

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0236>

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE DETERGENTE INDUSTRIAL DE LA CUNA A LA PUERTA. CONSECUENTES IMPACTOS EN ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS

CRADLE-TO-GATE LIFE CYCLE ANALYSIS OF INDUSTRIAL DETERGENTS. CONSEQUENTIAL IMPACTS ON AGRICULTURAL ECOSYSTEMS

Muñoz-Farfán Ricardo Fabricio ¹; Macías-Zambrano Telly Yarita ²;
Núñez-Pilligua Walter Roberto ³; Muñoz-Sánchez José Julián ⁴;
Moreira-Vera Teresa Viviana ⁵; Bravo-Mero Tanya Beatriz ⁶

¹ Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilio Macías. Portoviejo, Ecuador.
Correo: itspem.rmuno@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6960-6869>

² Universidad de Palermo. Argentina.
Correo: itspem.tmacias@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5005-7967>

³ Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: walter.nunez@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-7614-9369>

⁴ Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilio Macías. Portoviejo, Ecuador.
Correo: itspem.jmunoz@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3676-0501>

⁵ Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: teresa.moreira@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9868-3652>

⁶ Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: tanya.bravo@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3437-8584>

Resumen

El sector productivo de Ecuador requiere soluciones de limpieza eficientes, siendo el detergente industrial, uno de los productos más utilizados para esto; analizar su ciclo de vida de la cuna a la puerta con aproximación a la medición de huella de carbono es el objetivo de este estudio. Se utilizó como unidad funcional el balde de 20kg de detergente en una empresa logística; se calculó la huella de carbono aplicando las características técnicas de equipos y de fuentes que utilizan combustibles fósiles como diésel y coque; los flujos de productos de procesos internos-externos, apoyados en las directrices internacionales para inventario de gases de efecto invernadero del Reino Unido y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, y en datos de importaciones y producción del último año. Como resultados se obtuvo que, un balde de 20Kg de detergente industrial tiene una huella de carbono de 23,75KgCO₂e (dióxido de carbono equivalente); en la contribución porcentual por procesos; el 29% por producción de carbonato de sodio; 18% por ácido sulfónico y 11% por hidróxido de sodio, el transporte de estas materias primas aporta 18% más de emisiones de dióxido de carbono y el proceso de producción en la planta un 8%, teniendo al carbonato de sodio con el mayor porcentaje de la generación total de CO₂, un fuerte impacto al tratarse de una industria que utiliza coque como combustible para procesos de calcinación de calizas. Se concluye que aunque los procesos no generan un gran impacto en la planta debido al uso de energía eléctrica, debe analizarse a los proveedores de materias primas y considerar la compra local para reducir los kilómetros recorridos y la huella de carbono de estas actividades, y si generan consecuencias negativas en los ecosistemas agrícolas.

Palabras clave: Combustible, huella de carbono, impacto ambiental, materia prima, unidad funcional.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 03 de octubre de 2024.

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2024.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2025.



Abstract

The productive sector in Ecuador requires efficient cleaning solutions, being the industrial detergent one of the most used products for this purpose; analyzing its life cycle from cradle to gate with a carbon footprint measurement approach is the objective of this study. The functional unit used was the 20kg bucket of detergent in a logistics company; the carbon footprint was calculated by applying the technical characteristics of the equipment and sources that use fossil fuels such as diesel and coke; the product flows of internal-external processes, supported by the international guidelines for greenhouse gas inventories of the United Kingdom and the United States Environmental Protection Agency, and data on imports and production for the last year. The results showed that a 20 kg bucket of industrial detergent has a carbon footprint of 23.75 kgCO₂e (carbon dioxide equivalent); the percentage contribution by processes is 29% for the production of sodium carbonate, 18% for sulphonic acid and 11% for sodium hydroxide; 18% for sulphonic acid and 11% for sodium hydroxide, the transport of these raw materials contributes 18% more carbon dioxide emissions and the production process in the plant 8%, with sodium carbonate having the highest percentage of total CO₂ generation, a strong impact as it is an industry that uses coke as fuel for limestone calcination processes. It is concluded that, within plant processes do not generate a large impact due to the use of electrical energy, however, the suppliers of raw materials should be analyzed and local purchasing should be considered to reduce the kilometers travelled and the carbon footprint of these activities and whether they have negative consequences on agricultural ecosystems.

Keywords: Fuel, carbon footprint, environmental impact, raw material, functional unit.

1. Introducción

El crecimiento de la población mundial se espera que aumente de 2.000 millones de personas en los próximos 30 años, es decir pasar de 8.000 millones en la actualidad a los 9.700 millones para el año 2050, pudiendo alcanzar un máximo de 10.400 millones para el año 2080 (Organización de Naciones Unidas, 2024), como resultado el aumento de consumo es irreversible, lo que hace indispensable el desarrollo de estudios sobre el ciclo de vida de los productos, procesos o actividades que conllevan a la contaminación ambiental a cualquiera de sus fuentes como el aire en

concentraciones no permisibles de gases y partículas en suspensión que deteriora la atmósfera derivando de afecciones a los seres vivos (Ministerio del Ambiente, 2010), agua evidenciando la degradación de la calidad debido a numerosos factores de contaminación afectando a la seguridad alimenticia del planeta y daños al suelo ocasionando el cambio climático, escases de agua, pérdida de biodiversidad, agotamiento de recursos y la salud humana (FAO, 2023).

El análisis de ciclo de vida de acuerdo con la normativa ISO 14040 (ISO, 2024) como parte de un método que permite analizar y

evaluar las cargas ambientales se debe estudiar de manera integral desde la extracción de materia prima, la producción, embalaje, distribución, el uso y la disposición final del producto o servicio; así mismo explorar el impacto social y económico que causa a lo largo de su ciclo de vida.

Ante lo expuesto ciertas empresas han concebido estudios de Análisis de ciclo de vida de sus productos, entre ellos la industria textilera en la fabricación de pantalones, la malta sueca con whisky, alternativas de envasado de alimentos para bebés, frascos de vidrio versus macetas de plástico, entre otros.

Es importante indicar que los estudios de análisis de ciclo de vida para productos de limpieza como el detergente son escasos de manera general en Ecuador sin poder comparar y evaluar el impacto ambiental que pueden generar estos productos de acuerdo a las categorías desde su extracción hasta su disposición final, estos incluyen al cambio climático, agotamiento de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad, radiación ionizante, formación de ozono

fotoquímico, eutrofización, acidificación y agotamiento de suelo (Giagnorio et al., 2017).

