmlui/bitstream/handle/1/355/T363.738%20746%203%20B42.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Bianco, C., Isso, F., Moskat, M. (2021). Plásticos en América Latina: breve reseña de su producción, consumo e impactos ambientales. <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/2022/03/Plasticos-en-America-Latina-2022.pdf>

Burne, S. M. (2020). Impactos asociados al turismo en la comunidad de José María Morelos, Jalisco, México. <https://ojsull.webs.ull.es/ojs/index.php/Revista/article/view/2396>

Buteler, M. (2019). El problema del plástico, ¿que es la contaminación por plástico y por que nos afecta a todos? https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/109678/CONICET_Digital_Nro.9fbc68cb-0eb2-4000-b7f6-ac241af6e3f0_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Calero Mendoza, R. (2014). Obtención de polihidroxicanoatos (PHA) a partir de cultivos mixtos microbianos usando efluentes ricos en ácidos grasos volátiles como sustrato. <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/36>

Carabaño, R., Bedoya, C., Ruiz, D. (2014). La metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación del impacto ambiental en el sector de la construcción: estado del arte. https://oa.upm.es/32499/1/INVE_MEM_2014_177954.pdf

Cardenas, K., Oyola, P. (2020). Ladrillos ecológicos con la adición de PET reciclado como alternativa al uso de modelos convencionales. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/26651/CardenasRodr%20%20adguezKarolynJulieth2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Contraloría de Cundinamarca. (2019). Gestión integral de residuos sólidos en el departamento de Cundinamarca. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f9d0e2cda.pdf>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 4 de 13

Delgado, A. C., Mina Cordoba, A. (2015). Polihidroxicanoatos (PHA's) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/139/195

Duque, J. (2020). Medición del impacto ambiental de bloques de suelo-cemento, bloques cerámicos y bloques de concreto por el método de análisis de ciclo de vida. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79160>

EPA. (2020). Avanzada en la gestión sostenible de materiales: informes de datos y cifras. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/advancing-sustainable-materials-management>

Escobar, J., Bonilla, F. (2017). Grupos Focales: Una guía conceptual y metodológica. <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/bitstream/123456789/957/1/Gupos%20focales%20una%20gu%C3%ada%20conceptual%20y%20metodol%C3%B3gica.pdf>

Esperanza, M. (2017). Toxicidad ejercida por contaminantes acuáticos sobre micro algas en agua dulce. <https://core.ac.uk/download/pdf/146821839.pdf>

Foolmaun, R. K., Ramjeawon, T. (2008). Life Cycle Assessment (LCA) of PET bottles and comparative LCA of three disposal options in Mauritius. https://www.researchgate.net/publication/249922366_Life_Cycle_Assessment_LCA_of_PET_bottles_and_comparative_LCA_of_three_disposal_options_in_Mauritius

Gonzalez García, Y., Meza, J., Gonzalez, O., Cordova, J. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Garraín, D., Gash, J., Herrero, M., Franco, V., Muñoz, C., Vidal, R. (2020). Nuevos retos en el análisis de ciclo de vida de baldosas cerámicas: desarrollo de las categorías de impacto de uso de suelo, agotamiento de recursos abióticos y toxicidad. https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/82629/Nuevos_retos_en_el_Analisis_del_Ciclo_de_Vida_de_baldosas_ceramicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garraín, D. (2009). Desarrollo y aplicación de las categorías de impacto ambiental de ruido y de uso de suelo en la metodología de análisis de ciclo de vida. https://www.researchgate.net/profile/Rosario-Vidal-2/publication/44016266_Desarrollo_y_aplicacion_de_las_categorias_de_impacto_ambiental_de_ruido_y_de_uso_de_suelo_en_la_metodologia_de_analisis_de_ciclo_de_vida/links/5465c82b0cf2f5eb17ff6588/Desarrollo-y-

Gomes, T., Bour, A., Coutris, C., Almeida, A., Brate, I., Wolf, R., Bank, M., Lusher, A. (2022). Ecotoxicological Impacts of Microand Nanoplastics in Terrestrial and aquatic environments. <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/50951/978-3-030-78627-4.pdf?sequence=1#page=210>

González García, Yolanda. (2013). Estructura general de los polihidroxicanoatos [Imagen]. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 5 de 13

Goretti, F., Miranda, V. (2018). Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico. https://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf

Guido, S., Margni, M. (2015). Life cycle management. <https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/28121/1001873.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gursel, I., Moretti, C., Hamelin, L., Jakobsen, L., Steimgrindsdottir, M., Junginger, M., Hoiby, L., Shen, L. (2021). Evaluación comparativa del ciclo de vida desde la cuna hasta la tumba de botellas de PET de origen biológico y petroquímico. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721037141>

Herrera Atienza, J. (2020). RES URBIS, generación de bioplásticos a partir de la fracción orgánica municipal. <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2018/CT%202018/1222224757.pdf>

Hernandez Ortiz, J. L. (2023). Bioprospección de actinomicetos productores de enzimas hidrolíticas procedentes de la Zona Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13508>

ICONTEC. (2007). Norma Técnica NTC-ISO Colombiana 14040. <http://ciberinnova.edu.co/archivos/plantilla-ovas1-slide/documents-UCN-Canvas/impacto-ambiental/Unidad%201/5%20NTC-ISO%2014040-2007%20Ciclo%20de%20Vida.pdf>

Joya, W., Moncaleano, A., Tello, L., Mendez, H., Valbuena, C., Castillo, C. (2023). Compuestos orgánicos volátiles en materiales poliméricos sostenibles de uso arquitectónico e interiores, caso de estudio Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/247093/artigo%2024%20-%20p.%20332-345.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kheiralipour, K. (2021). Environmental impact investigation of natural gas refinery process based on LCA CML-IA baseline method. https://gpj.ui.ac.ir/article_26529_780e6cce02ea73072ab6ab9669f77f98.pdf

Iemag, P. (2023). The never-ending story of plastics. <https://plastics-themag.com/Polymers-and-research:-a-continuous-interaction>

Lemos, A. (05 de 30 de 2018). Polihidroxialcanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/139/195

Lopez, A. (2022). Evaluación del impacto ambiental de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas. https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/52777/TFM_Lopez_Parco_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 6 de 13

Madival, S., Auras, R., Singh, P., Narayan, R. (2009). Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652609000936>

Marathe, K., Chavan, K., Nakhate, P. (2019). Life Cycle Assessment (LCA) of PET Bottles. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128113615000080>

Martinez, J., Rodriguez, J., Garza, Y. (2020). Valoración cinética de la formación y consumo de ácidos grasos volátiles como estrategia para definir las condiciones óptimas para la biomineralización del sorbitol. https://smbb.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/TRABAJOS/AREA_I/CARTEL/CI-12.pdf

MASP. (2019). Casi el 60% de la basura diaria de Bogota es desecho plastico. <https://derecho.uniandes.edu.co/es/informe-situacion-actual-de-los-plasticos-en-colombia>

Muhammad, T., Samak, N., Yang, M., Xing, J. (2022). The Cradle-to-Cradle Life Cycle Assessment of Polyethylene terephthalate: Environmental Perspective. <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/5/1599>

Muralikrishna, I. V. (2017). Environmental Management Science and Engineering for Industry. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128119891/environmental-management>

ONU. (2023). Sin contaminación por plásticos. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42437/Plastic_Pollution_WED23SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Orola, A. (2023). Environmental life cycle analysis (LCA) of polyhydroxyalkanoate (PHA) production : a techno-environmental assessment. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/165483>

Palacios, S., Guzman, T. (2018). Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n3/0379-3982-tem-31-03-122.pdf>

Parás, J. B. (2019). Plastico, el desecho interminable, ¿jamás degradable?. <https://invdes.com.mx/los-investigadores/plastico-el-desecho-interminable-jamas-degradable/>

Pazmiño, V. P. (2021). Percepción social sobre el consumo de plastico de un solo uso en el canton Guayaquil-Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/53423/1/VICENTE%20PATRICIO%20COBOS%20PAZMI%20c3%91O.pdf>

Posada Barreto, E.(2022). Los bioplásticos como sustitutos de los plásticos de un solo uso en Colombia. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/14664/1/UVDT.A_PosadaEstefany_2022

PNUMA. (2018). Plásticos de un solo uso, una hoja de ruta para la sostenibilidad. <https://repository.udca.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/11158/1239/plasticosdeunsolouso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 7 de 13

Rangel, S. (2016). Obtenido de Impactos ambientales en el aprovechamiento de plásticos para la generación de combustibles. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/628/1/1026278889-2016-2-GA.pdf>

Riaño, J. (2018). Polihidroxicarboxilatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/biologia-celular/dialnet-polihidroxicarboxilatos-phas-biopolimeros-producidos-por-3702404/11249514>

Rodas, F., Pacheco, F.. (2020). Grupos Focales: Marco de Referencia para su Implementación. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7878893>

Rodríguez, W. (2022). Impacto ambiental y la producción en las Industrias de plástico PET biodegradable, 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/103713>

Ruiz, L. (2018). La contaminación ambiental, antecedentes, actividades y noticias. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/libro_la_contaminacion_ambiental.pdf

Rybczewska-Błażejowska, M., Nieto, A. M. (2020). Circular economy: comparative life cycle assessment of fossil polyethylene terephthalate (PET) and its recycled and bio-based counterparts. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-8d0a4b75-4c56-4a23-a714-6166b4c46774>

Salazar, T. d. (2018). Educación ambiental. <https://www.redalyc.org/pdf/4578/457845132003.pdf>

Sanes Orrego, A. (2022). El análisis de ciclo de vida (acv) en el desarrollo sostenible: propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11450/905079.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suasnavas, D. (2017). Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13224/Degradacion%20de%20materiales%20plasticos%20PET.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suksuwan, A., Matossian, A., Zhou, Y., Chacko, P., Skerlos, S. (2020). Environmental LCA on three note-taking devices. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120302687>

Valbuena, K., Machuca, L. (2023). Environmental impacts on water resources produced by the plastic industry a world level. http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/8041/1/2023_KarenAlexandraValbuenaNu%20c3%b1ez.pdf

Valle, J. (2020). Evaluación de impactos ambientales de una carretera desde una perspectiva de ciclo de vida. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51496/1/T-110146.pdf>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 8 de 13

Vargas, J. (2008). Historia ampliada y comentada del analisis de ciclo de vida (ACV) con una bibliografía selecta. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/122/2009/07/Historia-ACV.pdf>

Villanueva, E. (2020). Cambios en las estaciones depuradoras de aguas residuales. https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/14744/TFG_CC.AA_CabalVillanueva_Eva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vural, I., Moretti, C., Hamelin, L., Jakobsen, L., Steimgrinsdottir, M., Junginger, M., Hoiby, L., Shen, L. (2021). Comparative cradle-to-grave life cycle assessment of bio-based and petrochemical PET bottles. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721037141#t0010>

Zea, J. (2019). Reciclado de plastico PET. <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/4c9ed418-f907-4257-9c53-6046d5696c8f/content>

Ziegler, K. (2019). Evaluación ambiental por medio del Análisis de Ciclo de Vida del relleno sanitario del distrito de Nauta, en Loreto. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13847/ZIEGLER_ROD_RIGUEZ_KURT_EVALUACION_AMBIENTAL_MEDIO_ANALISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 9 de 13

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Resumen

En la última década se ha evidenciado un aumento en el uso de productos plásticos, que ha llevado a convertir este material en uno de los principales suministros para las industrias y para la economía mundial, en consecuencia, actualmente son considerados como una de las fracciones que componen los residuos sólidos municipales con mayor velocidad de crecimiento. En atención a esto, surge el interés de evaluar un proceso de producción de Polihidroxicanoatos (PHA's) y un proceso de producción de tereftalato de polietileno (PET) a través de su Análisis de Ciclo de Vida con el fin de generar sensibilización frente a su uso como herramienta de educación ambiental. Se realizó una investigación referencial para compilar las fuentes bibliográficas que permitieran dar claridad a las variables del proceso de producción de (PHAs) y (PET), se elaboró el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado a los procesos a través del software libre OpenLCA, con base en la Norma internacional ISO 14040 y se realizó el proceso educativo con la comunidad por medio de la socialización de los resultados empleando la metodología de investigación cualitativa basada en grupos focales. En consecuencia, la evaluación de un proceso de producción de polihidroxicanoatos (PHAs) y un proceso de producción de tereftalato de polietileno mediante su análisis de ciclo de vida como herramienta de educación ambiental, permitió comprender la perspectiva y el conocimiento de los participantes de la comunidad universitaria con respecto a la problemática de contaminación por plásticos asociada al sector turismo.

Summary

In the last decade there has been an increase in the use of plastic products, which has led to this material becoming one of the main supplies for industries and for the world economy, consequently, they are currently considered one of the fractions that They make up the municipal solid waste with the highest growth rate. In response to this, the interest arises in evaluating a production process of Polyhydroxyalkanoates (PHA's) and a production process of polyethylene terephthalate (PET) through its Life Cycle Analysis in order to generate awareness regarding its use. as an environmental education tool. A reference research was carried out to compile the bibliographic sources that would allow clarity to the variables of the production process of (PHAs) and (PET), the Life Cycle Analysis (LCA) was developed applied to the processes through free software OpenLCA, based on the International Standard ISO 14040 and the educational process was carried out with the community through the socialization of the results using qualitative research methodology based on focus groups. Consequently, the evaluation of a polyhydroxyalkanoate (PHAs) production process and a polyethylene terephthalate production process through its life cycle analysis as an environmental education tool allowed us to understand the perspective and knowledge of community participants. university regarding the problem of plastic pollution associated with the tourism sector.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 10 de 13

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública, masiva por cualquier procedimiento o medio físico, electrónico y digital.	x	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	x	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 11 de 13

derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI NO

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos) en carta adjunta, expedida por la entidad respectiva, la cual informa sobre tal situación, lo anterior con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 12 de 13

Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca

Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414

www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co

NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14 PAGINA: 13 de 13

j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



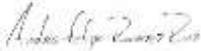
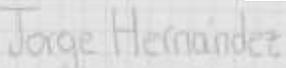
Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Nombre completo del proyecto.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Estudio comparativo de los análisis de ciclo de vida de producción de polihidroxicanoatos (phas) vs plásticos a base de tereftalato de polietileno (pet) como herramienta de educación ambiental	Archivo PDF
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Ramírez Ruiz Andrés Felipe	
Hernández Saenz Jorge Andrés	

21.1-51-20.

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE
PRODUCCIÓN DE POLIHIDROXIALCANOATOS (PHAs) VS PLÁSTICOS A BASE DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) COMO HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN
AMBIENTAL**

ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ RUIZ

JORGE ANDRÉS HERNÁNDEZ SÁENZ

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

GIRARDOT CUNDINAMARCA

2023

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE
PRODUCCIÓN DE POLIHIDROXIALCANOATOS (PHAs) VS PLÁSTICOS A BASE DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) COMO HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN
AMBIENTAL**

ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ RUIZ

JORGE ANDRÉS HERNÁNDEZ SÁENZ

Proyecto de grado para optar al título de

Ingeniero Ambiental

Director

DIANA CAROLINA MOLINA LEÓN

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

GIRARDOT CUNDINAMARCA

2023

DEDICATORIA

Primeramente, quiero dedicar este trabajo a mi padre celestial y a quien me espera todos los días en casa, quien ha estado en mis victorias y derrotas, Luz Aurora Ruiz, madre querida y compañera de mil batallas, quien ha dedicado su vida con esfuerzo, valentía y amor para que yo siempre salga adelante, madre no existen palabras suficientes para expresarte mi agradecimiento.

A mi familia entera por el apoyo y cariño, mis tíos Pedro Jesús Ruiz y Richard Shackleton, hombres generosos, figuras paternas y ejemplo de lo que un hombre debe ser, quienes nos han acompañado en buenas y malas desde niño, por creer y no abandonar este barco, mil gracias.

A mi segunda familia, la familia López Ávila, desde mi infancia hoy al mirar hacia atrás no puedo evitar sentir un profundo agradecimiento por todo el amor.

A mis amigos, Joseph Zuluaga, Dianne Ramírez, Brahyam Torres, Isa Gómez, Valentina Cartagena, Mario Monje, Saray Briñez, David Quintero, Valeria Rojas, Jonnier Martínez, Vivian Jiménez, Tatiana Lenis, Valentina Neira, Ronald Castiblanco, Julián Moreno, Luisa Romero y Juan Suarez, que hicieron más llevadero cada clase, cada parcial, cada uno aportó algo a mi vida, gracias por ser parte de mi viaje universitario.

A mi compañero de trabajo y amigo Jorge Andrés Hernández Sáenz y su familia, desde segundo semestre superamos desafíos y celebramos éxitos, sin su ayuda no se habría podido culminar este proyecto, mi sincero agradecimiento por la amistad y la colaboración.

A quienes se nos adelantaron en el camino, María Pastora Ruiz y Esperanza Ruiz, hasta el cielo un beso y una flor.

Todo es por y para ustedes.

