




Exploration of the environmental impact of a laundry service in Arequipa through the use of life cycle analysis

Jesús Delgado M., Estudiante de Ing. Ambiental¹ , Miguel Mejía Alegre, Estudiante de Ing. Ambiental¹  y Juan Condori P., Estudiante de Ing. Ambiental¹ 

Faculty Mentor: Maritza Chirinos M., Ms en Ciencias¹ 




¹Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú, jesus.delgado@ucsp.edu.pe, miguel.mejia@ucsp.edu.pe, juan.condori.poma@ucsp.edu.pe, mchirinos@ucsp.edu.pe

Abstract– Washing clothes is a common and daily practice. The laundry service emerged as an alternative to domestic practice. However, in none of the cases have the environmental impacts produced been studied in detail for all regions of the world. Using the LCA methodology, this evaluation task can be carried out using regional data. The present work uses ACV in the common clothes washing service in a laundry in the city of Arequipa in Peru. The boundaries of the study were raised in four elementary processes that correspond to prewash, wash, rinse and spin, which are carried out in the washing machine. An inventory of data was put together, mainly represented by consumption of water, energy and cleaning products. The search for characterization factors was carried out using free databases and other bibliographic sources. With these, equivalent values were obtained and the relationships between the aspects and categories of environmental impact were identified. In this way, the environmental profile for the service studied was obtained. The categories of water resource predation stand out with a value of 861.63 m3-eq, being quite high. Likewise, categories such as freshwater ecotoxicity with a value of 15.7658 kg 1.4-DB eq, and energy consumption with 43,316 kWh.

Keywords-- LCA, laundry, Arequipa, water consumption, energy consumption.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Exploración del impacto ambiental del servicio de una lavandería en Arequipa mediante el uso del análisis de ciclo de vida

Jesús Delgado M., Estudiante de Ing. Ambiental¹ , Miguel Mejía Alegre, Estudiante de Ing. Ambiental¹  y Juan Condori P., Estudiante de Ing. Ambiental¹ 

Faculty Mentor: Maritza Chirinos M., Ms en Ciencias¹ 

¹Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú, jesus.delgado@ucsp.edu.pe, miguel.mejia@ucsp.edu.pe, juan.condori.poma@ucsp.edu.pe, mchirinos@ucsp.edu.pe

Resumen– El lavado de ropa es una práctica común y diaria. El servicio de lavandería surgió como una alternativa a la práctica doméstica. No obstante, en ninguno de los casos, los impactos ambientales producidos han sido estudiados a detalle para todas las regiones del mundo. Mediante la metodología de ACV se puede realizar dicha tarea de evaluación y haciendo uso de datos regionales. El presente trabajo utiliza ACV en el servicio de lavado de ropa común en una lavandería de la ciudad de Arequipa en Perú. Se planteó las fronteras del estudio, en cuatro procesos elementales que corresponden a prelavado, lavado, enjuague y centrifugado, las cuales se llevan a cabo en la lavadora. Se armó un inventario de datos, representado mayormente por consumo de agua, de energía y de productos de limpieza. Se realizó la búsqueda de factores de caracterización mediante base de datos libres y otras fuentes bibliográficas. Con estos se obtuvieron valores equivalentes y se identificaron las relaciones entre los aspectos y las categorías de impacto ambiental. De esta manera se obtuvo como resultado el perfil ambiental para el servicio estudiado. Se destacan las categorías de deprecación del recurso hídrico con un valor de 861.63 m³-eq siendo bastante alto. Así mismo, categorías como la ecotoxicidad de agua dulce con un valor de 15.7658 kg 1,4-DB eq, y el consumo energético con 43.316 kWh.

Palabras clave-- ACV, lavandería, Arequipa, consumo de agua, consumo energético.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente conciencia ambiental en nuestra sociedad nos exige tener un uso adecuado de los limitados recursos naturales. El correcto manejo de estos recursos es fundamental para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Hay dos recursos indispensables para cualquier actividad humana: el agua y la energía. Su uso eficiente nos permite luchar con otras problemáticas como lo son la demanda hídrica y el cambio climático [1], [2].

No siempre es sencillo gestionarlos de una manera correcta, principalmente por la ausencia en la cuantificación del impacto ambiental que llega a tener su uso. La gestión de estos recursos están enmarcados dentro del ODS 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles, y el ODS 12 Producción y Consumo Responsable [3]

Hoy en día existen herramientas y métodos que permiten cuantificar el impacto ambiental. Uno de estos, es el análisis de ciclo de vida (ACV), que nos permite medir los impactos ambientales ocasionados en las etapas de extracción, producción, uso y fin de vida de un bien o servicio, en donde

se cuantifica las entradas y salidas, tal como ocurre en el uso de agua y de la energía. Es una herramienta muy versátil pues permite identificar la etapa del proceso que mayor impacto tiene, y se puede comparar con alternativas potenciales. Su uso, facilita la gestión adecuada de recursos y el control de los impactos ambientales que integran una actividad humana.