Ante lo mencionado el presente análisis de ciclo de vida de detergente industrial comercializado por la empresa estudiada, está destinado para ser utilizado en equipos de lavado tipo industrial, siendo los principales clientes los del área hotelera y alimenticia, teniendo como objetivo específico del estudio la cuantificación de la huella de carbono en el marco de la categoría de calentamiento global por efecto del dióxido de Carbono (CO₂) (Intergovernmental panel on climate change, 2006), así como los principales impactos en las zonas agrícolas.

De acuerdo al estudio de Seiffert (2014), entre los impactos más significativos a los ecosistemas agrícolas se cuenta:

Impactos en el Uso de Suelos (agrícolas, urbanos y transformación de suelos naturales): Se define como la perturbación del medio ambiente natural a través de cambios en la tierra. Esto puede traer como consecuencia pérdida de biodiversidad y disminución de la

capacidad de sustento vital de los ecosistemas.

Eutrofización: Es el aumento en los niveles de nutrientes (especialmente fosfatos, nitratos y cloruros) presentes en el medio ambiente. Un resultado común de esto es una actividad biológica inusualmente alta, lo que puede conducir a un agotamiento de oxígeno en el medio.

Acidificación: Es el proceso donde los contaminantes son convertidos en sustancias ácidas que degradan el entorno en el que se encuentran. Entre los efectos más comunes se encuentran la acidificación de ríos y lagos, lixiviación de metales tóxicos y la corrosión acelerada de metales, estructuras de concreto y piedra caliza.

Agotamiento Hídrico: Se relaciona con el agotamiento de este recurso crítico para el medioambiente y la economía.

Agotamiento de recursos minerales y fósiles: Esto incluye la extracción de recursos naturales inertes y no renovables. Actualmente estos recursos son esenciales para el desarrollo humano y la mayoría de ellos están siendo extraídos a tasas insostenibles.

Otros impactos involucran:

Cambio Climático: Causado por los efectos del calentamiento global y la consiguiente alza de la temperatura promedio de la Tierra. Consecuencia de esto es la mayor frecuencia de desastres naturales y el aumento del nivel del mar.

Agotamiento de la Capa de Ozono: Disminución del volumen total de ozono presente en la estratósfera, lo que produce un aumento en la cantidad de radiación UVB que llega a la superficie del planeta. Es generalmente aceptado que ésta contribuye a la formación de cáncer de piel, cataratas y un decaimiento en los rendimientos de cultivos y plancton.

Daño a la Salud Humana (material particulado y agotamiento de la capa de ozono): causado por la contaminación atmosférica producto del esmog fotoquímico⁶, elemento causante de enfermedades respiratorias y daños a la vegetación. También es causado por la emisión de material particulado, el cual es dañino para el sistema respiratorio de las personas.

Radiación Ionizante: Emisión de sustancias radioactivas y/o la

exposición directa a la radiación. Produce daño a la salud tanto de humanos como de animales.

Toxicidad: Efecto causado por la emisión de ciertas sustancias dañinas para la salud humana y el ecosistema. Se divide en las subcategorías toxicidad humana cancerígena, no cancerígena y ecotoxicidad, que corresponde a toxicidad para el medioambiente (Fundación Chile, 2012).

2. Materiales y métodos

Se utilizó en enfoque cuantitativo, diseño cuasi experimental, tomando como muestra a la unidad funcional de un balde de 20 kilogramos (Kg) considerando la elaboración de materia prima, material de empaque, transporte de insumos para elaboración de detergente, producción y envasado, así como también la identificación de impactos ambientales causados en la cadena de valor y poder cuantificar la huella de carbono generada por las actividades de manufactura del producto.

El estudio se realizó en una empresa logística del cantón Durán, provincia del Guayas en Ecuador.

Para obtener resultados confiables en el desarrollo del ACV del detergente industrial de limpieza es necesario tener datos de alta calidad como las entradas y salidas de sus procesos en planta, empaque y transportación, utilizando estadística interna específica en mediciones de consumo eléctrico y combustible, generadas por medio del registro del personal técnico y administrativo de la planta (Shahmohammadi, 2018).

Se consideró todas las actividades adherentes al proceso como las materias primas importadas que provienen desde Ohio-Estados Unidos como proveedor del ácido sulfónico y carbonato de sodio, y la materia prima local de la ciudad de Guayaquil - Ecuador con el hidróxido de sodio y material de empaque como el polietileno de baja densidad; así como los envases plásticos provenientes de Durán - Ecuador (Producción y envasado de detergente industrial); durante el año 2023.

La fuente de información primaria fue adquirida por la empresa estudiada, así como de proveedores de recursos e insumos inmersos a los procesos productivos es decir datos de kilogramos (kg) de materia prima importada y local, a kilogramo (kg) de producto terminado, cantidad de insumos de material y empaque, consumo de agua, consumo de electricidad de los equipos y máquinas necesarios para la elaboración del producto en planta y consumo de combustible.

Para la fuente de información secundaria se utilizó datos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por transporte se consideró la cantidad y el tipo de combustible total quemado en función a la actividad; de acuerdo a las Directrices del IPCC de 2006 (Intergovernmental panel on climate change, 2006), capítulo 3-móvil combustión para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y se ha tomado el método de Nivel 1 para ambos casos, donde se calcula las emisiones de CO₂ multiplicando el combustible utilizado por el factor de emisión de CO₂ por defecto. Se representa el método en la siguiente

ecuación (Intergovernmental panel on climate change, 2006).

$$Emision = \sum \frac{comb}{utilizado} \times Fe_{combustible} \quad (1)$$

Los valores de los factores de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que se toma en función a las toneladas-kilómetro para determinar los kilogramos de dióxido de carbono (CO₂e) equivalente de emisiones se ha considerado los datos del reporte (UK Government Department for Business, 2023), para el caso de transporte terrestre se consideró los siguientes criterios en función a la planta de producción como la actividad:

Vans, Tipo: Clase III (1.74 to 3.5, toneladas)

Unidad: toneladas. Km

Factor de emisión: 0.61429 kg CO₂equivalente.