Andrés Felipe Ramírez Ruiz

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los buenos profesores de la Universidad de Cundinamarca, que contribuyeron a nuestro proceso de formación profesional, María Paula Gómez, Arley Torres, Angélica Blanco, entre otros, sin su dedicación, empeño y paciencia esto no habría sido posible, en especial a nuestra directora de trabajo de grado, la profesora Diana Carolina Molina León por su invaluable trabajo fundamental en la consecución de este proyecto, por compartir sus conocimientos y guiarnos en cada paso de este proceso con paciencia, por el apoyo, por su dedicación incansable a la enseñanza, el tiempo, esfuerzo y sabiduría, por esto y tanto nuestra profunda admiración y agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
RESUMEN	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. 12	
3. 16	
4. OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
5. MARCO REFERENCIAL.....	18
6. 25	
6.1 Investigación Referencial:	24
6.2. Análisis de impactos ambientales:	24
6.3 Educación a las comunidades y socialización de resultados:	25
6.3.1 Grabación y Observación:.....	26
6.3.2 Análisis de Datos:	26
7. 29	
7.1 Evaluación de ciclo de vida	26
7.1.1 Definición de objetivos y alcance	27
7.1.2 Análisis del inventario del ciclo de vida	29
7.1.3 Evaluación del impacto de ciclo de vida e interpretación	34
7.2 Educación a las comunidades y socialización de resultados.....	45
8. 55	
9. 56	
10. 57	
11. 68	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Procesos del sistema de producción de PHA	30
Tabla 2. Unidades de referencia	30
Tabla 3. Entradas del proceso de producción de PHA	30
Tabla 4. Salidas del proceso de producción de PHA	31
Tabla 5. Procesos del sistema de producción de PET	31
Tabla 6. Entradas proceso de producción de PET	32
Tabla 7. Salidas proceso de producción de PET	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de los Polihidroxicanoatos	21
Figura 2. Síntesis de PHAs en <i>R. Eutropha</i>	21
Figura 3. Agotamiento de la capa de ozono	35
Figura 4. Potencial de acidificación	36
Figura 5. Toxicidad humana	37
Figura 6. Eutrofización	39
Figura 7. Ecotoxicidad en agua dulce	40
Figura 8. Ecotoxicidad terrestre	41
Figura 9. Cambio climático	42
Figura 10. Oxidación fotoquímica	43
Figura 11. Agotamiento de los recursos abióticos - combustibles fósiles	44
Figura 12. Resultados pregunta 6	45
Figura 13. Resultados pregunta 7	46
Figura 14. Resultados pregunta 8	47
Figura 15. Resultados pregunta 9	48
Figura 16. Resultados pregunta 10	49
Figura 17. Resultados pregunta 11	50
Figura 18. Estrategias de mitigación a la problemática de contaminación por plásticos	51

RESUMEN

En la última década se ha evidenciado un aumento en el uso de productos plásticos, que ha llevado a convertir este material en uno de los principales suministros para las industrias y para la economía mundial, en consecuencia, actualmente son considerados como una de las fracciones que componen los residuos sólidos municipales con mayor velocidad de crecimiento. En atención a esto, surge el interés de evaluar un proceso de producción de Polihidroxialcanoatos (PHA's) y un proceso de producción de tereftalato de polietileno (PET) a través de su Análisis de Ciclo de Vida con el fin de generar sensibilización frente a su uso como herramienta de educación ambiental. Se realizó una investigación referencial para compilar las fuentes bibliográficas que permitieran dar claridad a las variables del proceso de producción de (PHAs) y (PET), se elaboró el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado a los procesos a través del software libre OpenLCA, con base en la Norma internacional ISO 14040 y se realizó el proceso educativo con la comunidad por medio de la socialización de los resultados empleando la metodología de investigación cualitativa basada en grupos focales. En consecuencia, la evaluación de un proceso de producción de polihidroxialcanoatos (PHAs) y un proceso de producción de tereftalato de polietileno mediante su análisis de ciclo de vida como herramienta de educación ambiental, permitió comprender la perspectiva y el conocimiento de los participantes de la comunidad universitaria con respecto a la problemática de contaminación por plásticos asociada al sector turismo.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el agotamiento acelerado de los recursos naturales que son utilizados como materia prima para la fabricación de productos, junto a una exacerbada tendencia de extracción, consumo y desecho de los mismos, fomentada por el imperante modelo económico lineal, ha aumentado el interés por la implementación del concepto de desarrollo sostenible, como parte fundamental de cualquier proceso productivo; dado que su fin principal es garantizar la satisfacción de las necesidades actuales y futuras, al tiempo que propende por el equilibrio social, económico y ambiental. Identificar las entradas y salidas presentes en las etapas de extracción, producción, uso y disposición final de un producto permite estimar los impactos ambientales generados al medio, mediante la cuantificación de energía y recursos empleados en su manufactura, por tanto, resulta benéfico para la mejora de la utilidad financiera, la disminución de costes de producción, el posicionamiento de marca, así como, el cumplimiento de la normativa nacional y sus objetivos de responsabilidad socioambiental. De este modo una de las herramientas que favorece esta comprensión es el análisis de ciclo de vida (ACV), el cual permite identificar los impactos ambientales (generalmente negativos) de un producto o proceso productivo, con el fin de gestionar adecuadamente los puntos del sistema en los que se detectan las principales cargas ambientales y mejorar el desempeño ambiental.

Durante su evolución a través del tiempo la herramienta de análisis de ciclo de vida fue conocida con diversos nombres entre los que destacan el de perfil ambiental, análisis ambiental integral y ecobalance, para entonces fue asemejado con otras herramientas de gestión ambiental como la evaluación del riesgo e impacto ambiental. Probablemente el origen de los ACV se remonta al año 1963, cuando en la conferencia mundial de energía por primera vez se analizaron los requerimientos para la producción de sustancias químicas, dejando en claro un fuerte interés por los impactos ambientales de dicha actividad. La herramienta de análisis de ciclo de vida posee un amplio alcance pudiendo ser aplicada a sistemas, procesos y productos, por lo tanto se han generado diversos estudios con su aplicación, de este modo

motivados por reconocer los efectos derivados de la fabricación y utilización de envases, en el año de 1969 la empresa Coca-Cola Company encargo al Midwest Research Institute, el primer estudio que permitió determinar el volumen de materiales, energía e impactos ambientales generados desde la extracción hasta la disposición final de envases. Los resultados del estudio permitieron a la compañía determinar la conveniencia y el potencial del embotellamiento de productos en vidrio y plástico, así como también determinar la idoneidad de fabricar sus propios envases, posteriormente en el año 1971 y bajo el patrocinio del programa de la fundación nacional para la ciencia sobre la investigación de las necesidades nacionales, se realizó otro estudio con el fin de comparar las botellas de policloruro de Vinilo (PVC), vidrio y polietileno (PE), al año siguiente en 1972 la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), realizó un estudio con el fin de evaluar los impactos generados por los frascos de bebidas gaseosas y de este modo decidir la conveniente promoción por parte del estado sobre el uso de latas y botellas retornables, finalmente solo hasta el año de 1991 la EPA promueve el análisis de ciclo de vida con el fin de poner la información obtenida de sus resultados a disposición del público en general a través de talleres (Guido, 2015).

A nivel nacional los primeros estudios sobre análisis de ciclo vida surgieron en 1997 de la mano del instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), específicamente para homologar a normas nacionales todos aquellos estándares internacionales de la norma ISO 14000, en la que se destaca la ISO 14040 sobre ACV. En este sentido, a finales de los años 90, algunas universidades e institutos realizaron seminarios con el objetivo de introducir a los participantes en el uso de software especializados para realizar análisis de ciclo de vida, como la universidad de los Andes que, a través de cursos de producción más limpia, impartidos a los estudiantes de pregrado de ingeniería industrial, elaboraron estudios y tesis de grado en ACV en los años 1998 y 2006, los cuales abarcan sectores como el agrícola, químico, metalmecánico, entre otros (Vargas, 2008).

En la Ciudad de Girardot – Cundinamarca, se han realizado diversos estudios sobre análisis de ciclo vida aplicados a unidades de producción agrícola entre otros, sin embargo no se encontró información documental sobre estudios de ACV aplicados a procesos de producción de plástico, sumado a esto según

los procesos de consulta y participación social llevados a cabo para la elaboración del plan de desarrollo del municipio, la comunidad percibe la ausencia de campañas y programas transversales de educación ambiental, hecho que se ratifica con la falta de cultura y pertenencia por la ciudad que ocasiona la inundación de vías urbanas a causa de la inadecuada disposición de residuos de la comunidad en general, (Alcaldía municipal de Girardot, 2020). En la actualidad los plásticos son considerados como una de las fracciones que componen los residuos sólidos municipales con mayor velocidad de crecimiento, análogamente se encuentran dentro de las principales clases de residuos sólidos urbanos, debido al uso intensivo de plásticos de origen sintético, la incorrecta disposición final de los mismos y su posterior persistencia en el ambiente, lo antes mencionado, ha hecho imprescindible la investigación de nuevos procesos para el desarrollo de materiales necesarios en la producción de plásticos biodegradables, por tanto, la presente investigación tuvo como fin evaluar un proceso de producción de polihidroxialcanoatos (PHAs) y un proceso de producción de Tereftalato de polietileno (PET) para su uso como herramienta de educación ambiental. Para ello se utilizaron los datos de entradas y salidas de procesos de producción de acuerdo con las investigaciones realizadas por Orola (2023) para PHA y por Foolmaun, R. K., Ramjeawon, T. (2008) para PET y este modo realizar el análisis de ciclo de vida empleando el software OpenLCA en concordancia con la norma ISO 14040, los resultados se socializaron con una comunidad relacionada al sector turismo del municipio para evidenciar la efectividad del análisis de ciclo de vida como herramienta de educación ambiental.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la última década se ha evidenciado un aumento en el uso de productos plásticos, lo que ha convertido este material en uno de los principales suministros para las industrias y para la economía mundial, debido a su creciente demanda se encuentran habitualmente dentro de las necesidades de consumo personal, pues su estructura molecular le confiere característica que los hace versátiles y de sumo interés para diversos sectores productivos, como la medicina, el almacenamiento, la comunicación, el transporte y la construcción (Zea, 2019). No obstante alrededor del siglo XIX la utilización de polímeros sintéticos carecía de popularidad, sin embargo, esta conducta ha virado desde el punto de inflexión que representó para la humanidad la transformación tecnológica, económica y social de la revolución industrial, así como el incremento en los estándares de la calidad de vida y el crecimiento demográfico, estos factores lograron repercutir considerablemente en la necesidad de productos fabricados en plástico, además de una limitada oferta de alternativas naturales que imposibilitaba la obtención masiva de productos de consumo final (Pazmiño, 2021).

Según datos del Banco Mundial, la fabricación de polímeros plásticos sintéticos ha conservado un aumento constante desde el año de 1950, para entonces la producción anual era de 1.7 millones de toneladas, posteriormente presentó un incremento del promedio anual de 13.6% durante 26 años (Bianco, 2021), de igual forma, se estima la competitividad de producción internacional, en la cual China se sitúa como el mayor productor de plástico con un 24% de la producción total, por encima del resto de Asia y Japón con el 21%, eventualmente se encuentra América del Norte y Europa con un 20% (Lemag, 2023). En consecuencia, actualmente los plásticos son considerados como una de las fracciones que componen los residuos sólidos municipales con mayor velocidad de crecimiento, análogamente se encuentran dentro de las principales clases de residuos sólidos urbanos, como lo presentó la agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), en su informe sobre el avance y gestión sostenible de materiales en 2018, en

donde se cuantificó la generación de 14,5 millones de toneladas de botellas de polietileno de alta densidad (HDPE), tarros y botellas de tereftalato de polietileno (PET), como también envolturas, sacos y bolsas (EPA, 2020), la problemática ambiental del plástico como residuo afecta la salud y vida de los sistemas, tanto que en el año 1980 el consumo per cápita en América latina era de 7 Kg por habitante al año, en la actualidad el consumo general se encuentra alrededor de los 30 Kg, sin embargo, en países con mayor consumo per cápita como Chile y México se han registrado cifras cercanas a los 50 Kg y, 40 Kg en países con menor densidad poblacional como Brasil y Argentina. Por otra parte, a pesar de estar presente casi en la totalidad de los países de América Latina, el avance de la industria plástica se concentra en Venezuela, Brasil, Argentina, México y Colombia, debido a que estos se encuentran fuertemente ligados a la industria petrolera (Moskat, 2021).

En este contexto, el informe sobre la situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente deja en evidencia la dimensión de dicha problemática, en donde la generación de residuos por hogar al día es de 4.5 Kg, mientras que cada 24 horas se eliminan 6300 toneladas de residuos en Bogotá, donde el 56% corresponde a diversos tipos de plástico. (MASP, 2019).

Los planes de gestión integral de residuos sólidos PGIRS, se consolidan como el instrumento de planeación dirigido a desarrollar un manejo adecuado de los residuos sólidos en los territorios, en la actualidad el deber de las alcaldías municipales en relación con el cumplimiento de los PGIRS se encuentra encaminado a la incorporación de las metas y acciones establecidas en el plan municipal de desarrollo, de igual forma su concordancia con el plan de ordenamiento territorial POT y la articulación con los programas de prestación de servicio público de aseo, censo de recicladores, proyecciones poblacionales, de generación, aprovechamiento y disposición final que fortalecen la gestión integral de los residuos y la disminución del porcentaje que llega a los rellenos sanitarios (Alcaldía Municipal de Girardot, 2021). Según cifras, el porcentaje promedio de ejecución en el PGIRS del departamento de Cundinamarca es del 16%, dato que hace visible la necesidad en el fortalecimiento de actividades de

control y seguimiento por parte de la administración municipal, para el caso del municipio de Girardot se presentó un incremento de la variación promedio en la generación de residuos de 77 toneladas al mes con respecto a los promedios de generación de residuos correspondientes al período 2017-2019, por otra parte en cuanto a actividades y lugares de aprovechamiento de residuos sólidos, Girardot ha implementado actividades de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos y cuenta con un centro de acopio y una planta de aprovechamiento para dicho fin.(Contraloría de Cundinamarca, 2019)

Respecto a los impactos ambientales derivados del uso de plásticos convencionales, no hay certeza sobre su tiempo de degradación, sin embargo, algunos estudios sugieren que pueden tardar miles de años en descomponerse, alterando principalmente las fuentes hídricas y los suelos, por otra parte, representan una amenaza para la biodiversidad a causa de su presencia e ingesta, se ha evidenciado concentraciones de residuos plásticos en el estómago de diversas especies, también existe evidencia de productos químicos de plásticos en tejido animal, razón por la cual se estima su posible ingreso en la cadena alimenticia, los residuos plásticos pueden colapsar las vías fluviales y los sistemas de alcantarillado, proveer caldos de cultivo para mosquitos, plagas y otros vectores que pueden incrementar el riesgo de propagación de enfermedades infecciosas, como el paludismo, las investigaciones señalan que tanto países subdesarrollados como los desarrollados pueden sufrir pérdidas de bienestar debido a los residuos plásticos, esta se puede percibir en la generación de contaminación visual y paisajística conllevando al desagrado visual e incremento de los costos sociales indirectos, particularmente en naciones dependientes del turismo como fuente relevante de su PIB, tales como los Estados Insulares en vía de desarrollo. (PNUMA, 2018)

Actualmente existe un diverso portafolio de soluciones orientadas a la problemática de la contaminación por plástico en el ambiente, destacando entre estos los procesos de reutilización, foto degradación, reciclado y combustión, no obstante, dichos procesos presentan inconvenientes que disminuyen su efectividad, por consiguiente, es imprescindible el diseño de procesos sostenibles para la producción de

un plástico biodegradable que reemplace el plástico convencional, según lo mencionado y debido tanto a que es un material flexible o deformable a temperaturas altas pero que también se puede endurecer cuando se enfría lo suficiente, como a su producción a partir de recursos naturales renovables y su biodegradabilidad, los polihidroxicanoatos son considerados como una potencial alternativa para reemplazar los plásticos convencionales, razón por la cual han suscitado el interés de la industria en los últimos años (Lemos, 2018).

Visando el aporte de estrategias con dicha problemática y teniendo en cuenta la carencia de este tipo de estudios en el territorio, aunado con la aparente inexistencia de campañas y programas transversales de educación ambiental que fomenten el desarrollo de conciencia y mitiguen la problemática de contaminación por residuos plásticos, el presente proyecto de investigación plantea como pregunta problematizadora:

¿Cómo el análisis comparativo de ACV de producción de PHA y PET aporta como herramienta de educación ambiental a las comunidades de Girardot-Cundinamarca?

3. JUSTIFICACIÓN

La degradación de los plásticos sintéticos es un proceso lento, debido a su composición, que permite la resistencia a la corrosión, la intemperie y la biodegradación, este material puede tardar hasta 500 años en degradarse. Asimismo, las partículas que se generan en gran medida por este proceso natural son partículas de menor tamaño conocidas como micro plásticos, que son fragmentos de tamaño inferior a 5 milímetros (ONU, 2023). La acumulación de estas micropartículas en los ecosistemas ha aumentado considerablemente cada año representando un peligro para los organismos (Valbuena, 2023).

Debido a la problemática arraigada por el uso intensivo de plásticos sintéticos y su persistencia en el medio ambiente, ha sido imprescindible la investigación de nuevos procesos para el desarrollo de materiales necesarios en la producción de plásticos biodegradables que conserven las propiedades de los plásticos convencionales y reduzca el impacto provocado a los ecosistemas y sus organismos (Barreto, 2022).

Los PHA son polímeros naturales producidos por distintas especies bacterianas. Una de las más estudiadas a nivel mundial ha sido la bacteria *R. Eutropha* que posee la capacidad de acumular grandes cantidades de PHA con un porcentaje cercano al 80% del peso seco de la misma (Delgado 2015). Esto representa una ventaja porque además de que estas y otras bacterias están presentes en muchos lugares como suelos, lagos, compostas y aguas residuales, la producción y acumulación de los biopolímeros se puede realizar en medios simples y con fuentes de carbono económicas, como pueden ser los residuos industriales oleicos y lodos activados provenientes de PTAR. Las aguas residuales representan un problema de saneamiento en el país, debido a la carencia de plantas de tratamiento. Sin embargo, existen estudios que demuestran el potencial del uso de lodos activados como material principal en la generación de polihidroxialcanoatos (PHAs), tal como el caso de estudio titulado: Cambios en las estaciones depuradoras de aguas residuales (Villanueva, 2020), en el que se reportó la obtención de PHA's a partir del saneamiento de aguas residuales municipales.

Por lo anterior, en el presente proyecto de investigación se realizó la evaluación de un proceso de producción de polihidroxicanoatos (PHAs) y de tereftalato de polietileno (PET), mediante la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida, con el fin de identificar los impactos de los procesos y, por tanto, generar información relevante y de calidad para su posterior divulgación y uso como estrategia pedagógica, contribuyendo con la sensibilización frente al uso de plásticos en la comunidad.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar un proceso de producción de Polihidroxicanoatos (PHA's) y un proceso de producción de tereftalato de polietileno (PET) mediante un Análisis de Ciclo de Vida para su uso como herramienta de educación ambiental.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el Análisis de ciclo de vida de los PHA y los PET de acuerdo con la metodología de la norma ISO 14040
- Analizar los impactos ambientales de la producción de PHA y PET, con base en el análisis de ciclo de vida
- Evidenciar la efectividad del análisis de ciclo de vida como herramienta de educación ambiental

5. MARCO REFERENCIAL

Comprender los impactos asociados a los procesos de producción con base a la herramienta de Análisis de Ciclo de vida, representa una oportunidad útil para evaluar productos y procesos productivos de manera integral y evidenciar su repercusión en el medio ambiente.

Por tanto, identificar los impactos ambientales derivados de la contaminación por los plásticos convencionales es imprescindible. Según Ruiz (2018), la contaminación es la presencia de una sustancia en el ambiente que debido a su composición química o concentración impide el funcionamiento de los procesos ambientales y produce efectos indeseables para el medio y la salud humana, así mismo, este concepto se ha propuesto para comprender los cambios del entorno y fue definido por Iyyanki Muralikrishna como; la alteración del medio físico y biológico o los componentes del sistema tierra, así como de la atmósfera, hasta el punto que los procesos ambientales se ven afectados negativamente, los contaminantes pueden ser sustancias naturales o energías existentes, pero se consideran contaminantes cuando exceden los niveles naturales. Cualquier uso de los recursos naturales a una tasa superior a la capacidad de la naturaleza para restaurarse a sí misma, puede resultar en contaminación, (Muralikrishna, 2017).

Aunque a través del tiempo se ha utilizado ampliamente el término de contaminación como una generalidad, en la actualidad diversos autores han coincidido el concepto en términos ambientales como la introducción directa o indirecta por el hombre, de componentes nocivos de naturaleza química o biológica, sustancias o formas de energía en el suelo, agua o aire con concentraciones tales que puedan alterar el equilibrio ecológico de la biósfera, agotar los recursos naturales o generar carencias para la integridad física, mental y social de la población.

En este sentido, se denomina contaminación plástica al conglomerado de materiales, que, pese a su volumen de producción, no es susceptible de ser reciclado y tarda miles de años en degradarse a partículas tóxicas de menor tamaño, que posteriormente persisten en el ambiente (Buteler, 2019). Los plásticos son

polímeros sintéticos formados por moléculas simples clasificadas como monómeros, que se encuentran enlazados y organizados de manera repetitiva, dicha organización les confiere sus propiedades de resistencia, versatilidad, ligereza, transparencia, durabilidad y flexibilidad, los plásticos pueden ser duraderos o no duraderos, en estos últimos se encuentran las envolturas de alimentos, embalajes, productos de higiene, textiles, juguetes y demás artículos de consumo y necesidad personal, , por lo tanto, la amenaza de los plásticos reside en su incremento exponencial de producción y su duración en el ambiente.

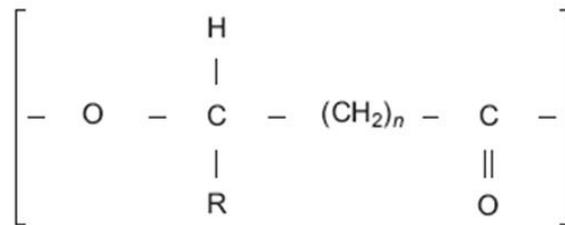
Los plásticos sintéticos o convencionales no son biodegradables, de modo que solo se degradan en otras condiciones ambientales como la acción que ejercen los rayos ultravioleta a través del incremento de la temperatura, que ocasiona su desintegración o ruptura mecánica hasta convertirlos en micro partículas, capaces de absorber y liberar compuestos y aditivos provenientes de su manufactura o entorno y en dicho proceso causar múltiples afecciones cuando entran en el organismo como la disrupción endocrina y algunos tipos de cáncer, además, diversos estudios han demostrado que dichas partículas tienen acceso a la cadena trófica al ser consumidas o absorbidas por aves, peces y plantas, (Parás, 2019).

Debido a su importante rol en la sociedad se hace impostergable el planteamiento de compromisos de índole individual, colectivo, de iniciativa gubernamental, privada y científica, para mitigar los problemas de contaminación, así, diversos autores convienen en que se debe limitar su producción y consumo para minimizar el volumen de residuos generados y se hace necesario un cambio de pensamiento que promueva la demanda y diseño de nuevos materiales biodegradables que presenten todos los aspectos positivos del plástico convencional pero que a su vez sea amigable y seguro con el ambiente.

De acuerdo con lo anterior, surgen alternativas como la bioprospección, que se basa en la búsqueda, clasificación e identificación de nuevas fuentes de genes, compuestos, químicos, proteínas, enzimas y microorganismos, con el fin de ser utilizados como recursos y generar productos beneficiosos para el ser humano o el ambiente (Hernández Ortiz, 2023). De este modo, la realización de diversos estudios y

proyectos ambientales que contemplan la creación y utilización de bioplásticos como una alternativa potencial para el reemplazo de los plásticos de uso convencional, se ha intensificado en los últimos años. En la mayoría de los casos de estudio se destacan los polihidroxicanoatos (PHA's), que, según García (2018), se definen como biopoliésteres sintetizados de forma intracelular como reserva natural de carbono y energía por algunos microorganismos. Se conocen como biopoliésteres por la formación de un enlace tipo éster, que se origina mediante la condensación del grupo carboxilo de un monómero (ácido hidroxicanoico), con el grupo hidroxilo siguiente, tal como se evidencia en la figura 1.

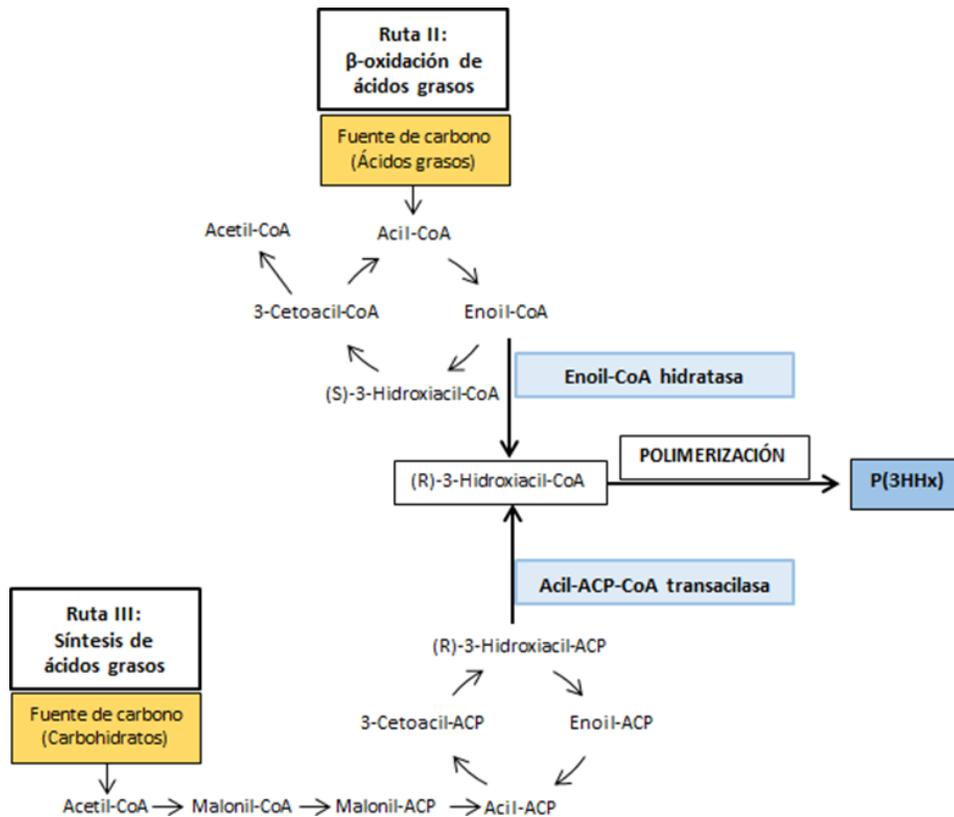
Figura 1. Estructura general de los Polihidroxicanoatos



Nota. Tomado de: *Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano*, por Gonzalez Garcia Yolanda, 2013, SciELO.

Más de 300 tipos de bacterias, como Eubacterias y las Archeas, se encargan de sintetizar los gránulos de PHA:

Figura 2. Síntesis de PHAs en *R. Eutropha*



Nota. Tomado de: *Bioplásticos, obtención y aplicaciones de polihidroxicanoatos*, por Álvarez Laura, 2016, depósito de investigación Universidad de Sevilla.

La cantidad de gránulos que puedan acumular los microorganismos depende de condiciones específicas, las cuales están relacionadas con el sustrato empleado, pH y temperatura, entre otros. Una de las condiciones más importantes es el sustrato que es utilizado como alimento y que posteriormente se transforma en una reserva de PHA, (Riaño, 2018). De manera general, se utilizan sustratos que son fuente de azúcares y productos fermentados como son los ácidos grasos volátiles. Entre todos los productos finales de fermentación producidos por los microorganismos existentes, los ácidos grasos volátiles son los de mayor interés ya que son precursores metabólicos directos de polihidroxicanoatos (Atienza, 2020).

Los ácidos grasos volátiles (AGV), son el producto principal de la fermentación bacteriana y animal de los hidratos de carbono de ácidos grasos saturados y de triglicéridos. Se clasifican según sus iones

disociados en acetato, propionato y butirato, que son los más conocidos (Martinez, 2020). Para la obtención de los AGV en las plantas de tratamiento de aguas residuales, generalmente se utilizan reactores de digestión anaerobia, que permiten la fermentación de los azúcares presentes en las aguas residuales y, por ende, su transformación (Calero, 2014).

Todos los procesos de obtención de un producto, incluyendo el de los plásticos biodegradables desarrollados a partir de polihidroxialcanoatos (PHA), generan impactos en el medio ambiente, por tanto, es importante la aplicación de una herramienta que permita la evaluación de estos en cada una de sus etapas de producción.

Aida (2022), expone que el análisis de ciclo de vida (ACV) de un producto, consiste en una metodología desarrollada para identificar, cuantificar y caracterizar los impactos ambientales derivados de cada una de las etapas involucradas en la elaboración de un producto. Esta herramienta, es importante, dado que ha permitido evaluar la magnitud del impacto que tiene la producción y el desarrollo de procesos productivos. Cabe resaltar, que un producto no solo debe cumplir con los estándares de calidad, sino también, que sea viable económicamente y contribuya a la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, de este modo, el ACV posibilita determinar si el proceso de obtención de un producto es sostenible (Carabaño, 2014). La sostenibilidad o desarrollo sostenible implica aquel desarrollo que mejora la calidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que los sustentan (Palacios, 2018).

Por otro lado, la sustentabilidad según (Achkar et al., 2005), se basa en el estado o condición del sistema ambiental en el momento de la producción, renovación y la movilización de elementos de la naturaleza, los cuales impliquen un impacto mínimo en la degradación de este sistema tanto en el presente como en el futuro. En relación con lo anterior, la educación ambiental hace referencia al proceso de concienciación, educativo y cultural en el que las personas o grupos de personas construyen conocimientos y capacidades

que les permite entender la realidad sobre el medio ambiente y, por tanto, iniciar acciones para participar en el afrontamiento de las problemáticas ambientales (Salazar, 2018). Es decir, es la herramienta que propicia el impulso del desarrollo sostenible y sustentable.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

La siguiente metodología fue diseñada con el fin de realizar el análisis comparativo de un proceso de producción de polihidroxicanoatos (PHAs) y un proceso de producción de plástico convencional a base tereftalato de polietileno (PET), mediante su análisis de ciclo de vida como herramienta de educación ambiental, la población seleccionada está relacionada específicamente en el sector turismo, debido a que son sus actividades económicas las que mayor volumen de residuos sólidos no biodegradables generan, así como también con la Universidad de Cundinamarca seccional Girardot, debido a que se entrevistó como una oportunidad prometedora de introducir la sostenibilidad ambiental a través de la creación y difusión de conocimiento en la formación de futuros profesionales, que desde diversos entornos y grados de responsabilidad incidirán en la sociedad del municipio de Girardot - Cundinamarca.

La presente metodología se desarrolló en 3 etapas:

6.1 Investigación Referencial:

En esta etapa se recopiló la información requerida para el perfeccionamiento de la tesis de investigación y se realizó de forma permanente. Las principales actividades consistieron en:

-Compilación de las referencias bibliográficas que permitieron dar claridad de las variables que se deben considerar durante el proceso de producción de (PHAs) y de (PET), identificando cuales de ellas afectan los rendimientos del proceso y las propiedades finales del polímero producido.

-Búsqueda de fuentes de información que relacionen condiciones de operación en plantas piloto para producción de (PHAs).

Se seleccionaron los estudios realizados por Orola,(2023) para PHA y por Foolmaun, R. K., Ramjeawon, T. (2008) para PET, con el fin de extraer los datos concernientes a las entradas y salidas de los procesos

de producción del plástico biodegradable y plástico convencional, para elaborar posteriormente el análisis de ciclo de vida.

6.2. Análisis de impactos ambientales:

Se realizó el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado a los procesos de producción de los plásticos PHA y PET, a través del software libre OpenLCA teniendo en cuenta la Norma internacional ISO 14040, de acuerdo con los trabajos realizado por Belen (2020), Gursel (2021) y Moretti (2021) con el fin de evaluar los impactos ambientales potenciales derivados de los procesos de producción. Conforme a ello, la NTC ISO 14040 establece cuatro fases comprendidas por el establecimiento de un objetivo y alcance, análisis del inventario de ciclo de vida, evaluación del impacto de ciclo de vida e interpretación.

-Definición del objetivo y alcance: En esta etapa se determinó el tipo de información necesaria para desarrollar el estudio, la exactitud aceptable de los resultados y cómo debe ser la interpretación para el proceso de toma de decisiones, el objetivo de este proyecto consistió en desarrollar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a los esquemas propuestos por Orola,(2023) y Foolmaun, R. K., Ramjeawon, T. (2008) para la producción de (PHAs) y (PET).

-Interpretación de los resultados: En esta fase, los resultados del análisis fueron sometidos a discusión para establecer conclusiones al alcance y objetivos planteados, para finalmente identificar las cargas ambientales y los puntos o aspectos que pueden mejorar.

6.3 Educación a las comunidades y socialización de resultados:

La presente fase consistió en la recolección de la información a través de la metodología de investigación cualitativa de grupos focales, para lo cual fue necesario reunir un conjunto de participantes que discutieron y compartieron sus percepciones sobre el tema y de esta manera obtener información primaria detallada que permitió el enriquecimiento de la comprensión de la problemática (Pacheco, 2020),

el presente estudio ha seleccionado un grupo de estudiantes del programa de educación superior en hotelería y turismo de la Universidad de Cundinamarca seccional Girardot, debido a su rol como agentes dinamizadores en uno de uno de los sectores económicos asociados actualmente con una de las producciones más significativas de residuos plásticos (Burne, 2020).

Definido el grupo focal y las intervenciones, se diseñó y aplicó en dos oportunidades durante el desarrollo de la metodología una encuesta semiestructurada validada previamente por tres expertos (ver Anexos) para determinar el grado de conocimiento previo al desarrollo de la discusión y posterior a la finalización de la misma, seguidamente se realizó la retroalimentación de los tópicos tratados y la presentación de los resultados obtenidos en el presente estudio, la sesión estuvo distribuida entre presentación, aplicación de primer encuesta, grupo focal, retroalimentación y aplicación de segunda encuesta. Cabe resaltar entre otros aspectos relevantes en este ejercicio, la selección y adecuación de la información según la población, la consulta y provisión de material de apoyo que fue utilizada para facilitar la discusión y el acompañamiento durante toda la sesión, con el fin de guiar la interacción y asegurar que se cubrieron todos los temas relevantes sin influir en las respuestas de los participantes.