En el caso de emisiones por kilovatio-hora (kW-h) consumido de la red eléctrica, se tomó la energía consumida por lo equipos y máquinas de la planta en (kW-h) y por el factor de emisión se determina la cantidad de emisiones y generación con combustibles fósiles desplazadas por eficiencia energética y Energías renovables método que emite la Agencia de

Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

Para el caso del carbonato de sodio se procedió al uso de cálculos estequiométricos y se consideró el factor de emisión de CO₂ de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y el consumo de combustible utilizado en los hornos de caliza, que de acuerdo al reporte de la empresa proveedora de esta materia prima el rango de uso es de 110 – 150 kilogramos (kg de coque/tonelada de caliza) y se utilizó el factor de emisión del reporte del Departamento de Estrategia Empresarial, Energética e Industria de Reino Unido en el 2023. (UK Government Department for Business, 2023).

Por otra parte, se obtuvo el factor de emisión del ácido sulfónico de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, 2020) con el valor de 7.07×10^{-4} toneladas métricas de CO₂/kWh, datos de la tasa de emisión marginal de CO₂ promedio ponderada de United States Of América de AVERT del año 2018 y este factor

multiplicado por el consumo energético total por la elaboración de la materia prima (Ver ecuación 2) (Intergovernmental panel on climate change, 2006).

$$\text{Emisión} = \sum \text{Consumo energético} \times \text{Fe utilizado} \quad (2)$$

En el caso del Hidróxido de sodio, se utilizó el factor de emisión dada por la Universidad Politécnica de Madrid-Tecnología Química Industrial (Matín, 2020) con el valor de 1,681 MWh por cada 1,128 tonelada de NaOH; y por último para el material de empaque, se ha tomado los valores directos del factor de emisión de CO₂ por cada tonelada de material producido de los datos de del del reporte del Departamento de Estrategia Empresarial, Energética e Industria de Reino Unido en el 2023, tanto para el polipropileno por tonelada producida, 3.072,3 kg CO₂e equivalente; y el polietileno por tonelada producida, 4.052,8 kg CO₂e equivalente. (ALLCOT group, 2022)

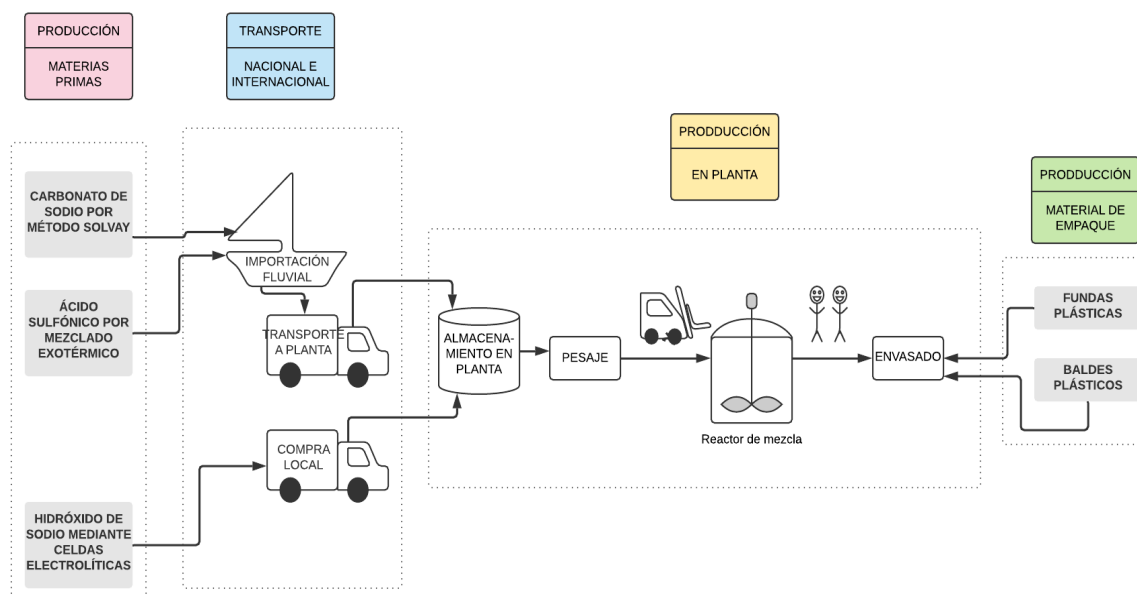
Descripción de los procesos en la fabricación de detergente industrial

Para la elaboración de las materias primas, se ha contemplado 3

productos que forman el 95% de la formulación del detergente, y que corresponden a: carbonato de sodio, Ácido sulfónico dodecilbenceno (LABSA), e hidróxido de sodio, correspondiendo el 40% Carbonato de Sodio que provienen de Estados Unidos, 18% de Hidróxido de Sodio de Daule - Guayaquil, 32% de Ácido Sulfónico de Estados Unidos y 10%

de Agua; las materias primas del exterior se lo hace por medio de transporte fluvial y el local por vía terrestre hasta la planta Spartan S.A para su respectivo almacenamiento, pesaje y posterior ingresa a un reactor de mezcla y finalmente su envasado en canecas de 20 kilogramos (kg) (Ver figura 1).

Fig.1. Diagrama general del detergente “de la cuna a la puerta”



Las entradas y salidas de la producción del carbonato de sodio se realizaron en base a cálculos estequiométricos, ya que se conoce que la producción de esta materia prima se realiza bajo el Método Solvay (Rodríguez, 2016), y además que utiliza el combustible coque para los hornos de caliza, manteniendo una relación de 110 a 150

kg/tonelada de caliza tratada. Este método involucra 4 pilares fundamentales, que corresponden a: columna de saturación, columna de carbonatación, columna recuperadora de amoníaco, y hornos de calcinación. En este proceso se generan una serie de reacciones ácido-base y precipitación, que a continuación se describen, en donde

se identifican principalmente sus materias primas y que corresponden a carbonato de calcio (caliza), cloruro de sodio y combustible.

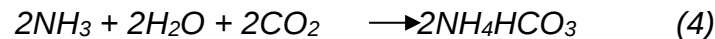
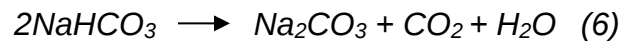
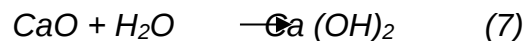
En la columna de saturación ingresa el Cloruro de sodio, así como el amoníaco (proveniente de la columna de recuperación), se forma una salmuera amoniacal. Cuando ocurre esto la solución de Cloruro de sodio empieza a diluirse, para pasar hacia un lecho de Cloruro de Sodio con la finalidad de saturarse (Golsteijn, 2015). En la columna de carbonatación se genera el bicarbonato de amonio (Ecuación 4), y este a su vez reacciona con el cloruro de sodio para dar paso a la generación del bicarbonato de sodio mediante la precipitación, de la misma proporción se genera también Cloruro de Amonio (Ecuación 5) (Hermann y Moltesen, 2015).

Esta columna recibe CO₂, de dos líneas existentes, la primera proveniente de la descomposición del Bicarbonato de sodio (Ecuación 6) y la segunda de la calcinación de la piedra caliza (Ecuación 3), para su proceso, asimismo se generan gases de combustión, y emisiones de CO₂, ya que aquí se generan

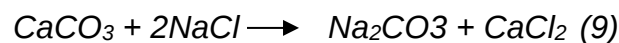
reacciones exotérmicas (Nessi et al., 2014). En la columna recuperadora de amoníaco, para disolver el amoníaco que se encuentra en forma de cloruro de amoniacal, se utiliza el hidróxido de calcio para que permita su arrastre (Ecuación 8), además en esta columna del amoníaco se obtiene un precipitado que corresponde al cloruro de calcio y agua (Seiffert, 2014).

En los hornos de calcinación, el bicarbonato de sodio mediante descomposición térmica se forma el carbonato sódico, agua y CO₂, este último producto es introducido a la columna de carbonatación. En el horno de descomposición se trata la piedra caliza a altas temperaturas de 1000°C para la formación de CO₂ para su ingreso en la columna de carbonatación y óxido de calcio (Ecuación 3). Este óxido en reacción con agua forma una base de calcio (Ecuación 7). Base que es utilizada en la recuperación de amoníaco (Villota, 2020).

A continuación, un detalle de las reacciones que se forman en este proceso:

I. Obtención de CO₂:II. Obtención de NH₄HCO₃:III. Obtención de NaHCO₃:IV. Obtención de Na₂CO₃:V. Obtención de Ca (OH)₂:VI. Recuperación de NH₃:

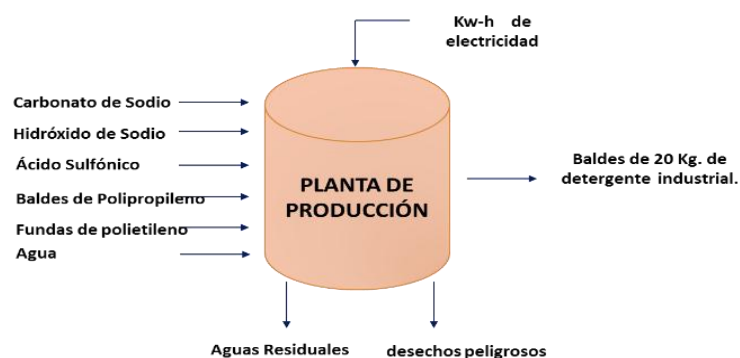
VII. Ecuación global



Razón por la cual bajo este método se generan productos intermedios como: Amoniaco, dióxido de carbono e hidróxido de calcio que son recirculados o empleados en otras etapas del mismo proceso para la generación de otros, lo cual es considerada como ventaja. En

términos generales, a efectos de tabulación de los datos se ha considerado que 1.5 Tonelada de NaCl, 1 Tonelada de CaCO₃ y 1 kg de NH₃ dan lugar a 1 Tonelada de Na₂CO₃, de acuerdo cálculos estequiométricos (Ver figura 2).

Fig. 2. Entradas y salidas flujos de productos y naturales en la elaboración de detergente industrial



Con respecto a la elaboración del ácido sulfónico Aquilbenceno lineal

LABSA se puede observar en la tabla 1 que el proceso de

transformación del LAB a, este se genera en un reactor bajo condiciones específicas de

temperatura, mezcla de aire y Trióxido de azufre, principalmente.

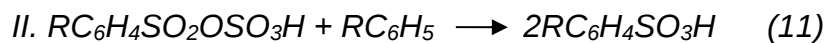
Tabla 1. Entradas y salidas de las etapas relacionadas con el ACV del detergente en polvo

Entradas	Cantidad	Unidad de Referencia
Elaboración de Carbonato de Sodio (Na_2CO_3)		
Cloruro de sodio	58138,20	Kg
Agua	17907,04	Kg
Amoniaco	38,76	Kg
Piedra caliza (CaCO_3)	38758,80	Kg
Combustible (coque)	5183,820	Kg
Salidas	Cantidad	Unidad de Referencia
Carbonato de Sodio	38.758,80	Kg
Cloruro de calcio	4.2660,70	Kg
Dióxido de carbono	60.679,56	Kg
Hidróxido de calcio	28.481,34	Kg
Amoniaco	38,76	Kg
Elaboración de LABSA		
Entradas	Cantidad	Unidad de referencia
Trióxido de azufre	8.341,77	Kg
Aire	47.281,54	Kg
LAB	24.156,69	Kg
Energía eléctrica	29.750	Kwh
Salidas	Cantidad	Unidad de referencia
Trióxido de azufre	588,71	Kg
Aire	4.7261,79	Kg
LAB	915,92	Kg
LABSA	31.007,04	Kg
Elaboración del Hidróxido de Sodio		
Entradas	Cantidad	Unidad de referencia
Cloruro de sodio	25.481,97	Kg
Agua	7.848,66	Kg
Energía eléctrica	26.000,00	Kwh
Salidas	Cantidad	Unidad de Referencia
Hidróxido de sodio	17.441,46	Kg
Cloro gas	15.461,85	Kg
Hidrogeno gas	436,04	Kg
Elaboración del detergente en polvo		
Entradas	Cantidad	Unidad de Referencia
Carbonato de sodio	38.758,80	Kg
LABSA	31.007,04	Kg
Hidróxido de sodio	17.441,46	Kg
Agua	9.689,70	Kg
Baldes de polipropileno	4.845	Unidad
Fundas de polietileno	4.895	Unidad
Energía eléctrica	165.025	Kwh
Salidas	Cantidad	Unidad de Referencia
Detergente en polvo	96897	Kg
Aguas residuales	389	m ³
Desechos peligrosos	288	Kg

LABSA tiene un rendimiento del 96% aproximadamente. Para esta materia prima, la empresa proveedora dotó de los kW-h utilizados durante el año 2023, para la producción de 31.007,04 kg, el