6.3.1 Grabación y Observación:

Se tomó evidencia de la sesión mediante grabaciones de vídeo, para tener en cuenta las observaciones detalladas sobre la dinámica del grupo y las expresiones no verbales, de acuerdo con la metodología aplicada por Escobar (2017), donde se evidencia la importancia de grabar la sesión para capturar todas las respuestas y detalles de los participantes con el propósito de reconstruir la atmósfera experimentada y lo expuesto en cada intervención en la discusión, esto para tener un registro y elaborar el posterior análisis de la información.

6.3.2 Análisis de Datos:

Se transcribieron las grabaciones, se tabularon encuestas y se analizaron de manera cualitativa, identificando patrones, tendencias y temas emergentes. El análisis de los resultados de esta fase fue basado en un análisis descriptivo de la encuesta y en un análisis de codificación cualitativa a través del software QDA miner lite.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Evaluación de ciclo de vida

La evaluación del ciclo de vida se llevó a cabo de acuerdo con los estándares organizacionales internacionales para la normalización (ISO), con el fin de proporcionar un marco de referencia para ciertas definiciones, procesos y opciones metodológicas. La evaluación del ciclo de vida se realiza de acuerdo las normas técnicas ISO 14040 e ISO 14044 las cuales consisten en cuatro (4) pasos comprendidos por la definición del objetivo y alcance, análisis del inventario de ciclo de vida, evaluación del impacto de ciclo de vida e interpretación (ICONTEC, 2007).

7.1.1 Definición de objetivos y alcance

Según la NTC ISO 14040 la definición del objetivo y alcance de un análisis de ciclo de vida ACV, se constituye como el primer paso para su desarrollo, en este sentido, es necesario establecer las razones por las cuales se lleva a cabo el estudio y se define su alcance mediante la determinación de la unidad funcional, sus límites y funciones.

Objetivo

La presente investigación tiene como objetivo evaluar un proceso de producción de Polihidroxialcanoatos (PHA's) y un proceso de producción de tereftalato de polietileno (PET) mediante un Análisis de Ciclo de Vida para su uso como herramienta de educación ambiental esto con el fin de plantear alternativas sostenibles con el medio ambiente y mitigar la problemática de la contaminación por plásticos convencionales. De acuerdo a la socialización de los resultados obtenidos, se busca promover la economía circular y sensibilizar hacia la necesidad de cambiar hábitos de consumo de plásticos contaminantes por bioplásticos en los actores económicos del municipio de Girardot, específicamente del sector turismo, debido a que son sus actividades económicas las que mayor volumen de residuos sólidos

no biodegradables generan, así como también a los estudiantes de pregrado de la Universidad de Cundinamarca, puesto a que esta puede ser una oportunidad prometedora de introducir la sostenibilidad ambiental a través de la creación y difusión de conocimiento en la formación de futuros profesionales.

Alcance

Sistema de producto

El sistema de producto para el PHA hace referencia a las fases del proceso, el lodo primario es utilizado como biomasa rica en PHA en diferentes etapas y se transporta a las instalaciones de extracción. La producción de biomasa rica en PHA, requiere diferentes procesos como la fermentación acidogénica, la separación, la selección y la acumulación, además de las fases antes descritas, el proceso de producción de PHA incluye fases de secado, extracción, composición, filtración y evaporación, mientras que el sistema de producto para el PET comprende las etapas de extracción de materia prima (aceite), fabricación de pellets de PET, importación, conversión de pellets a PET previo al embotellamiento, transporte, uso y eliminación (Orola, 2023).

Unidad funcional

Dado que la finalidad del sistema es la producción de PHA a partir de aguas residuales y la producción de PET, la unidad funcional se determinó en 0.872 toneladas de PHA y PET por día.

Límites del sistema

El sistema incluye todas las etapas desde la cuna hasta la puerta, asimismo se tienen en cuenta los flujos elementales, intermedios y productos, las entradas corresponden principalmente a lodos primarios y energía, mientras que las salidas son conformadas por emisiones al aire, suelo y agua.

Procesos de asignación

El presente estudio no aplica procesos de asignación, toda vez que el insumo principal en el proceso de producción de PHA se considera un coproducto derivado de otro proceso (plantas de tratamiento de aguas residuales), por otra parte, se contempla únicamente el PET para la asignación de impactos ambientales derivados de su proceso de producción.

Categorías de impacto seleccionadas y metodología de evaluación

Para calcular el impacto ambiental, el presente estudio emplea el método CML (baseline) y tiene en cuenta las categorías de agotamiento de la capa de ozono, potencial de acidificación, toxicidad humana, eutrofización, ecotoxicidad de agua dulce y terrestre, cambio climático, agotamiento de los recursos abióticos - combustibles fósiles y oxidación fotoquímica.

Suposiciones y restricciones

Debido a la falta de información sobre los procesos y las corrientes de masa y energía para la producción de PHAs, y PET, se llevaron a cabo los supuestos y restricciones para el análisis de ciclo de vida teniendo en cuenta la información encontrada sobre las entradas y salidas de los sistemas de producción en los estudios denominados *environmental life cycle analysis (LCA) of polyhydroxyalkanoate (PHA) production (a techno-environmental assessment)* y *Life Cycle Assessment (LCA) of PET bottles and comparative LCA of three disposal options in Mauritius*.

Requisitos de calidad de los datos

Los requisitos de calidad de los datos para el presente ACV en el Software Open LCA, se basan en normas internacionales como la norma técnica ISO 14040 e ISO 14044, así como en requisitos específicos del mismo software.

7.1.2 Análisis del inventario del ciclo de vida

El análisis del inventario del ciclo de vida consiste en la identificación y recolección de datos del proceso de producción como las entradas y salidas de energía, los materiales o materias primas necesarios, las emisiones, residuos, vertimientos y otros aspectos ambientales referentes al proceso productivo o al sistema de producto.

Para la realización del análisis de inventario del presente trabajo fue necesario compilar los datos correspondientes a las entradas y salidas como insumos, agua, energía, emisiones y residuos en los procesos relacionados al sistema de producción de PHAs. Y PET

Recopilación de datos.

El presente estudio se elaboró con datos obtenidos a través de diversas fuentes como la base de datos elcd_3_2_greendelta_v2_18_, y las investigaciones realizadas por Orola, (2023) y por Foolmaun, R. K., Ramjeawon, T. (2008)

PHA

Tabla 1. Procesos del sistema de producción de PHA

Fermentación acidogénica
Centrifugado 1
Reactor de selección
Reactor de acumulación
Centrifugado 2
Secado
Extracción
Almacenamiento
Filtrado
Evaporación

Fuente (Autores,2023)

Tabla 2. Unidades de referencia

Unidad de referencia	Valor por año	Unidad	Valor por mes	Valor por día
Masa	314	T	26,1666667	0,87222222

Fuente (Autores,2023)

Tabla 3. Entradas del proceso de producción de PHA

Entradas	Valor por año	Valor por mes	Valor por día	Unidad
Lodos	52889	4407,41667	144,901369	T
Electricidad	5785,57	482,130833	16,0710278	Mwh
Calor	3066,36	255,53	8,51766667	Mwh
Agua	14660,83	1221,73583	40,7245278	T
Vapor	1419,88	118,323333	3,94411111	T
Carbonato de dimetilo	11916	993	33,1	T

Fuente (Autores,2023)

Tabla 4. Salidas del proceso de producción de PHA

Salidas	Valor por año	Valor por mes	Valor por día	Unidad
Sólidos	12164,47	1013,70583	33,7901944	T
Efluente de biomasa	60834,3	5069,525	168,984167	T
Vapor	1254,32	104,526667	3,48422222	T
Agua de refrigeración	4745,08	395,423333	13,1807778	T

Fuente (Autores,2023)

PET

Tabla 5. Procesos del sistema de producción de PET

Extracción de materias primas
Producción de polímeros industriales de pellets
Moldeo por inyección
Prefabricado de PET
Fabricación de preformas
Fabricación de botellas
Distribución
Uso
Eliminación

Fuente (Autores,2023)

Tabla 6. Entradas proceso de producción de PET

Entrada	Valor para 6 mil botellas de PET	Valor para 24 mil botellas de PET	Unidad
Petróleo Crudo	177	708	Kg
Biomasa	210	840	Kg
Gas Natural (materia prima)	84	336	M3
Sal de roca	1,44	5,76	Kg
Estiércol	860	3440	g
Agua de proceso y refrigeración	4,2	16,8	M3
Agua de proceso	3,09	12,36	L
Madera	6,57	26,28	Kg
Madera (materia prima)	4,52	18,08	Kg
Gas Natural (Vol)	110	440	M3

Petróleo Crudo ETH	593	2372	Kg
ETH de Carbón	37,7	150,8	Kg
Lignito ETH	36,6	146,4	Kg
Gas natural ETH	24,9	99,6	M3
POT energía hidroeléctrica	201	804	MJ
Vapor procedente de incineración de residuos	954	3816	MJ
Entrada de energía procedente de electricidad	6410	25640	MJ

Fuente (Autores,2023)

Tabla 7. Salidas proceso de producción de PET

Salidas			
Emisiones al aire			
Salida	Valor para 6 mil botellas de PET	Valor para 24 mil botellas de PET	Unidad
CO	4,43	17,72	Kg
CO₂	2420	9680	Kg
HC	1,93	7,72	Kg
Polvo	1,63	6,52	Kg
CH₄	31,7	126,8	Kg

VOC	12,2	48,8	Kg
NO₂	8,87	35,48	Kg
SO₂	23,4	93,6	Kg
Emisiones al agua			
Sustancias inorgánicas	10,4	41,6	Kg
DBO	0,25	1	Kg
Ion clorato	7,38E-03	0,02952	Kg
Ion cloruro	18,1	72,4	Kg
DQO	0,96	3,84	Kg
Sólidos suspendidos	1,63	6,52	Kg
Carbono orgánico total (TOC)	3,05	12,2	Kg
Aguas residuales	460	1840	Kg
Emisiones al suelo			
Residuos de minería	7,14	28,56	Kg
Residuos bioactivos	3,69	14,76	Kg
Residuos inertes	0,058	0,232	Kg
Pb	0,000369	0,001476	Kg
Cd	0,000908	0,003632	Kg
Hg	0,000237	0,000948	Kg

Fuente (Autores,2023)

7.1.3 Evaluación del impacto de ciclo de vida e interpretación

La evaluación del impacto de ciclo de vida tiene como propósito estimar cuán significativos son los impactos ambientales potenciales del inventario de ciclo de vida (ICV), a través de la asociación de

este con las categorías de impactos y sus indicadores. La evaluación del impacto de ciclo de vida se puede desarrollar mediante diversos métodos como la herramienta para la reducción y evaluación de impactos químicos y otros impactos ambientales (TRACI) o la metodología del centro de ciencias ambientales de la universidad de Leiden (CML), esta última es una metodología desarrollada por el centro de estudios ambientales de la universidad de Leiden en Países Bajos, posee diversas categorías de impacto como el agotamiento de la capa de ozono, potencial de acidificación y cambio climático entre otros (Kheiralipour, 2021). Por otra parte (TRACI) es una metodología desarrollada por la agencia de protección ambiental de los estados unidos (EPA) para evaluar los impactos ambientales en términos de daños para la salud humana, daños a la calidad de los ecosistemas y pérdida de recursos naturales entre otros (Suksuwan, 2020).

Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

En la presente fase se evaluaron los impactos ambientales derivados del proceso de producción de PHA y PET a partir de los datos de entradas y salidas especificadas anteriormente en la fase de análisis de inventario de ciclo de vida.

Categoría de Impacto

Se presentan los resultados del ACV realizado mediante el software OpenLCA con base en la metodología CML “baseline” y se efectúa la descripción de los resultados de las categorías de impacto. La producción de polihidroxialcanoatos a partir de lodos y cultivos mixtos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales y el proceso de producción de plástico convencional a base de PET generan los siguientes impactos:

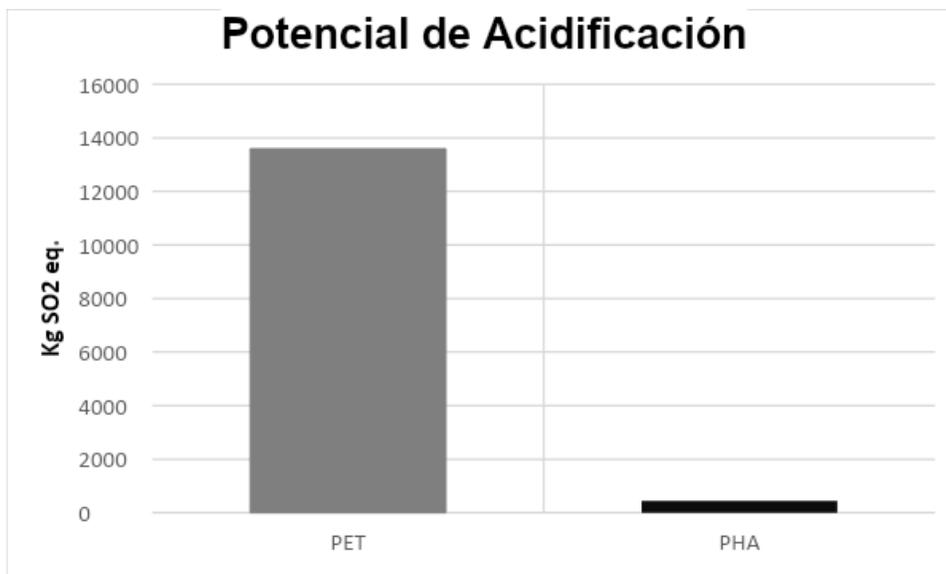
Figura 3. *Agotamiento de la capa de ozono*



Fuente (Autores,2023)

La capa de ozono se encuentra situada en la estratósfera, su función es filtrar la radiación ultravioleta, sin embargo, el agotamiento de la capa de ozono favorece el aumento de radiación UV-B que impacta la superficie terrestre, este tipo de radiaciones se encuentra relacionada con el incremento de enfermedades como cataratas y cáncer de piel, por otra parte, se sabe de sus afectaciones al sector agrícola, deterioro de materiales y alteración de los ecosistemas (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2023), respecto a la categoría de impacto de agotamiento de la capa de ozono el proceso de producción que mayor impacto ambiental generó fue el correspondiente al plástico (PET) con 0,1114 kg CFC-11 eq, mientras que el del (PHA) fue de 0,0045 kg CFC-11 eq, principalmente debido a que el proceso de producción de tereftalato de polietileno basado en la polimerización por condensación del etilenglicol y el ácido tereftalático no se encuentra directamente relacionado con la generación de fluorocarbonos, no obstante, según la literatura dichas emisiones en el proceso de producción del termoplástico se encuentran relacionadas con la adición de procesos y el agregado de aditivos a base de flúor (Gursel, 2021)

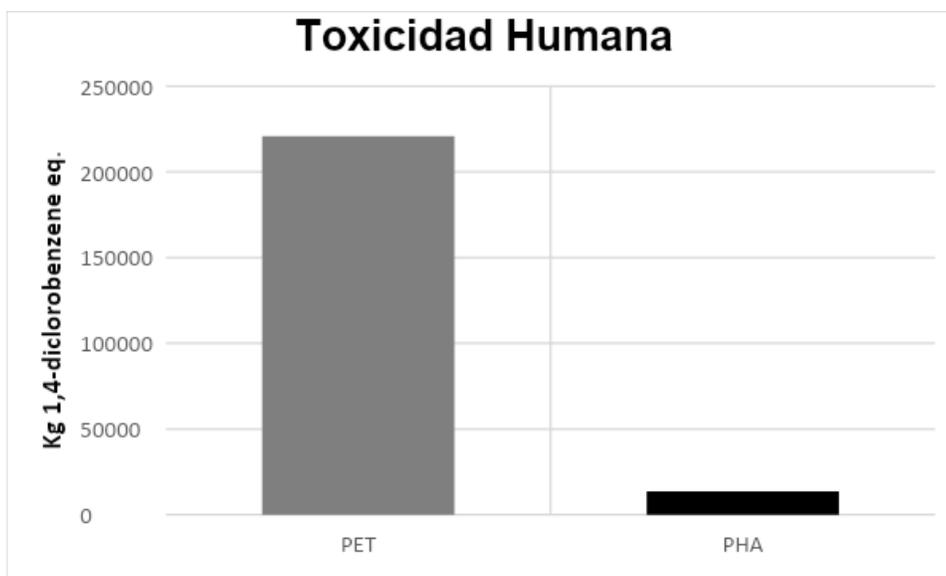
Figura 4. *Potencial de acidificación*



Fuente (Autores,2023)

Esta categoría de impacto hace referencia a la variación de acidez del medio como el suelo, agua y atmósfera que es causada por la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro. El indicador para la categoría de acidificación se expresa en Kg SO₂ Eq (Garraín, 2009). Tal como se evidencia en la figura 4, el proceso de producción con mayor aporte de Kg SO₂ Eq al ambiente se atribuye al PET con 13 590,597 Kg SO₂ Eq, mientras que el del PHA fue de 443,385 Kg SO₂ Eq. Lo siguiente debido a que el proceso de producción de tereftalato de polietileno (PET), implica aspectos que derivan en la acidificación del medio de forma indirecta como lo son la utilización de catalizadores para la producción del ácido tereftálico, empleado para la fabricación de resina virgen, así como también, de la alta demanda energética del proceso industrial muy dependiente de combustibles fósiles, susceptibles de emitir óxidos de nitrógeno y azufre, como principales precursores en la formación de lluvia ácida, como lo menciona (Nieto, 2020) en su estudio denominado Circular economy: comparative life cycle assessment of fossil polyethylene terephthalate (PET) and its recycled and bio-based counterparts, en el cual se realizó una evaluación comparativa del ciclo de vida de un proceso de producción de tereftalato de polietileno (PET) con sus homólogos reciclados y de origen biológico.

Figura 5. Toxicidad humana

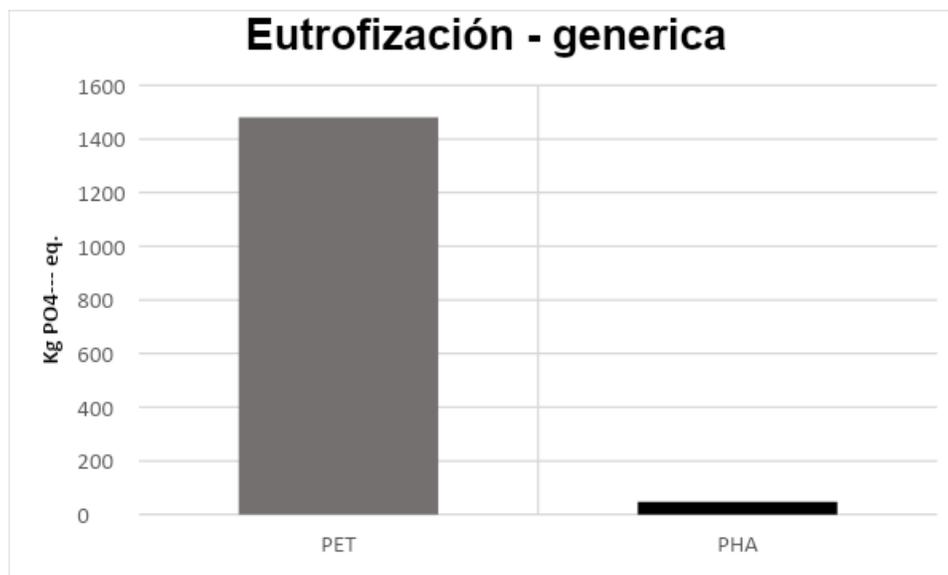


Fuente (Autores,2023)

Consiste en los efectos sobre la salud humana derivados de las sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente. La toxicidad intrínseca de una sustancia dependerá de la misma, la vía de administración, dosis, exposición, entre otros aspectos. Cabe resaltar que un contaminante no permanece en el sitio en el cual fue emitido, ya que puede desplazarse (Gash, 2020). De este modo, el proceso de producción que presentó el mayor impacto ambiental fue el correspondiente al de PET con 220743,763 kg 1,4-DB eq (Kg de di Cloro Benceno), según se presenta en la figura 5 en contraste al PHA que presenta un valor de 13576,696 kg 1,4-DB eq. Según la literatura algunas fases en la producción del tereftalato de polietileno (PET), como lo son la producción de materias primas (etilenglicol y el ácido tereftálico) y la policondensación debido a la combinación de ambos monómeros, mediante la utilización de agentes de reacción o catalizadores, se encuentran asociadas con la posibilidad de toxicidad humana, por otra parte se sugiere que existen otras actividades inherentes al proceso de producción donde la categoría de impacto se encuentra relacionada indirectamente, como lo puede ser en el manejo de los productos intermedios y finales comprendido por su manipulación, distribución y almacenamiento, así como también, en el manejo de subproductos. (Rodríguez, 2022), por otra parte, según Chavan (2019) en su estudio denominado “Life Cycle Assessment (LCA) of (PET) Bottles”, en la actualidad existen medidas que evalúan el riesgo por migración o lixiviación de sustancias químicas en productos comestibles

embalados con tereftalato de polietileno, en cuanto a los compuestos de antimonio empleados como catalizadores en la policondensación y el trióxido de antimonio utilizado en la formación de enlaces covalentes de (PET). Se han desarrollado estudios de migración al agua, dado que se utiliza en concentraciones (PPM) en la fabricación y posee un fuerte enlace químico luego de la polimerización, se reduce el riesgo de toxicidad humana, sin embargo, se continúa analizando otros productos químicos implicados en la producción del (PET), como estabilizadores (ácido fosfórico), aditivos y colorantes.

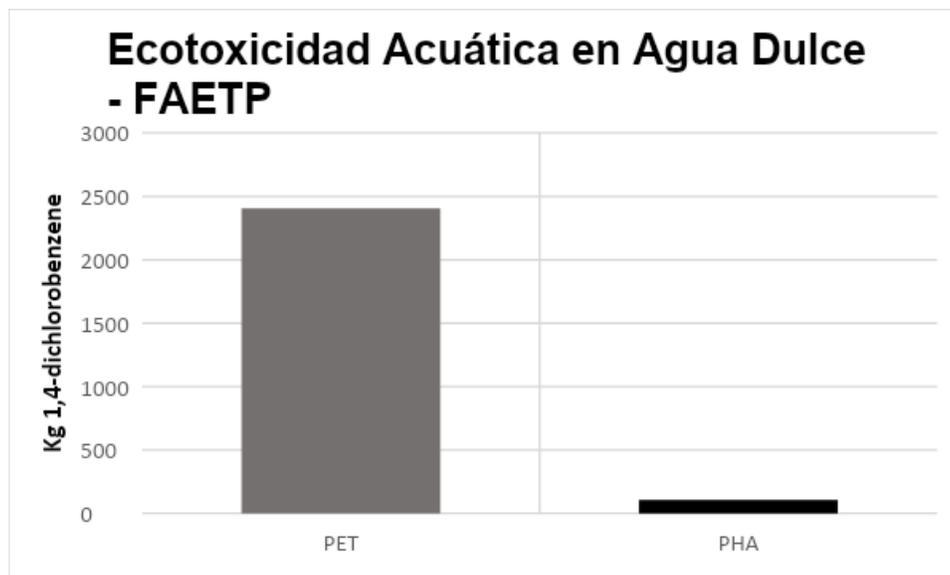
Figura 6. Eutrofización



Fuente (Autores,2023)

Se conoce como el enriquecimiento de nutrientes en cuerpos de agua, específicamente de nitrógeno y fósforo, lo que ocasiona el incremento excesivo de materia orgánica, por ende, un crecimiento acelerado de algas y otras plantas de tonalidad verde en la parte superficial del agua. Un aumento de las algas en los ecosistemas acuáticos implica una disminución en el contenido de oxígeno, lo que finaliza en la desaparición de cualquier tipo de vida aeróbica (Goretti, 2018)., así la figura 6 indica que el PET en su proceso productivo es el plástico que más impacto genera puesto que aporta aproximadamente 1480,026 kg PO₄ eq en comparación con los 47,254 aportados por el PHA. Según Auras (2009) en su estudio denominado “Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology ” en lo que concierne a la categoría de eutrofización en el proceso de producción del tereftalato de polietileno, los contaminantes con mayor aporte son los óxidos de nitrógeno, estas emisiones en el proceso de producción del tereftalato de polietileno se encuentran directamente relacionadas con el consumo de combustible fósil como el gas natural y petróleo crudo para las operaciones de policondensación, síntesis de ácido tereftálico y oxidación de P-Xileno (Rangel, 2016).

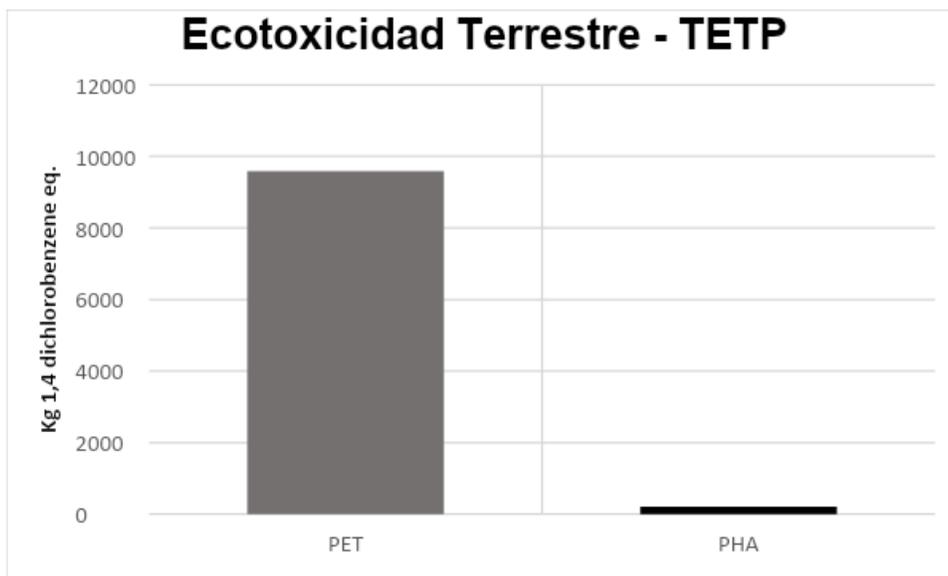
Figura 7. Ecotoxicidad en agua dulce



Fuente (Autores,2023)

La ecotoxicidad en agua dulce hace referencia al estudio de los efectos tóxicos de las sustancias en los organismos que habitan en ecosistemas de agua dulce como lagos, arroyos, ríos, entre otros (Esperanza, 2017), de este modo, según muestra la figura 7, el proceso de producción que presenta el mayor potencial de ecotoxicidad acuática en agua dulce corresponde al PET aportando 2407,326 kg 1,4-DB eq mientras que el PHA 107,489 kg 1,4-DB eq. Respecto a la categoría de impacto y el proceso de producción de tereftalato de polietileno, se debe principalmente a la descarga de sustancias como Arsénico, Cadmio y Formaldehído provenientes de diversas fuentes, en las diferentes etapas de ciclo de vida del producto, destacando la extracción de preformas y resinas, así como también en el proceso de fabricación para el acabado final de la botella (Tamoor, 2022).

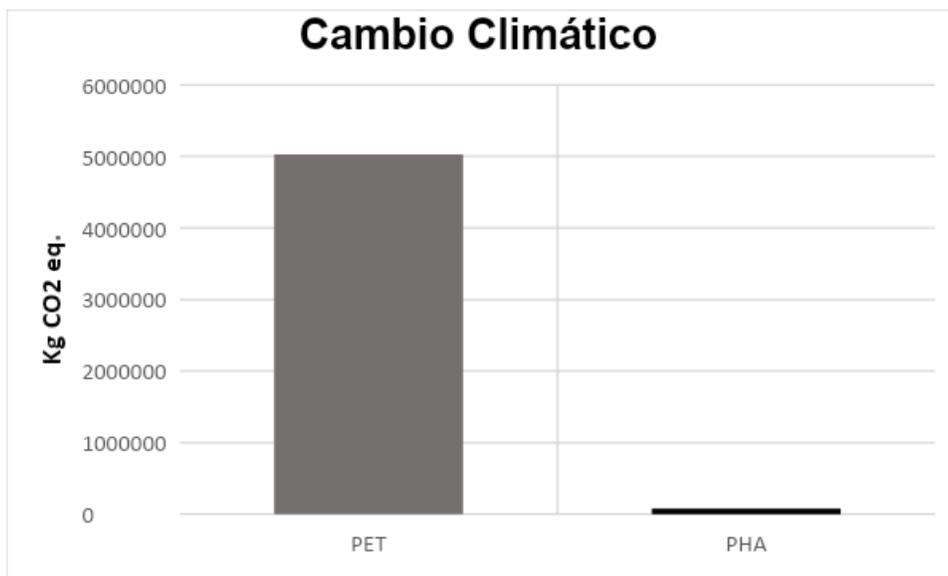
Figura 8. Ecotoxicidad terrestre



Fuente (Autores,2023)

La ecotoxicidad es utilizada como indicador del grado de impacto que poseen algunas sustancias en los ecosistemas de agua de mar, agua dulce y terrestre, así como también en sus organismos, de este modo, la categoría de impacto de ecotoxicidad terrestre se refiere al estudio de los efectos derivados de sustancias tóxicas en los organismos que habitan en el compartimento suelo, (López, 2022), el proceso de producción que presentó el mayor impacto ambiental en la presente categoría fue el del PET, con un aporte de 9581.866 kg 1,4-DB eq y de 207.025 kg 1,4-DB eq por parte del plástico PHA, El tereftalato de polietileno es uno de los materiales más empleados para la producción de envases como botellas de plástico, debido a su resistencia y bajo costo de procesamiento, el aporte significativo del proceso de producción del PET a la categoría se debe principalmente los aspectos ambientales acumulados por la producción del material a lo largo de todo el ciclo de vida, desde la generación de la materia prima hasta su disposición final (Gomes, 2022).

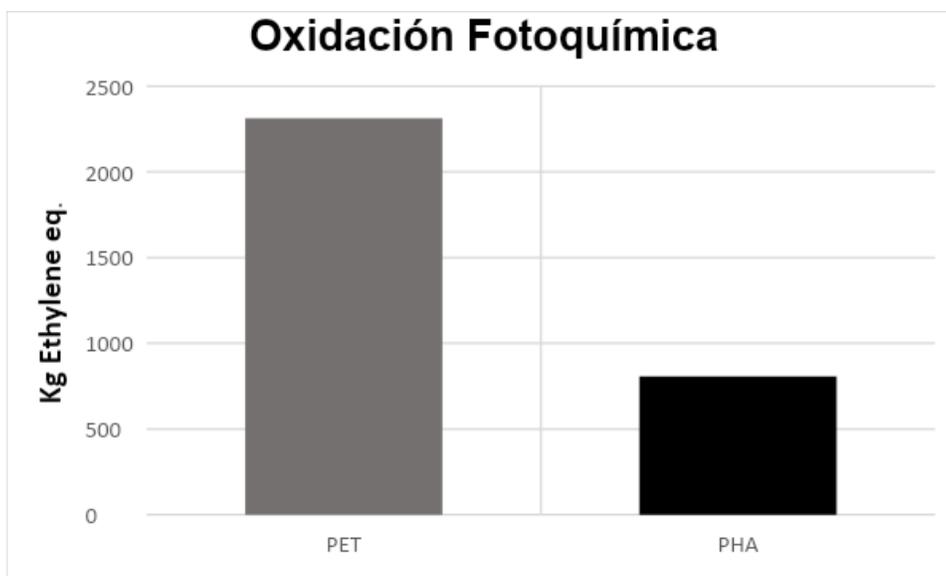
Figura 9. Cambio climático



Fuente (Autores,2023)

Consiste en la variación del clima de la tierra a causa de la absorción de radiación por algunos gases presentes en la atmósfera (CO_2 , CH_4 , N_2O Y CFCs), a este fenómeno se le conoce como efecto invernadero. En la actualidad debido a la acción antropogénica se ha presentado un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero lo que ha influido en un sobrecalentamiento del planeta y por lo tanto en la alteración de sus condiciones naturales (Ziegler, 2019), Según lo mencionado, el proceso de producción que presento el mayor aporte para esta categoría corresponde al PET, pues aporta 5025773.617 Kg CO_2 eq de emisiones al aire, en comparación con el aporte obtenido para el proceso de PHA 76094.492 Kg CO_2 eq. El proceso de producción de polihidroxialcanoatos es desarrollado a partir de la fermentación de fuentes renovables como sustratos orgánicos y carbohidratos, el proceso es ejercido por la acción de microorganismos principalmente por bacterias. En este sentido, la generación de gases de efecto invernadero (GEI) es menor en comparación a la cantidad emitida en la fabricación del plástico PET, en el cual se utilizan recursos energéticos no renovables como el petróleo que se extrae y refina para la obtención de las materias primas, por lo tanto, es un proceso en el que se producen emisiones de GEI según Cárdenas, (2020), las cuales contribuyen al cambio climático, así mismo, se consumen muchos recursos energéticos en otras etapas de la producción del PET que liberan gases como el CO_2 (Beltaco, 2016), lo que explicaría la mayor cantidad de emisiones de CO_2 de este plástico en comparación con las del plástico biodegradable.