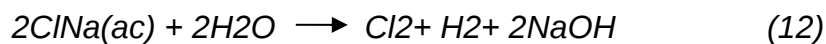


(LAB) (trióxido de azufre) (ácido piro-sulfónico)



(Ácido piro-sulfónico) (LAB) (Ácido sulfónico)

Para la elaboración del hidróxido de sodio mediante celdas hidroelectrolíticas, se realizó el balance de las de las entradas y salidas mediante estequiometría, tal como se muestra en la tabla 1. Y se obtuvo la generación eléctrica de la



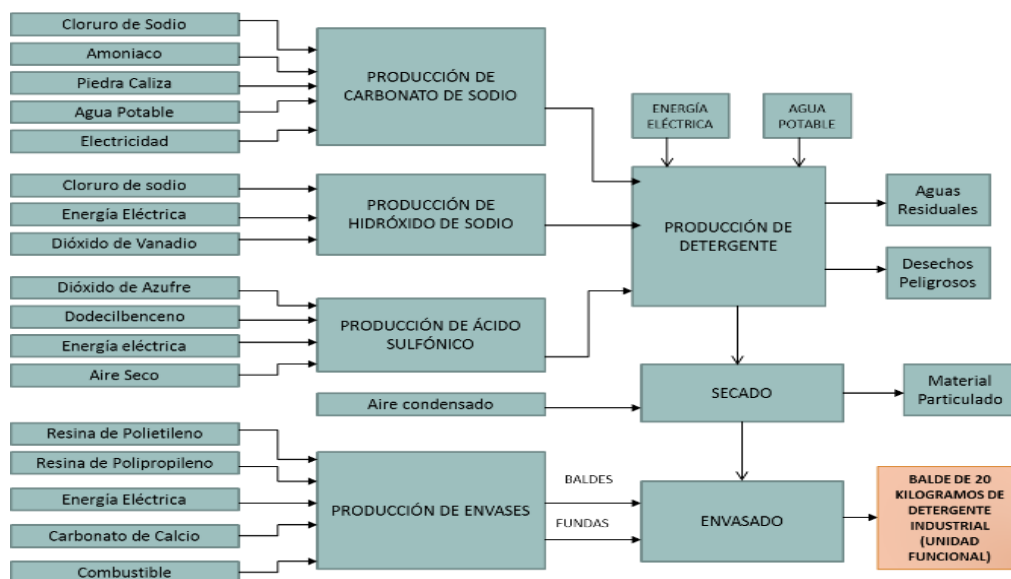
El flujograma del total de procesos considerados para el análisis de ciclo

mismo que fue de 29.750 kW-h debido a que se evaluó que dentro de este proceso las emisiones de CO₂ estaban enfocadas al uso de energía eléctrica.

celda bajo un factor de conversión de 0.15 KgCO₂ eq (Ramírez, 2018) En este caso, como el anterior se evaluó las emisiones de CO₂ por el uso de energía eléctrica en las celdas electrolíticas.

de vida de la cuna a la puerta se observa en la figura 3 siguiente.

Figura 3. Flujograma general de procesos implicados (de la cuna a la puerta)



Evaluación del impacto del ciclo de vida del detergente industrial

La evaluación de impacto ambiental se divide en dos partes: clasificación y caracterización (Borunda, 2012). Respecto a la clasificación de impacto se refiere a la clasificación de emisiones y recursos consumidos por categorías de impacto a evaluar, por otra parte, las categorías consideradas en función a su relevancia.

La evaluación del impacto del ciclo de vida fue elaborada utilizando la caracterización factores incluidos en

la CML-IA 2002: (línea de base) (Ecology, 2016). El potencial de calentamiento global (PCG, kg CO₂ eq) evalúa el impacto de emisiones gaseosas en el cambio climático.

3. Resultados y discusión

Considerando un análisis de ciclo de vida de la cuna a la puerta, con los datos primarios y secundarios obtenidos, se ha realizado la cuantificación de la huella de carbono generada por los 96.897 kilogramos de detergente industrial producidos durante el año 2023. En la tabla 2 se presentan los mismos:

Tabla 2. Cuantificación de huella de carbón generada

Proceso	Fuente de Generación de CO ₂	Kg de CO ₂ generados en 2022
<i>Producción de Materias Primas</i>		
Carbonato de Sodio	Quema de Coque	33.050,02
Ácido Sulfónico	Energía eléctrica	21.033,00
Hidróxido de Sodio	Energía eléctrica	13.160,00
<i>Producción de detergente in situ</i>		
Detergente	Energía eléctrica	8.693,32
<i>Producción de Material de Empaque</i>		
Balde de Polipropileno	Quema de diésel y Energía eléctrica.	15.327,16
Funda de Polietileno		597,00
<i>Transportación de Insumos</i>		
Fluvial	Uso de combustible	21.190
Terrestre		2.024,26
Totalidad de CO _{2e} generado en 2023		

Trasladando los 115.075,76 Kg de CO_{2e} a la unidad funcional, se tiene que un balde de 20 kilogramos de detergente industrial tiene una huella

de carbono de 23,75 Kilogramos de CO_{2e}.

Los procesos que contribuyen a la generación de este gas de efecto

invernadero están relacionados a quema de combustibles fósiles derivados del petróleo; para procesos internos de las plantas industriales y motores de vehículos de transportación de insumos.

A continuación, se presentan en la Tabla 3 los resultados de CO₂ por utilización del combustible diésel por operaciones de transporte marítima.

Tabla 3. Emisiones de CO₂ anual por transporte marítimo de materia prima importada.

Distancia total		Carbonato de sodio y LABSA	
		Factor de emisión del diésel Kg CO ₂	Emisión anual de CO ₂
Km	Ton	tonne.km	Kg CO ₂
9336	69,76	0.032547	21190

En la Tabla 4 se presenta las emisiones de CO₂ de materia prima importada del puerto marítimo a la planta de producción de detergente.

Tabla 4. Emisiones de CO₂ anual por transporte terrestre de materia prima importada

Distancia total	Carbonato de sodio y LABSA	Factor de emisión KgCO ₂	Emision anual de CO ₂
Km	Ton	tonne.km	Kg CO ₂
81.39	69,76	0.07621	432.75

En la Tabla 5 se muestra las emisiones de CO₂ por transporte de materia prima local hasta la planta.