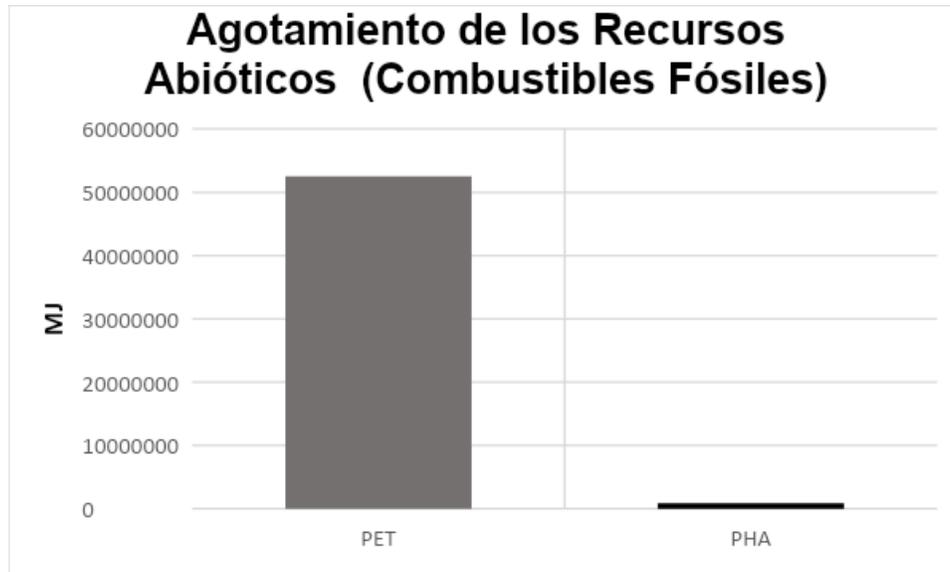
Figura 10. *Oxidación fotoquímica*



Fuente (Autores,2023)

El ozono (O_3) se produce de manera natural en pequeñas cantidades en la atmósfera terrestre y se caracteriza por ser un gas muy reactivo. Sin embargo, cuando este se encuentra en la troposfera, es conocido como ozono troposférico y se produce por la reacción entre óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno en presencia de los rayos ultravioleta. Este tipo de ozono es nocivo debido a que causa afectaciones en la salud humana como la generación de enfermedades respiratorias y en los ecosistemas el deterioro del recurso flora (Valle, 2020). Respecto a la categoría de impacto, el proceso de producción que evidencio el mayor aporte corresponde al PET con 2313.114 kg de C_2H_4 eq (kilogramos de etileno), mientras que el del PHA 806.383 kg de C_2H_4 eq, lo anterior según Suasnavas, (2017) se debe principalmente al aporte de emisiones atmosféricas precursoras de oxidantes fotoquímicos como compuestos orgánicos volátiles Covs o de otros compuestos contaminantes en la síntesis del etilenglicol y el ácido tereftalatico, empleados como monómeros para la fabricación del PET, por otra parte según Joya, (2023) La formación de compuestos orgánicos volátiles se puede generar durante cualquier fase del ciclo de vida del PET, siendo en la fabricación, procesamiento y extrusión a causa de procesos de oxidación térmica, como también por irradiación durante el proceso de envasado.

Figura 11. Agotamiento de los recursos abióticos - combustibles fósiles



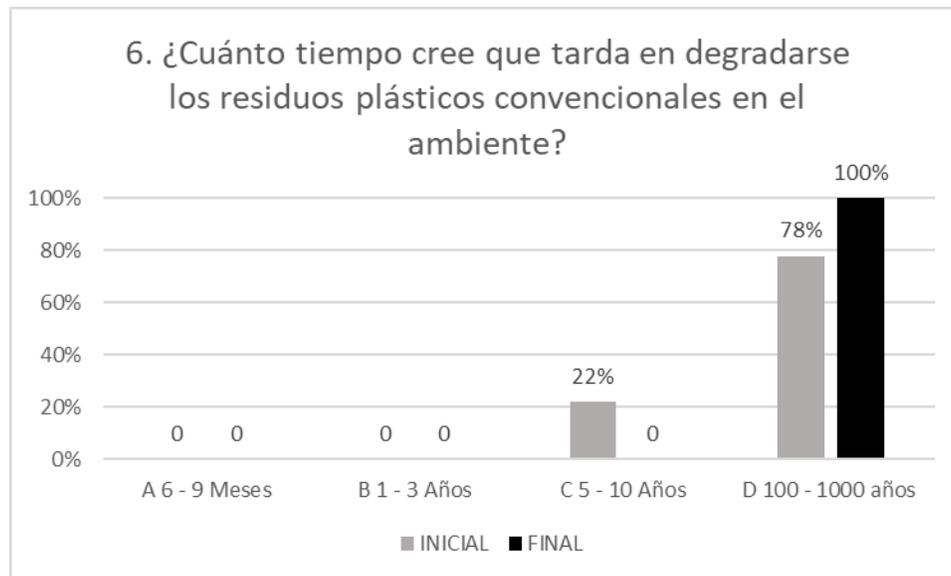
Fuente (Autores,2023)

Esta categoría de impacto hace referencia a la disminución de la disponibilidad de los recursos naturales, especialmente a la energía fósil, por tanto, el objetivo del indicador consiste en evaluar cómo la extracción y uso de los recursos no renovables como el petróleo, gas natural y el carbón (todos portadores de energía) derivan en su agotamiento (Duque, 2020). La categoría se encuentra expresada en unidades de Megajulios (MJ), tal como se aprecia en la figura 13, por otra parte, respecto a los procesos productivos y su aporte a la categoría de impacto, el proceso de producción que presentó el mayor aporte fue el correspondiente al de PET, con una cifra aproximada de 52550050.371 MJ, mientras que el PHA fue de 858205.311 MJ. Lo anterior debido a los altos requerimientos energéticos que posee la industria, el cual presenta una fuerte dependencia de insumos fósiles como materia prima, específicamente del petróleo crudo y gas natural, para responder a esta necesidad, a la inversa, en el proceso productivo de PHA no se percibe una fuerte dependencia de estos recursos, por tanto, no representa un aporte significativo a la categoría de impacto (Vural, 2021).

7.2 Educación a las comunidades y socialización de resultados

Se presentan los resultados de la encuesta inicial y final aplicada a los 9 participantes del grupo focal, mediante gráficos descriptivos y se realizan las aseveraciones correspondientes de acuerdo con el incremento o disminución porcentual de las respuestas más relevantes.

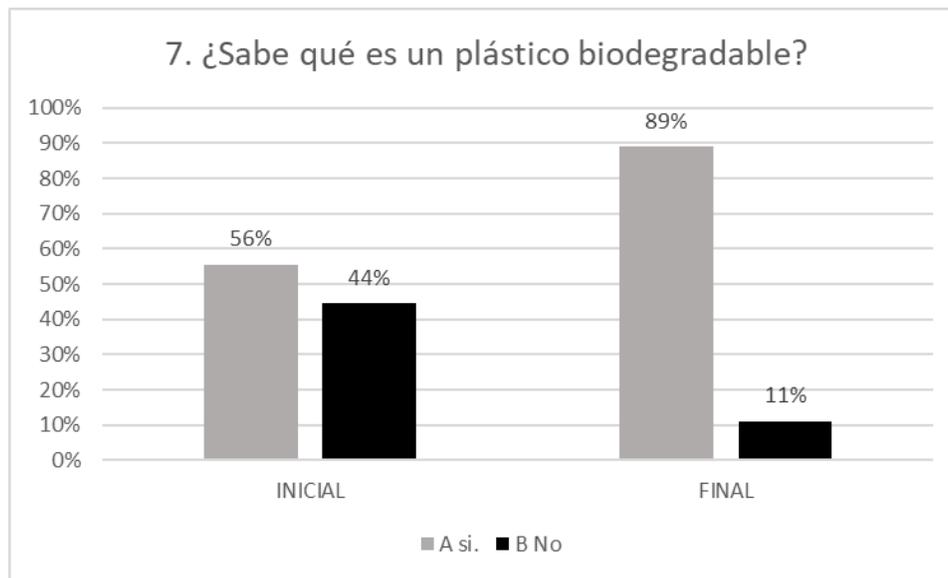
Figura 12. Resultados pregunta 6



Fuente (Autores,2023)

La pregunta número seis permitió identificar el conocimiento de los encuestados respecto al tiempo de degradación de los plásticos convencionales tras su disposición final. Según la figura 12, en la encuesta inicial el 22 % de los participantes percibía que el tiempo de degradación del plástico convencional correspondía al lapso comprendido entre 5 y 10 años, mientras que un 78% consideraba un tiempo entre 100 y 1000 años, posterior a la aplicación de la encuesta final, se observó que el 100% de los encuestados coincidió en que el tiempo de degradación del plástico convencional se encontraba entre 100 y 1000 años. De acuerdo con lo anterior respecto a la categoría “100 y 1000 años”, se pudo evidenciar que la metodología de grupo focal y el análisis de ciclo de vida, contribuyó a la adquisición de conocimiento puesto que incrementó su respuesta en un 28 % en comparación a la encuesta inicial.

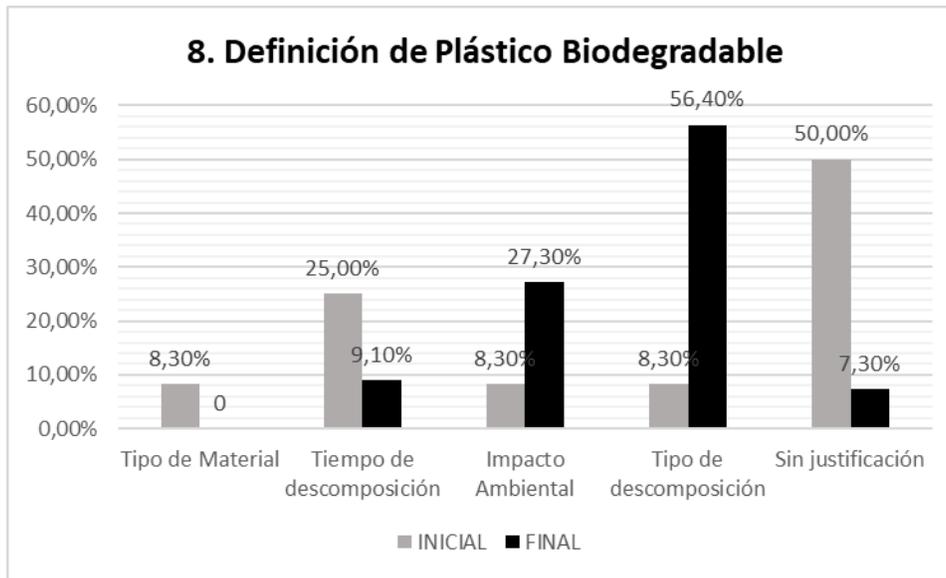
Figura 13. Resultados pregunta 7



Fuente (Autores,2023)

La pregunta 7 permitió identificar qué porcentaje de la población reconoce el concepto de plástico biodegradable. Según la figura 13, en la encuesta inicial el 56 % de encuestados afirmó reconocer el concepto, mientras que un 44% indicó desconocerlo, posterior a la aplicación de la encuesta se observó que un 89% de los encuestados manifestó comprenderlo, mientras el otro 11% afirmó aún no reconocer el concepto. Según los resultados de la encuesta final fue posible evidenciar un incremento del 59 % en lo que respecta a los participantes que respondieron reconocer el concepto de plástico biodegradable y una disminución del 75 % de aquellos que manifestaron no conocerlo.

Figura 14. Resultados pregunta 8

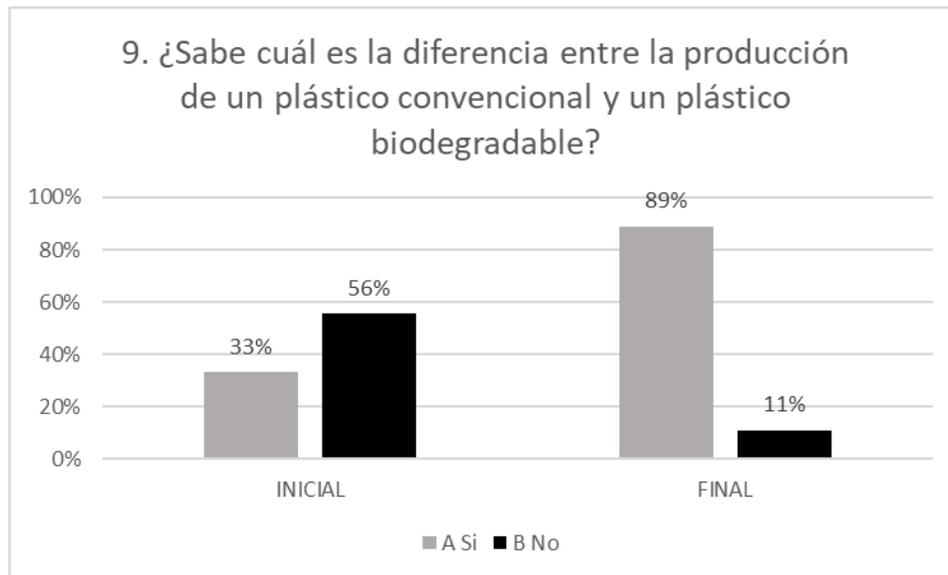


Fuente (Autores,2023)

Esta pregunta permitió identificar el nivel de conocimiento de los encuestados referente a la comprensión del concepto de plásticos biodegradables. Para el análisis cualitativo de esta respuesta se establecieron 5 categorías de acuerdo con las respuestas de la población encuestada, estas 5 categorías evidencian cómo los participantes basan su definición de plástico biodegradable con base en: tipo de material, tiempo de descomposición, impacto ambiental, tipo de descomposición y sin justificación. De este modo, tras la aplicación inicial de la encuesta se observó que un 8,3% definió el plástico por el tipo de material, un 25% de acuerdo con el tiempo de descomposición, un 8,3% respecto al impacto que genera, otro 8,3 % según el tiempo de descomposición y un 50% no justificó su respuesta. Luego de la aplicación de la metodología de grupo focal, se obtuvo que un 0% de la población no respondió de acuerdo con el tipo de material, 9,1 % respondió de acuerdo al tiempo de descomposición, 27,3 % definió los plásticos de acuerdo al impacto ambiental, un 56,4 % con base al tiempo de descomposición y un 7,3 % no respondió la pregunta. En correspondencia con lo anterior, respecto a la categoría “sin justificación”, se pudo evidenciar que la metodología de grupo focal y el análisis de ciclo de vida, permitió la adquisición de conocimiento puesto que disminuyó su respuesta en un 85% en contraste a la encuesta inicial. Por otro lado, se puede inferir que la categoría “tipo de descomposición” obtuvo más contestaciones en

comparación con las otras categorías en la encuesta final, debido a que los participantes percibieron la degradación como la principal característica del plástico biodegradable.

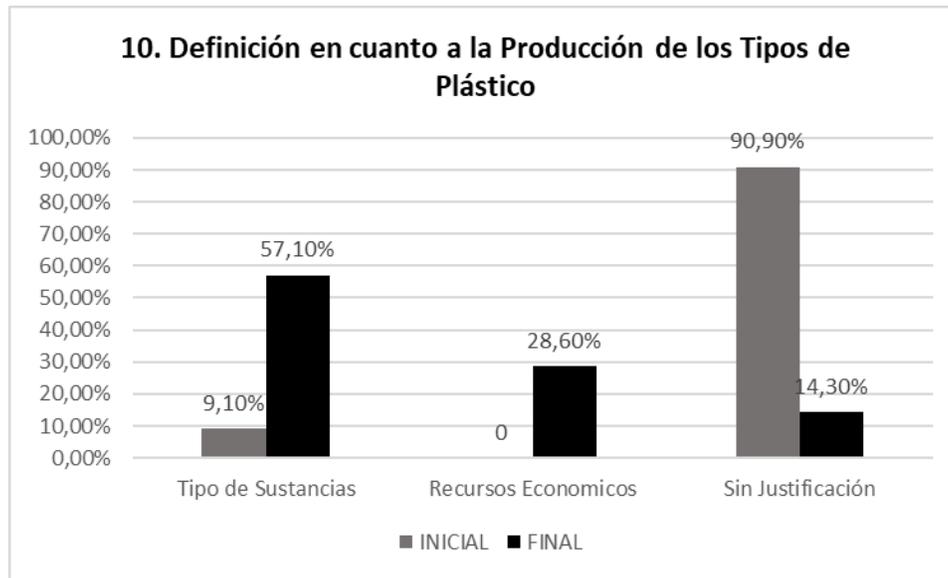
Figura 15. Resultados pregunta 9



Fuente (Autores,2023)

La pregunta 9 permitió identificar el conocimiento de la población sobre la diferencia entre el proceso de producción del plástico convencional y el plástico biodegradable. Según la figura 15, en la encuesta inicial el 33 % de la población afirmó reconocer la diferencia entre ambos procesos de producción, mientras que un 56% de la población indicó desconocer la diferencia, por otra parte, el 11 % restante no respondió. posterior a la realización de la metodología, se observó que un 89% manifestó reconocer las diferencias en los procesos, mientras que 11% afirmó aún no reconocerlo. Según los resultados de la encuesta final fue posible evidenciar un incremento del 170% en lo que respecta a los participantes que respondieron reconocer la diferencia entre la producción de un plástico convencional y uno biodegradable y una disminución del 80 % de aquellos que manifestaron no conocerlo.