Tabla 5. Emisiones por transporte terrestre por materia

Distancia total	Hidróxido de sodio	Factor de emisión del diésel KgCO ₂	Emisión anual de CO ₂
Km	Ton	tonne.km	Kg CO _{2e}
129.56	17.44	0,6142	1.388, 17

En la tabla 6 por transporte de baldes plásticos para el envasado de detergente hacia la planta industrial.

Tabla 6. Emisiones de CO₂ por transporte de baldes

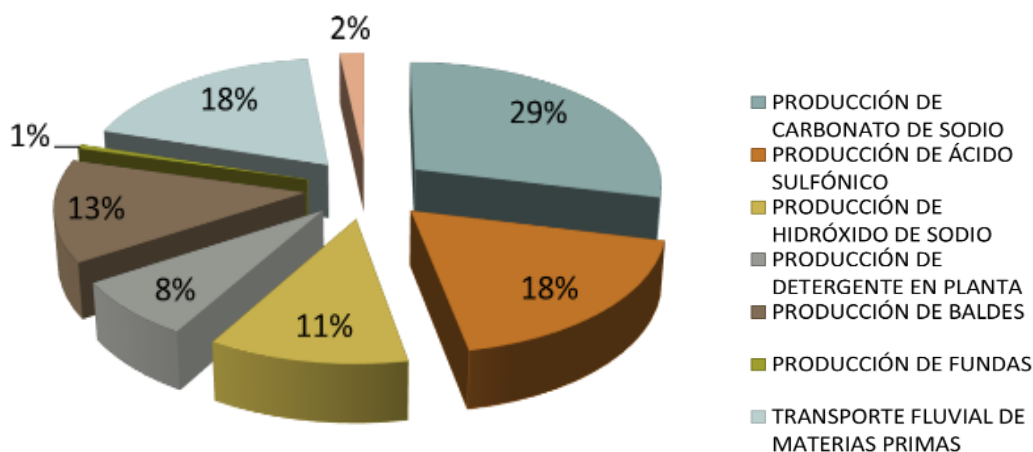
Distancia total		Baldes Plásticos	Factor de emisión
Km	Ton	tonne.km	Kg CO _{2e}
64.45	5.36	0,6142	203,34

En la figura 4 se tiene la contribución porcentual de generación de CO₂ por procesos; el 29% corresponde a la producción de carbonato de sodio; mientras que las otras dos materias primas tienen 18% y 11% para ácido sulfónico e hidróxido de sodio, respectivamente. Esto indica que la contribución global de la producción de las 3 materias primas es de 58% de la totalidad de generación de CO₂, sin contemplar el transporte de estas materias primas que aportaría un 18% más de emisiones de CO₂.

El proceso de producción in situ en la planta objeto de estudio únicamente corresponde al 8% este porcentaje pequeño se da, debido a que en planta las operaciones unitarias de mezclado y secado, utilizan energía eléctrica y sus procesos no generan directamente gases de efecto invernadero como tal.

Para tener una presentación final de detergente para su uso, se utilizan dos insumos plásticos que en conjunto están generando el 14% de la huella de carbono.

Fig. 4. Contribución porcentual de huella de carbono por proceso.

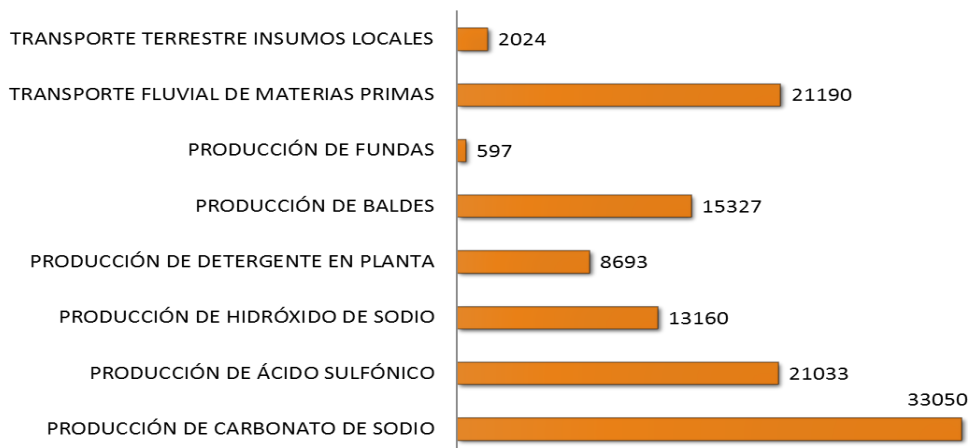


El 20% de la contribución restante, corresponde a la transportación de los insumos necesarios para producción, los recorridos son desde Ohio Estados Unidos hasta el puerto marítimo de Guayaquil por agua. Y por tierra recorridos desde el norte y

sur de Guayaquil hasta la ciudad de Durán - Ecuador.

En la figura 5 se puede observar como la producción de materias primas acapara la mayor cantidad de generación de CO₂ con 67.243,02 Kilogramos.

Fig. 5. Contribución Global de generación de kg CO₂e.



Dentro de la huella de carbono del detergente industrial producido en Durán-Ecuador, el carbonato de sodio es el insumo que contribuye mayormente a la generación de CO₂, un punto importante es que el 40% de la masa del producto terminado, corresponde a esta materia prima. Uno de los datos secundarios que se obtuvieron es que para la elaboración de esta sustancia se utiliza piedra caliza calcinada a 1000 grados Celsius. Por lo que se han utilizado grandes cantidades de combustible para procesar los 38.758,80 kilogramos producidos en 2022. Esta industria utiliza un combustible económico como el coque, que a su vez genera una combustión menos eficiente por el alto grado de contaminantes, ya que es una de las últimas fracciones de la destilación de petróleo,

resultando en una contribución de CO₂ directa y muy alta.

Existe una igualdad en los porcentajes generados en los procesos de producción de ácido sulfónico y el transporte fluvial desde los Estados Unidos de las materias primas importadas aportando el 18% cada una, que corresponden a las de mayor contribución de huella de carbono. Es importante destacar entonces que en la producción tanto como los traslados de carbonato de sodio y ácido sulfónico, se está concentrando la mayor cantidad de kilogramos de CO₂ generados por la unidad funcional de estudio, un 65% en total. Se deben entonces buscar proveedores locales o de países más cercanos para adquirir éstas materias primas y disminuir los kilómetros recorridos para su traslado a las instalaciones.

Como dato final de este estudio se ha obtenido la huella de carbono por unidad funcional considerando los

criterios de análisis y evaluación citados con anterioridad. En la siguiente tabla se presenta:

Tabla 8. Huella de carbono por Unidad funcional

Producción total detergente kg.	Número total de baldes	kg.CO ₂	Huella de carbono por unidad funcional
96897 kg	4845 unidades	115.074,34 kg de CO ₂	23.75 Kg de CO ₂

A pesar de contar con los resultados expuestos, el análisis de ciclo de vida realizado presentó algunas limitantes, como la poca disponibilidad de estudios similares dentro y fuera del Ecuador, así como las diferentes tecnologías utilizadas en la producción de materias primas, lo que generó discusión en la elección de las mismas. Frente a esto, se recabó información de proveedores directos, y de los equipos que utilizaban para poder así buscar información técnica de los mismos relacionada a la generación

de CO₂ y con ello desarrollar los cálculos.

Por otra parte, el corto tiempo con el que se contó para realizar el estudio de Análisis de Ciclo de Vida no permitió cuantificar las demás categorías de impactos ambientales generados generadas por la fabricación del detergente industrial, sin embargo, se pudieron cualificar, dadas las condiciones de las industrias y procesos involucrados, en la tabla 7 se muestran a continuación:

Tabla 7. Cuantificación de impactos ambientales generados en las operaciones

Impacto Ambiental	Componente afectado	Proceso Involucrado
Emisión de gases efecto invernadero CO ₂ -CO-NOX	Calidad del Aire	Producción y transporte de insumos.
Emisión de SO ₂		Producción de ácido sulfónico
Emisión de material particulado PM2.5 y PM 10		Producción de carbonato de sodio y de detergente in situ.
Emisión de compuestos orgánicos volátiles		Producción de hidróxido de sodio y plásticos.
Efluentes con alto grado de tensoactivos	Calidad del agua	Producción de detergente
Ruido Ambiental	Ruido en el Ambiente	Producción de carbonato de sodio y de detergente in situ.

Finalmente, en la tabla 8 se presentan los principales impactos que tiene para el medio ambiente y zonas agrícolas.

Tabla 8. Categorías de impacto ambiental consideradas en el análisis

Categorías	Expresión
Cambio Climático	(kg CO ₂ eq)
Agotamiento de la Capa de Ozono	(kg CFC-11 eq)
Esmog Fotoquímico	(kg NMVOC)
Formación de material particulado	(kg PM ₁₀ eq)
Radiación Ionizante	(kg U235 eq)
Acidificación Terrestre	(kg SO ₂ eq)
Eutrofización de agua fresca	(kg P eq)
Eutrofización marina	(kg N eq)
Toxicidad humana cancerígena	(CTUh)
Toxicidad Humana no cancerígena	(CTUh)
Ecotoxicidad	(CTUe)
Uso de suelo agrícola	(m ² a)
Uso de suelo urbano	(m ² a)
Transformación de suelo natural	(m ²)
Agotamiento hídrico	(m ³)
Agotamiento de recursos minerales	(kg Fe eq)
Agotamiento de recursos fósiles	(kg oil eq)

Discusión con otros estudios de ACV de detergente

De acuerdo con los resultados obtenidos y analizados del AVC del detergente en polvo de tipo sintético, se puede evidenciar que la etapa de elaboración de materias primas, que formó parte del alcance del estudio, genera el mayor porcentaje de emisiones de CO₂, ya que se encuentran en el 58% de las emisiones totales. Dichos resultados han sido comparados con bibliografía relacionada a este tipo de estudio. Sin embargo, es necesario mencionar que existe reducida información local del

análisis de ciclo de vida de los detergentes de este tipo.

Se ha comparado los resultados con un Análisis de ciclo de vida de la industria de detergente de lavado textil con estudio de caso empresa ENVATEC (Santiago de Chile 2014), estudio que presenta un alcance más amplio, ya que incluye las etapas desde la cuna hasta la tumba (elaboración y transporte de materias primas, producción, distribución, retail y compra, uso y fin del ciclo) y además varias categorías de impacto ambiental, y no únicamente el cambio climático, siendo su unidad funcional un lavado de ropa promedio.

A pesar de las diferencias encontradas, ambos estudios guardan relación en evidenciar que el mayor porcentaje de emisiones de CO₂ dentro de los diferentes alcances, corresponde a la elaboración y transporte de las materias primas.

En el estudio de Chile se evidencia un 50% de aporte de emisiones de CO₂ por las materias primas, siendo la transportación desde China significativamente la mayor. En contraste al presente estudio, la elaboración de materias primas aporta un 58% de emisiones de CO₂ del total en la contribución, siendo la elaboración del carbonato de sodio el de mayor grado de emisiones. Otro aspecto evaluado y tomado en consideración es la producción del detergente en polvo, en el estudio realizado se pudo evidenciar que esta actividad representa el 8% de las emisiones totales de CO₂, mientras que en el estudio de la empresa ENVATEC (Santiago de Chile 2014), la producción represento el 3,6% de las emisiones totales de CO₂.

Por otra parte, de acuerdo al estudio de Seiffert (2014) y referente a los

principales impactos al medio ambiente agrícola, la eutrofización y los indicadores de toxicidad representan una preocupación clave por parte de la sociedad hacia los detergentes, por lo que su inclusión es de suma importancia. En cuanto a las categorías relacionadas a transformación de suelo, existen algunas materias primas de origen agrícola que pueden resultar importantes en estos indicadores, una de estas es la acidificación de fuentes de agua (ríos, embalses, esteros, riachuelos, etc.) que ocurre cuando los contaminantes vertidos a estos efluentes se convierten en sustancias ácidas que los degradan, produciendo por consecuencia lixiviación de metales tóxicos y la corrosión acelerada de metales.

Los impactos en el uso de suelos agrícolas y transformación de suelos naturales puede traer como consecuencia además de la pérdida de biodiversidad, una disminución de la capacidad de sustento vital de los ecosistemas.

El agotamiento hídrico, de recursos minerales y fósiles, el impacto en el cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, el daño a la salud

humana, la radiación ionizante son otras consecuencias que afectan significativamente a los ecosistemas agrícolas, disminuyendo las capacidades de los suelos y afectando su productividad.