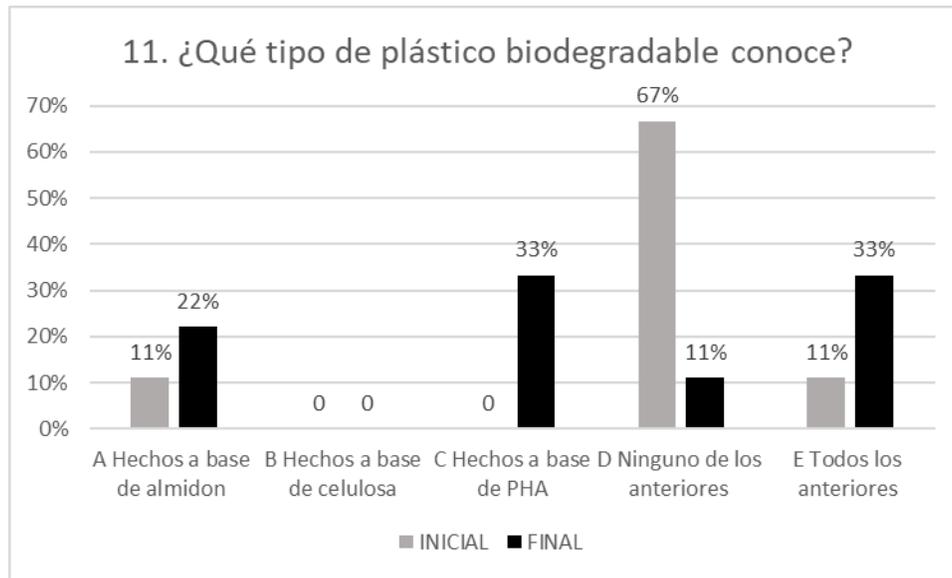
Figura 16. Resultados pregunta 10



Fuente (Autores, 2023)

La pregunta 10 permitió conocer cómo definen los participantes la diferencia entre el proceso de producción de los tipos de plástico (convencional y biodegradable). Para el análisis cualitativo de esta respuesta se establecieron 3 categorías de acuerdo con las respuestas de los encuestados. Según la figura 16, los resultados de la encuesta inicial indicaron que el 9,1 % de los encuestados definió la diferencia referente al tipo de sustancias y un 90,9 % no justificó la respuesta. Posterior a la aplicación de la metodología de grupo focal la encuesta final indicó que un 57% de los encuestados estableció la diferencia de los procesos de producción con base al tipo de sustancia utilizada, un 28,6 % señaló que los recursos económicos y un 14,3 % no contestó. De acuerdo con lo anterior, respecto a la categoría “sin justificación”, se pudo evidenciar que la metodología de grupo focal y el análisis de ciclo de vida, contribuyo a la asimilación del conocimiento puesto que disminuyó su contestación en un 84 % en contraste con la encuesta inicial.

Figura 17. Resultados pregunta 11



Fuente (Autores,2023)

La pregunta 11 busca identificar el conocimiento existente respecto a los tipos de plásticos biodegradables presentes en el mercado. Según la figura 17, un 11% de los encuestados manifestó conocer el plástico biodegradable a base de almidón, un 67% indicó desconocer los plásticos biodegradables señalados, 11% indicó conocer todos los plásticos mencionados en la pregunta y un 11% no respondió. En la encuesta final el 22% manifestó conocer el plástico biodegradable a base de almidón, un 33% los plásticos biodegradables a base de PHA, un 11% indicó desconocer los tipos de plástico mencionados y un 33% respondió desconocer los plásticos biodegradables señalados. Según lo anterior, respecto a la categoría “Ninguna de las anteriores”, se pudo evidenciar que la metodología de grupo focal y el análisis de ciclo de vida, contribuyó a la asimilación del conocimiento puesto que disminuyó su contestación en un 83% en contraste con la encuesta inicial.

Figura 18. Estrategias de mitigación a la problemática de contaminación por plásticos



Fuente (Autores,2023)

Para el cierre de la discusión con el grupo focal, se realizó la pregunta: ¿Desde el sector económico al cual pertenecen, qué estrategias creen que pueden implementar en los eventos turísticos del municipio para mitigar el impacto ambiental de la contaminación por residuos plásticos? De acuerdo con las respuestas provistas por los encuestados, se establecieron 3 categorías para el análisis cualitativo tal como se evidencia en la figura 18, en la cual un 12 % de la población manifestó que se debe fomentar la cultura ciudadana, un 13 % mencionó la importancia de incluir la educación ambiental en los procesos de formación educativa y un 75 % afirmó que se deben establecer controles rigurosos en cuanto a la disposición final de residuos plásticos en eventos turísticos. Con base en las respuestas anteriores se puede inferir que las personas perciben importante incluir y propiciar la educación ambiental desde ámbitos como el hogar y la academia, así como también realizar prácticas que permitan verificar la correcta gestión de los residuos plásticos, como estrategias principales para mitigar la contaminación por plásticos derivada del sector del turismo.

8. CONCLUSIONES

Se desarrolló el análisis de ciclo de vida de los procesos de producción de acuerdo con la metodología de la norma ISO 14040, la evaluación del proceso de producción de polihidroxicanoatos (PHAs) y el proceso de producción de tereftalato de polietileno PET mediante el análisis de ciclo de vida empleando los datos de entradas y salidas de los procesos descritos en los estudios de Orola, (2023) y Foolmaun, R. K., Ramjeawon, T. (2008) , lo anterior permitió entender la perspectiva y el conocimiento de los participantes de la comunidad universitaria referente a la problemática de contaminación por plásticos asociada al sector turismo.

De igual manera, a través de los resultados de los análisis de ciclo de vida de ambos plásticos, se evidenció información detallada de cálculos y modelado de los procesos, los cuales facilitaron la comprensión de los impactos ambientales establecidos y sirven al aporte de información valiosa para una planificación estratégica y el mejoramiento del desempeño ambiental del sector.

Asimismo, se analizaron los impactos ambientales de la producción de PHA y PET con base en el análisis de ciclo de vida, permitiendo inferir que el proceso de producción del plástico PET presentó el mayor aporte en las categorías de impacto evaluadas en contraste con el proceso de producción del plástico PHA, por tanto, genera mayores impactos negativos al ambiente provocando afectaciones a la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas.

Por último, se evidencia la efectividad del análisis de ciclo de vida como herramienta de educación ambiental, concluyendo que la utilización de estos contribuyó en la transferencia de conocimientos en la comunidad educativa respecto a la puesta en funcionamiento de nuevas estrategias encaminadas a la mitigación de la problemática mundial actual de la contaminación por plásticos.

9. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el trabajo de grado, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Debido al importante rol que tiene la academia en la creación y aporte de conocimiento científico para la resolución de problemáticas, así como también de la responsabilidad en la planificación, gestión de recursos y el desarrollo de políticas para el abordaje de dichas problemáticas que tienen las instituciones públicas, para próximas investigaciones se recomienda realizar un trabajo interinstitucional entre la academia y el sector público, que permita potenciar soluciones de mayor impacto a las sociedades y su ambiente.

- Para evidenciar un mayor impacto y validez en la obtención de resultados en este tipo de estudios, se recomienda trabajar de la mano con el sector externo, y con apoyo gubernamental, para lograr más alcance al sector turístico del Municipio.

- El estudio de análisis de ciclo de vida permitió identificar que el consumo de combustible fósil y energía se consolida como uno de los aspectos más determinantes en el proceso de producción del tereftalato de polietileno a lo largo de sus etapas de fabricación, por lo cual es importante que esta industria y los tomadores de decisiones del sector, promuevan estudios que tengan en cuenta la utilización de energías alternativas con el fin de reducir su dependencia de combustibles fósiles y el impacto ambiental asociado a su producción.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achkar, M., Cantón, V., Cayssials, R., Domínguez, A., Fernández, G., Pesce, F., De, S., & Permanente,

E. (2005). *Ordenamiento ambiental del territorio*.

https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/20227/1/FCIEN_AchkarM_2005_OrdenamientoAmbientaDelTerritorio.PDF

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2023). *Environmental Protection Agency*.

<https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/ozono.pdf>

Alcaldía Municipal de Girardot. (2021). *Plan municipal de desarrollo: Girardot 2020-2023*.

<https://www.obsgestioneducativa.com/download/plan-de-desarrollo-municipal-girardot-2020-2023/>

Alcaldía municipal de Girardot. (2020). *Consejo municipal de Girardot*. [https://concejo-municipal-de-](https://concejo-municipal-de-girardot.micolombiadigital.gov.co/sites/concejo-municipal-de-girardot/content/files/000124/6184_acuerdo-003-de-2020-plan-de-desarrollo.pdf)

[girardot.micolombiadigital.gov.co/sites/concejo-municipal-de-girardot/content/files/000124/6184_acuerdo-003-de-2020-plan-de-desarrollo.pdf](https://concejo-municipal-de-girardot.micolombiadigital.gov.co/sites/concejo-municipal-de-girardot/content/files/000124/6184_acuerdo-003-de-2020-plan-de-desarrollo.pdf)

Álvarez Da Silva, L. (2016). *Síntesis de PHAs en R. Eutropha* [Imagen].

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/54517/BIOPL%20c3%81STICOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Belen Alcocer, E. (2020). *Determinación del ahorro energético y ahorro de emisiones derivadas del reciclaje de envases PET frente a la disposición en rellenos sanitarios, con base en la valoración del ciclo de vida del producto en Ecuador*.

<https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12356/1/UDLA-EC-TIAM-2020-22.pdf>

Beltaco, M. (2016). *El impacto ambiental de la generación de gases de efecto invernadero en la seguridad alimentaria. Análisis de la perspectiva de la fabricación de envases flexibles para alimentos*.

<http://190.210.72.90/xmlui/bitstream/handle/1/355/T363.738%20746%203%20B42.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Bianco, C., Isso, F., Moskat, M. (2021). *Plásticos en América Latina: breve reseña de su producción,*

consumo e impactos ambientales. <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/2022/03/Plasticos-en-America-Latina-2022.pdf>

Burne, S. M. (2020). *Impactos asociados al turismo en la comunidad de José María Morelos, Jalisco, México*. <https://ojsull.webs.ull.es/ojs/index.php/Revista/article/view/2396>

Buteler, M. (2019). *El problema del plástico, ¿que es la contaminación por plástico y por que nos afecta a todos?*

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/109678/CONICET_Digital_Nro.9fbc68cb-0eb2-4000-b7f6-ac241af6e3f0_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Calero Mendoza, R. (2014). *Obtención de polihidroxialcanoatos (PHA) a partir de cultivos mixtos microbianos usando efluentes ricos en ácidos grasos volátiles como sustrato*.

<https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/36>

Carabaño, R., Bedoya, C., Ruiz, D. (2014). *La metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación del impacto ambiental en el sector de la construcción: estado del arte*.

https://oa.upm.es/32499/1/INVE_MEM_2014_177954.pdf

Cardenas, K., Oyola, P. (2020). *Ladrillos ecológicos con la adición de PET reciclado como alternativa al uso de modelos convencionales*.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/26651/CardenasRodr%c3%adguezKarolynJulieth2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Contraloria de Cundinamarca. (2019). *Gestion integral de residuos solidos en el departamento de*

Cundinamarca. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f9d0e2cda.pdf>

Delgado, A. C., Mina Cordoba, A. (2015). *Polihidroxicanoatos (PHA's) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial.*

https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/139/195

Duque, J. (2020). *Medición del impacto ambiental de bloques de suelo-cemento, bloques cerámicos y bloques de concreto por el método de análisis de ciclo de vida.*

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79160>

EPA. (2020). *Avanzada en la gestión sostenible de materiales: informes de datos y cifras.*

<https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/advancing-sustainable-materials-management>

Escobar, J., Bonilla, F. (2017). *Grupos Focales: Una guía conceptual y metodológica.*

<http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/bitstream/123456789/957/1/Gupos%20focales%20una%20gu%C3%ada%20conceptual%20y%20metodol%C3%B3gica.pdf>

Esperanza, M. (2017). *Toxicidad ejercida por contaminantes acuáticos sobre micro algas en agua dulce.* <https://core.ac.uk/download/pdf/146821839.pdf>

Foolmaun, R. K., Ramjeawon, T. (2008). *Life Cycle Assessment (LCA) of PET bottles and comparative LCA of three disposal options in Mauritius.*

https://www.researchgate.net/publication/249922366_Life_Cycle_Assessment_LCA_of_PET_bottles_and_comparative_LCA_of_three_disposal_options_in_Mauritius

Gonzalez García, Y., Meza, J., Gonzalez, O., Cordova, J. (2013). *Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano.*

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Garraín, D., Gash, J., Herrero, M., Franco, V., Muñoz, C., Vidal, R. (2020). *Nuevos retos en el análisis de ciclo de vida de baldosas cerámicas: desarrollo de las categorías de impacto de uso de suelo, agotamiento de recursos abióticos y toxicidad.*

https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/82629/Nuevos_retos_en_el_Analisis_del_Ciclo_de_Vida_de_baldosas_ceramicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garraín, D. (2009). *Desarrollo y aplicación de las categorías de impacto ambiental de ruido y de uso de suelo en la metodología de análisis de ciclo de vida.*

https://www.researchgate.net/profile/Rosario-Vidal-2/publication/44016266_Desarrollo_y_aplicacion_de_las_categorias_de_impacto_ambiental_de_ruido_y_de_uso_de_suelo_en_la_metodologia_de_analisis_de_ciclo_de_vida/links/5465c82b0cf2f5eb17ff6588/Desarrollo-y-

Gomes, T., Bour, A., Coutris, C., Almeida, A., Brate, I., Wolf, R., Bank, M., Lusher, A. (2022). *Ecotoxicological Impacts of Microand Nanoplastics in Terrestrial and aquatic environments.*

<https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/50951/978-3-030-78627-4.pdf?sequence=1#page=210>

González García, Yolanda. (2013). *Estructura general de los polihidroxicanoatos* [Imagen].

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007

Goretti, F., Miranda, V. (2018). *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico.*

https://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf

Guido, S., Margni, M. (2015). *Life cycle management*.

<https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/28121/1001873.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gursel, I., Moretti, C., Hamelin, L., Jakobsen, L., Steingrinsdottir, M., Junginger, M., Hoibye, L., Shen, L. (2021). *Evaluación comparativa del ciclo de vida desde la cuna hasta la tumba de botellas de PET de origen biológico y petroquímico*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721037141>

Herrera Atienza, J. (2020). *RES URBIS, generación de bioplásticos a partir de la fracción orgánica municipal*.

<http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2018/CT%202018/1222224757.pdf>

Hernandez Ortiz, J. L. (2023). *Bioprospección de actinomicetos productores de enzimas hidrolíticas procedentes de la Zona Norte*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13508>

ICONTEC. (2007). *Norma Técnica NTC-ISO Colombiana 14040*.

<http://ciberinnova.edu.co/archivos/plantilla-ovas1-slide/documents-UCN-Canvas/impacto-ambiental/Unidad%201/5%20NTC-ISO%2014040-2007%20Ciclo%20de%20Vida.pdf>

Joya, W., Moncaleano, A., Tello, L., Mendez, H., Valbuena, C., Castillo, C. (2023). *Compuestos orgánicos volátiles en materiales poliméricos sostenibles de uso arquitectónico e interiores, caso de estudio Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia*.

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/247093/artigo%2024%20-%20p.%20332-345.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kheiralipour, K. (2021). Environmental impact investigation of natural gas refinery process based on LCA CML-IA baseline method.

https://gpj.ui.ac.ir/article_26529_780e6cce02ea73072ab6ab9669f77f98.pdf

lemag, P. (2023). *The never-ending story of plastics*. <https://plastics-themag.com/Polymers-and-research:-a-continuous-interaction>

Lemos, A. (05 de 30 de 2018). *Polihidroxicanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial*. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/139/195

Lopez, A. (2022). *Evaluación del impacto ambiental de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas*.

https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/52777/TFM_Lopez_Parco_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Madival, S., Auras, R., Singh, P., Narayan, R. (2009). *Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652609000936>

Marathe, K., Chavan, K., Nakhate, P. (2019). *Life Cycle Assessment (LCA) of PET Bottles*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128113615000080>

Martinez, J., Rodriguez, J., Garza, Y. (2020). Valoración cinética de la formación y consumo de ácidos grasos volátiles como estrategia para definir las condiciones óptimas para la biomineralización

del sorbitol.

https://smbb.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/TRABAJOS/AREA_I/CARTEL/CI-12.pdf

MASP. (2019). *Casi el 60% de la basura diaria de Bogota es desecho plastico.*

<https://derecho.uniandes.edu.co/es/informe-situacion-actual-de-los-plasticos-en-colombia>

Muhammad, T., Samak, N., Yang, M., Xing, J. (2022). *The Cradle-to-Cradle Life Cycle Assessment of Polyethylene terephthalate: Environmental Perspective.*

<https://www.mdpi.com/1420-3049/27/5/1599>

Muralikrishna, I. V. (2017). *Environmental Management Science and Engineering for Industry.*

<https://www.sciencedirect.com/book/9780128119891/environmental-management>

ONU. (2023). *Sin contaminación por plásticos.*

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42437/Plastic_Pollution_WED23SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Orola, A. (2023). *Environmental life cycle analysis (LCA) of polyhydroxyalkanoate (PHA) production : a techno-environmental assessment.* <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/165483>

Palacios, S., Guzman, T. (2018). *Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias.*

<https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n3/0379-3982-tem-31-03-122.pdf>

Parás, J. B. (2019). *Plastico, el desecho interminable, ¿jamás degradable?.* <https://invdes.com.mx/los-investigadores/plastico-el-desecho-interminable-jamas-degradable/>

Pazmiño, V. P. (2021). *Percepción social sobre el consumo de plástico de un solo uso en el canton*

Guayaquil-Ecuador.

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/53423/1/VICENTE%20PATRICIO%20COBOS%20PAZMI%c3%91O.pdf>

Posada Barreto, E.(2022). *Los bioplásticos como sustitutos de los plásticos de un solo uso en Colombia.*

https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/14664/1/UVDT.A_PosadaEstefany_2022

PNUMA. (2018). *Plásticos de un solo uso, una hoja de ruta para la sostenibilidad.*

<https://repository.udca.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/11158/1239/plasticosdeunsolo%20uso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rangel, S. (2016). *Obtenido de Impactos ambientales en el aprovechamiento de plásticos para la generación de combustibles.*

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/628/1/1026278889-2016-2-GA.pdf>

Riaño, J. (2018). *Polihidroxicanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos.*

Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. [https://www.studocu.com/es-](https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/biologia-celular/dialnet-polihidroxicanoatos-phas-biopolimeros-producidos-por-3702404/11249514)

[mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/biologia-celular/dialnet-](https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/biologia-celular/dialnet-polihidroxicanoatos-phas-biopolimeros-producidos-por-3702404/11249514)

[polihidroxicanoatos-phas-biopolimeros-producidos-por-3702404/11249514](https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/biologia-celular/dialnet-polihidroxicanoatos-phas-biopolimeros-producidos-por-3702404/11249514)

Rodas, F., Pacheco, F.. (2020). *Grupos Focales: Marco de Referencia para su Implementación.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7878893>

Rodriguez, W. (2022). *Impacto ambiental y la producción en las Industrias de plástico PET biodegradable, 2021*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/103713>

Ruiz, L. (2018). *La contaminación ambiental, antecedentes, actividades y noticias*.

http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/libro_la_contaminacion_ambiental.pdf

Rybczewska-Błazejowska, M., Nieto, A. M. (2020). *Circular economy: comparative life cycle assessment of fossil polyethylene terephthalate (PET) and its recycled and bio-based counterparts*. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-8d0a4b75-4c56-4a23-a714-6166b4c46774>

Salazar, T. d. (2018). *Educación ambiental*. <https://www.redalyc.org/pdf/4578/457845132003.pdf>

Sanes Orrego, A. (2022). *El análisis de ciclo de vida (acv) en el desarrollo sostenible: propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11450/905079.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suasnavas, D. (2017). *Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*.

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13224/Degradaci%20c3%b3n%20Qu%20c3%a2%20del%20PET.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suksuwan, A., Matossian, A., Zhou, Y., Chacko, P., Skerlos, S. (2020). *Environmental LCA on three note-taking devices*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120302687>

Valbuena, K., Machuca, L. (2023). *Environmental impacts on water resources produced by the plastic industry a world level.*

[http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/8041/1/2023_KarenAlexandraValbuenaNu%
c3%b1ez.pdf](http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/8041/1/2023_KarenAlexandraValbuenaNu%c3%b1ez.pdf)

Valle, J. (2020). *Evaluación de impactos ambientales de una carretera desde una perspectiva de ciclo de vida.* <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51496/1/T-110146.pdf>

Vargas, J. (2008). *Historia ampliada y comentada del analisis de ciclo de vida (ACV) con una bibliografía selecta.* [http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/122/2009/07/Historia-
ACV.pdf](http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/122/2009/07/Historia-ACV.pdf)

Villanueva, E. (2020). *Cambios en las estaciones depuradoras de aguas residuales.*

[https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/14744/TFG_CC.AA_CabalVillanueva_Eva.pdf
?sequence=1&isAllowed=y](https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/14744/TFG_CC.AA_CabalVillanueva_Eva.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vural, I., Moretti, C., Hamelin, L., Jakobsen, L., Steingrinsdottir, M., Junginger, M., Hoibye, L., Shen, L. (2021). Comparative cradle-to-grave life cycle assessment of bio-based and petrochemical PET bottles. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721037141#t0010>

Zea, J. (2019). *Reciclado de plastico PET.*

[https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/4c9ed418-f907-4257-9c53-
6046d5696c8f/content](https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/4c9ed418-f907-4257-9c53-6046d5696c8f/content)

Ziegler, K. (2019). *Evaluación ambiental por medio del Análisis de Ciclo de Vida del relleno sanitario del distrito de Nauta, en Loreto.*

https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13847/ZIEGLER_RODRIGUEZ_KURT_EVALUACION_AMBIENTAL_MEDIO_ANALISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

11. ANEXOS

VALIDACIÓN DE ENCUESTA

Institución	Universidad de Cundinamarca – Seccional Girardot
Programa	Ingeniería ambiental
Nombre del Proyecto	Desarrollo de un proceso para la producción de polihidroxialcanoatos a través de cultivos mixtos y lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residuales, Convocatoria 890 - Minciencias
Fecha	07 de noviembre de 2023
Nombre del docente revisor	María Paula Gómez Leal
Observaciones	Acorde a la revisión, se efectuaron sugerencias en cuanto a la redacción, definir la población y forma de diligenciamiento de la encuesta. Finalmente, se propone generar dos preguntas adicionales, la primera enfocada a que el encuestado identifique la correcta separación en la fuente, y en que contenedor y/o caneca se debe disponer. De acuerdo con la Resolución 2184 de 2019 (Verde, Blanco y negro). Y la segunda pregunta, podría estar dirigida a cuanto consideran que generan de residuos plásticos al día o si quieren dejarlo a la semana. Que te brinde un dato cuantitativo
Firma	

Validación de encuesta	
Institución	Universidad de Cundinamarca – seccional Girardot
Programa	Ingeniería ambiental
Nombre del Proyecto	Desarrollo de un proceso para la producción de polihidroxialcanoatos a través de cultivos mixtos y lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residuales, Convocatoria 890 - Minciencias
Fecha	07 de noviembre de 2023
Nombre del docente revisor	Dayro Arley Torres Vargas
Observaciones	<p>P 1: Sin Observaciones</p> <p>P 2: Sin Observaciones</p> <p>P 3: casi nunca y ocasionalmente son iguales dejar solo una</p> <p>P 4: Sin Observaciones</p> <p>P 5: Sin Observaciones</p> <p>P 6: Sin Observaciones</p> <p>P 7: para mi criterio se vuelve complicado tabular una pregunta abierta puesto que pueden dar muchas opciones y al tabularlas se puede complicar.</p> <p>P 8: Igual que la 7.</p> <p>P 9: Sin Observaciones</p> <p>P 10: igual que la 7.</p> <p>P 11: dice del 1 al 15 y es del 1 al 5</p> <p>P 12: Sin observaciones</p> <p>P 13: Neutro no es una opción verificar que tipos de escalas cualitativas pueden validar para esta pregunta.</p> <p>P 14: Sin observaciones</p> <p>P 15: Sin observaciones</p> <p>P 16: Sin observaciones</p> <p>P 17: ellos tienen claro que es huella de carbono?</p> <p>P 18: Sin observaciones</p> <p>P 19: Igual que la 13</p>
Firma:	

Validación de encuesta	
Institución	Universidad de Cundinamarca – seccional Girardot
Programa	Ingeniería ambiental
Nombre del Proyecto	Desarrollo de un proceso para la producción de polihidroxiclcanoatos a través de cultivos mixtos y lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residuales, Convocatoria 890 - Minciencias
Fecha	07 de noviembre de 2023
Nombre del docente revisor	Angélica Mari Blanco
Observaciones	<p>Una vez que el instrumento será aplicado a una población específica, no se trata como tal de una encuesta sino de una entrevista semiestructurada. Ya que no existen encuestas con esta clasificación o dejaría simplemente como encuesta. En ese orden de ideas, sugiero incluir la caracterización del grupo entrevistado.</p> <p>Las preguntas realizadas en el instrumento atienden a diferentes tipos tales como; de conocimiento, de percepción, de opinión lo cual puede dificultar el análisis y conclusión de los datos. Revisar si es lo que se desea o elegir un tipo para su análisis en términos por ejemplo: "la percepción del grupo encuestado es... o, el conocimiento sobre los bioplásticos del grupo es... o el grupo opina que..."</p> <p>Se resalta que se conserva un poco el orden o secuencia lógica de las preguntas iniciando desde aquellas que se clasificarían como fáciles, pasando por las complejas, sensibles o delicadas y las de cierre para el caso de una entrevista.</p> <p>No obstante, de acuerdo con lo mencionado por el estudiante con relación a la muestra, se puede trabajar la metodología de grupos de enfoque, que son sesiones profundas de recolección de datos con grupos pequeños de hasta 10 personas. En esta técnica de recolección de datos, la unidad de análisis es el grupo (Hernández Sampieri, 2014)</p> <p>En la primera pregunta una de las opciones de respuesta contiene el término por el cual se está preguntando, lo cual no es correcto.</p> <p>En la pregunta 11, parece haber un error en la escala que refiere, si es de 1 a 5 o 1 a 15.</p> <p>La pregunta 12 es compleja debido a que el encuestado o entrevistado debería tener un contexto del mercado de bioplásticos para responder si es suficiente o no. Adicionalmente puede ser ambigua porque lo que es suficiente</p>

	<p>para alguien puede no serlo para otra persona. Debe establecerse un criterio</p> <p>En las preguntas 13 y 14 igualmente el encuestado o entrevistado debería conocer las alternativas sostenibles y la clasificación de los plásticos para responder y entender qué es un plástico convencional y cuál no.</p> <p>La pregunta 15 no puede ser respondida por alguien que haya respondido NO en la pregunta 5</p> <p>En términos generales se entiende que el instrumento está diseñado para conocer los conceptos o conocimientos previos de un grupo y aplicar alguna sesión de capacitación, sin embargo, recomiendo realizar algunos de los cambios o ajustes sugeridos.</p> <p>Agradezco la confianza</p> <p>Éxitos!!</p>
Firma	

Se realizará la primer encuesta, seguidamente se dará inicio al debate con la organización de dos grupos, los cuales tendrán dos roles y deberán defender sus ideales, uno de los grupos defenderá la industria de los plásticos convencionales, mientras que el grupo opositor deberá defender los plásticos biodegradables, cada grupo tendrá un líder de trabajo, el cual tendrá la tarea de direccionar su grupo, se dará un tiempo estimado para que cada líder con su grupo de trabajo busque información que le permita dar respuesta a la estructura del debate la cual será entregada al líder de cada grupo, finalmente se seleccionara un ganador teniendo en cuenta la argumentación en el debate y se dará un refrigerio para premiar la participación, posterior a la realización del debate se realizara una pequeña presentación como retroalimentación para cerrar el taller y se aplicara la encuesta final.

Tema de debate: "La sostenibilidad de los plásticos convencionales frente a los plásticos biodegradables en la era moderna".

Equipo A: Empresa de plásticos convencionales.

Equipo B: Grupo a favor de los Plásticos Biodegradables.

Estructura del debate:

1 Introducción.

Líder del equipo A: Presentación del tema y posición a favor de los plásticos convencionales, argumentando su utilidad y viabilidad en la economía actual.

Líder del equipo B: Presentación del equipo, posición a favor de los plásticos biodegradables y sus beneficios para el medio ambiente.

2 Argumentos a favor de los plásticos convencionales (Equipo A):

- Uso generalizado y eficiencia de producción.
- Aplicaciones en diversas industrias y su impacto en la economía.
- Posibilidad de reciclaje y economía circular.

3 Argumentos a favor de los plásticos biodegradables (Equipo B):

- Menor impacto ambiental y reducción de la contaminación por plásticos.
- Innovaciones tecnológicas en la fabricación de plásticos biodegradables.
- Cumplimiento de regulaciones ambientales y demanda del mercado.

4 Refutaciones (Equipo A):

- Cuestionamiento de la eficiencia de los plásticos biodegradables.
- Discusión sobre el costo y viabilidad de la transición.
- Consideración de las mejoras en la reciclabilidad de los plásticos convencionales.

5 Refutaciones (Equipo B):

- Argumento en contra de la sostenibilidad a largo plazo de los plásticos convencionales.
- Mencionar el costo ambiental y social de la contaminación plástica.
- Enfatizar la demanda del mercado y las ventajas competitivas de los plásticos biodegradables.

6 conclusiones (Equipo A y B):

- Recapitulación de argumentos clave y posición final.
- Enfatizar los desafíos y oportunidades para la industria de plásticos en la actualidad.

Este debate permitirá a los estudiantes explorar a fondo las perspectivas y argumentos a favor de los plásticos convencionales y los plásticos biodegradables, y comprender mejor las implicaciones ambientales y económicas de ambas opciones.

Encuesta

¡Hola! Gracias por participar en esta encuesta sobre el manejo de residuos sólidos en el sector turístico del municipio de Girardot. El objetivo de esta encuesta es recopilar información sobre las prácticas actuales de manejo de residuos sólidos asociados al sector turístico y su impacto en el entorno.

Tu participación es fundamental para obtener datos precisos y tomar medidas adecuadas para mejorar la gestión de los residuos sólidos en el sector turístico de Girardot. La encuesta consta de preguntas que abarcan diferentes aspectos del manejo de residuos.

Te pedimos que respondas con sinceridad y de la manera más detallada posible, ya que tus respuestas nos ayudarán a comprender mejor la situación actual y proponer soluciones efectivas. La información recopilada será tratada de manera confidencial y se utilizará exclusivamente con fines de investigación académica.

Agradecemos tu tiempo y colaboración. ¡Comencemos con la encuesta!

- Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Qué es un residuo sólido?**
 - Aquello que pierde valor una vez sea utilizado o consumido.
 - Restos de comida, cáscaras de fruta y verdura, de huevo, café, yerba o té, etc.
 - ☒ Materiales reciclables como plástico, papel y cartón, vidrio y metales.
 - Aquellos que pueden compostarse y reciclarse.
 - Todas las anteriores
 - Otro (especificar) _____
- Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Qué tipo de residuos sólidos se generan con mayor frecuencia asociados al sector turístico en el municipio de Girardot?**
 - Restos de comida y desperdicios orgánicos
 - Envases plásticos y latas de metal
 - Papel y cartón
 - Vidrio
 - ☒ Todos los anteriores
 - Otros materiales (especificar) _____
- Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Con qué frecuencia observa contaminación por residuos plásticos en eventos socioculturales realizados en la ciudad de Girardot?**
 - Nunca
 - Casi nunca
 - Frecuentemente
 - ☒ Siempre.

4. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Qué tan grave considera la problemática de contaminación por residuos plásticos en la ciudad de Girardot?
- a) No es grave
 - b) Algo grave
 - c) Grave
 - d) Muy grave
5. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Cómo dispone los residuos plásticos generados en un evento turístico?
- a) Caneca de residuos
 - b) Separación en la fuente
 - c) Suelo
 - d) Fuente hídrica
6. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Cuánto tiempo cree que tarda en degradarse los residuos plásticos convencionales en el entorno o medio ambiente?
- a) 6 - 9 meses
 - b) 1 - 3 años
 - c) 5 - 10 años
 - d) 100 - 1000 años
7. ¿Sabe que es un plástico biodegradable?
- a) Si
 - (Explique) menor tiempo de descomposición y menor impacto ambiental.
 - b) No
8. ¿Sabe cuál es la diferencia entre la PRODUCCIÓN de un plástico convencional y un plástico biodegradable?
- a) Si
 - (Explique) Residuos de plástico, selección, sustancias químicas
 - b) No
 - no se necesita medio ambiente de cultivo su tiempo de vida es
9. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Qué tipo de plástico biodegradable conoce?
- a) Hechos a base de almidón
 - b) Hechos a base de celulosa
 - c) Hechos a base de PHA
 - d) Ninguno de los anteriores
 - e) Todos los anteriores
10. ¿En escala de 1 a 5 (donde 5 es muy importante y 1 nada importante), que tanto influye que un producto sea biodegradable a la hora de realizar una compra?
- a) 1
 - b) 2
 - c) 3
 - d) 4

11. ¿Considera que la disponibilidad de productos de plásticos biodegradables es suficiente en el mercado actual?
- a) Sí
 - b) No
12. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es una ventaja de los plásticos biodegradables?
- a) Tienen una vida útil indefinida.
 - b) Contribuyen a la acumulación de residuos sólidos a largo plazo.
 - c) Se descomponen en el medio ambiente de forma natural.
 - d) Son resistentes a la degradación por microorganismos.
13. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Cuán importante considera el acceso y la disponibilidad de productos plásticos convencionales en su vida cotidiana?
- a) Nada importante
 - b) Poco importante
 - c) importante
 - d) muy importante
14. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Cuál es su nivel de interés frente a las alternativas sostenibles a los productos de plástico convencional?
- a) Muy bajo interés
 - b) Bajo interés
 - c) interés moderado
 - d) Muy buen interés
15. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, desde su accionar cómo gestor en el turismo, ¿cómo contribuiría a la problemática de contaminación por plásticos en eventos en la ciudad de Girardot?
- a) Estableciendo puntos de separación en la fuente.
 - b) Indicando a las personas cómo disponer correctamente de los plásticos.
 - c) Brindando alternativas al plástico convencional como la utilización de otros materiales biodegradables.
 - d) Vinculando recuperadores de oficio para que realicen la actividad de aprovechamiento.
 - e) Otra, ¿Cuál?
16. ¿Estaría dispuesto a cambiar sus hábitos de consumo para reducir su huella de carbono, incluyendo el uso de plásticos biodegradables?
- a) Sí
 - b) No
17. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Cuánto dinero adicional estaría dispuesto a pagar por un producto hecho de plástico biodegradable en comparación con uno convencional?
- a) 10%
 - b) 15%
 - c) 25%
 - d) No estoy dispuesto a pagar mas
18. Pregunta de selección múltiple con única respuesta, ¿Qué tan necesarias considera acciones de sensibilización y educación ambiental sobre el manejo de residuos sólidos dirigidas al sector turístico en el municipio?
- a) Nada importante
 - b) Poco importante
 - c) importante
 - d) Muy importante