4. Conclusiones

Como resultados del presente estudio de análisis de ciclo de vida de detergente Industrial en Ecuador se han obtenido datos de mayor precisión ajustado con las fuentes de energía asociada en los procesos de producción local con un análisis significativo. Se pudo determinar la categoría de impacto ambiental relacionado con el calentamiento Global por efecto de gases emitidos a la atmósfera como el dióxido de carbono CO₂, debido a que es un gas potencial de calentamiento.

Se contempló un análisis de ciclo de vida de la de cuna a la puerta, obteniendo datos primarios en la misma planta de producción y datos secundarios de entes externos y bibliografía consultada de alta confiabilidad; obteniendo que, por cada unidad funcional de un balde de 20 kilogramos de detergente industrial, se liberan 23.75

kilogramos de CO₂ a la atmósfera. La producción de las tres materias primas utilizadas engloba un 58% de la totalidad del aporte a la huella de carbono del producto final, de esto el 29% corresponde a la producción de carbonato de sodio, que es el producto de mayor aporte a la huella de carbono de la unidad funcional, esto se da por el uso de coque como combustible en su proceso de producción interno.

El proceso de producción in situ del detergente aporta con un 8% de la huella de carbono total, lo que indica que dentro de planta los procesos no generan un gran impacto, sin embargo, se debe analizar la situación de los proveedores de materias primas y proponer cambios en sus tecnologías, o contemplar cambio, teniendo en cuenta la gestión ambiental de sus procesos, como uno de los puntos críticos de calificación a la industria de proveedora de materia prima.

Los tipos de impacto que juegan un rol protagónico dentro del ciclo de vida de los detergentes son aquellos relacionados tanto a las etapas de elaboración y transporte de materias primas como al fin de ciclo de vida,

ésta última debido a la descarga de químicos tras el uso del producto.

Los impactos más fuertes a los ecosistemas agrícolas que una vez analizado el ciclo de vida del detergente industrial en polvo, ocasiona, incluyen a la ecotoxicidad, acidificación, eutrofización en el uso de suelos agrícolas y transformación de suelos naturales y, toxicidad humana. Además, debido a que el producto debe utilizarse diluido en agua, el agotamiento hídrico es una grave consecuencia que, aunque está fuera del alcance de los productores, ocasiona danos severos a la producción agrícola por el uso del agua contaminada con detergente.

Bibliografía

- ALLCOT group. (2023). El reciclaje reduce las emisiones de co2, pero también es necesario compensarlas. España, Madrid, Europa.
- Borunda, B. Análisis de ciclo de vida para el proceso de producción de nanopartículas de hidróxido de magnesio utilizadas como retardantes de flama," [Tesis de maestría]. Centro de investigación en materiales avanzados.
- Ecology, C. -D. (2016). CML-IA Characterisation Factors Database. Leiden y la Haya-Holanda.
- Ministerio del Ambiente (2010). Plan Nacional de la Calidad de Aire. Quito-Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Enríquez, P. J. (2016). Álcalis y halógenos. Madrid: Universidad Politécnica de Ingenieros Industriales de Madrid.
- Escobar, L. A. (2015). Desarrollo y ejecución de una planta piloto para un proceso de sulfonación con un reactor de película descendiente. Valencia: Universidad de Carabobo.
- FAO (2023). Un Planeta: la labor de la FAO relativa a la biodiversidad, Una Salud y el clima.
- Fundación Chile (2012). Edge Enviromanetal. Product Category Life Cycle Assessment: Laundry Detergent.
- Giagnorio, M. Amelio, A. Grüttner, H. Tiraferri, A. (2017). Environmental Impacts of Detergents and Benefits of Their Recovery in the Laundering Industry," Journal

- of 52 Cleaner Production, 154, 593–601.
- Golsteijn, L. Menkveld, R, King, H. Schneider, C. Schowanek, D. y Nissen, S. (2015). A Compilation of Life Cycle Studies for Six Household Detergent Product Categories in Europe: The Basis for Product-Specific A.I.S.E. Charter Advanced Sustainability Profiles," Environmental Sciences Europe, vol. 27, 1–12.
- Herrmann, I. y Moltesen, A. (2015). Does It Matter Which Life Cycle Assessment (LCA) Tool You Choose? - A Comparative Assessment of SimaPro and GaBi. Journal of Cleaner Production, 86, 163–69.
- Intergovernmental panel on climate change (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Naciones Unidas (United Status of América).
- ISO (2024, Oct 5). ISO 14040: 2006. Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida-Principios y marco de referencia [Online]. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia.
- Matín, J. L. (2020). Universidad Politécnica de Madrid-Tecnología Química Industria. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Naciones Unidas (2023). Crecimiento de la Población. Nueva York-USA.
- Nessi, S. Rigamonti, L. y Grosso, M. (2014). Waste Prevention in Liquid Detergent Distribution: A Comparison Based on Life Cycle Assessment, Science of the Total Environment, 499, 373–83,.
- Organización de Naciones Unidas (2024, Oct 5). Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano [Online]. Disponible: <https://www.un.org/es/global-issues/population#:~:text=Una%20poblaci%C3%B3n%20en%20crecimiento&text=Se%20estima%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,millones%20para%20mediados%20de%202080>.
- Ramírez, A. (2018). Lights and shadows of the environmental impacts of fossil-based electricity. Energy Policy, 11.
- Rodríguez-Guarnizo, J. (2016). Los procedimientos clásicos de la producción de la Sosa. Toledo - España.
- Shahmohammadi, S. Steinmann, Z. Clavreul, J.. Hendrickx, J, H King, H. y Huijbregts, M. (2018). Quantifying Drivers of Variability in Life Cycle Greenhouse Gas Emissions

of Consumer Products—a Case Study on Laundry Washing in Europe," International Journal of Life Cycle Assessment, 23, 1940–49.

SPARTAN S.A. (2019). Diagrama general de producción de detergente industrial. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Seiffert, N. (2014). Análisis de ciclo de vida de la industria de detergente de lavado textil con estudio de caso empresa Envatec [Tesis de maestría]. Universidad de Chile.

UK Government Department for Business, E. &. (2023). emission conversion factors for greenhouse gas company reporting. UK.

United States Environmental Protection Agency. (2006). Sumary of Impact Categories. USA.

United States Environmental Protection Agency. (2020). An official website of the United States government. <https://www.epa.gov/>

Villota, J. (2020). Análisis del ciclo de vida del producto BioMultiusos detergente líquido en la empresa Probionar S.A.S. [Tesis de maestría]. Universidad Tecnológica de Pereira.