Por otro lado, el lavado de ropa solía ser una labor netamente doméstica. No obstante, el servicio de lavandería surgió como un negocio que permite cubrir esta necesidad doméstica, principalmente a la falta de tiempo de las personas [4]. El uso generalizado de lavadoras ha simplificado las tareas domésticas, proporcionando comodidad y eficiencia en el lavado de ropa. Sin embargo, este requiere de un consumo significativo de agua, energía e insumos químicos, los cuales representan un impacto ambiental que ha sido subestimado durante mucho tiempo.

Son varias las categorías de impacto comprendidas en la actividad del lavado de ropa, ya sea por el calentamiento del agua, las emisiones de efluentes, así como por el uso de detergentes. Se han evaluado al menos trece categorías de impacto ambiental y de salud humana; estos van desde el cambio climático hasta la eutrofización [5].

El consumo de energía eléctrica conlleva una huella de carbono integrada y asociada con su producción. Dependiendo del país y de su matriz eléctrica esta huella puede variar. La demanda energética de las lavadoras y malas prácticas de los usuarios llevan a tener un mayor consumo de energía y una mayor emisión de gases de efecto invernadero (GEI) [6].

El consumo del recurso hídrico tiene gran importancia tanto para el funcionamiento de las máquinas de lavar, como para los negocios y estilo de vida que dependen de ella. Por ello, se deduce que el agua consumida debe ser liberada en algún punto de las etapas del lavado en forma de aguas residuales. Según Chen, 2020 en Taiwán. Se consume casi ¼ disponible del agua de un hogar para el lavado de prendas, siendo más específicos 26.2 %. Y la salida de estos se le denomina como aguas residuales, estas pueden contener ciertos contaminantes como microplásticos, microfibras, microorganismos, fosfatos, etc [7], [8].

Por otro lado, las aguas residuales tienen una carga microbiana incorporada que proviene de la piel del usuario, del entorno (interior y exterior) y de la propia lavadora. A pesar de su menor riesgo como problemática ambiental, estos

microorganismos aún representan un potencial peligro ya que pueden sobrevivir al proceso de lavado siendo algunos de ellos patógenos [9].

Un impacto poco estudiado es la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en las actividades de lavado de ropa [10]. Están presentes como aditivos en los detergentes, y también pueden estar presentes como contaminantes en el agua o ropa a lavar [11]. Pueden llegar a reaccionar con los NO_x y formar ozono troposférico, un compuesto gaseoso altamente tóxico para los seres vivos [12].

Otro impacto relevante es la eutrofización causada por los fosfatos y nitratos presentes en las descargas de las aguas residuales, debido a los detergentes utilizados en el lavado. Estos remanentes forman compuestos nocivos que propician la proliferación de algas y reducción del oxígeno en fuentes de agua, afectando de esta manera la flora y fauna [13].

Las lavanderías se han señalado como una fuente potencialmente importante de microfibras de plástico, un contaminante emergente [14]. Estas microfibras sintéticas son detectadas con frecuencia en muestras de sedimentos, la columna de agua y la biota ya que traspasan los procesos de tratamiento de agua por su tamaño microscópico [15], [16].

Como se destacó, las problemáticas relacionadas con las máquinas de lavar son amplias. Las soluciones podrían incluir dispositivos simples para capturar microfibras, sensibilizar al público, formular medidas reguladoras, entre otros, que pueden desempeñar un papel crucial en la mitigación de esta actividad [16].

La aplicación del análisis de ciclo de vida nos permite realizar una evaluación de los impactos identificados durante toda la cadena productiva del servicio, evaluando aspectos ambientales y categorías de impacto involucradas. Este estudio tiene como objetivo utilizar ACV para cuantificar y analizar los impactos asociados con el servicio de lavandería en la ciudad de Arequipa en Perú. Es de suma importancia realizar este trabajo pues actualmente no se cuenta con un estudio detallado del impacto ambiental generado por este servicio en el contexto nacional.

II. ESTADO DE ARTE

Como fue mencionado, el ACV permite la evaluación de impactos. Muchos estudios con esta herramienta de análisis son dirigidos a productos, llamado ACV de producto. Sin embargo, también podemos hablar del ACV de servicios que posee una estructura bastante similar a la que se realizaría para un producto. Sin embargo, para un servicio se consideran algunas variaciones al momento de definir las etapas, en el caso del ACV de un producto las etapas se definen en la Pre-manufactura, manufactura y finalmente la distribución y uso. Por otro lado, para el ACV de un servicio comprende las etapas de “preparación del servicio”, “producción y consumo del servicio”, y finalmente, “Actividades después del servicio”. Es a partir de esta metodología que la aplicación de ACV en servicios funge una opción bastante factible a la hora

de hacer una evaluación de impactos potenciales y poder tomar medidas correctivas para mitigar estos posibles [17].

Sin embargo, en cuanto a la revisión de la literatura respecto a estudios de ACV aplicado a servicios de Lavandería, es muy escasa la información, a pesar que esta actividad es rutinaria en todas partes del mundo. Por ello para poder desglosar de mejor manera la información primero hemos de conocer cuál es principal problemática a la que se relaciona el servicio de lavandería.

Los residuos generados por el servicio de lavado, especialmente las aguas grises, producto de los procesos de lavandería, se identifica que este recurso contaminado es uno de los más grandes y potencialmente dañinos para el suelo o los cuerpos que sirvan de punto receptor [18]. Así mismo, este efluente proveniente de la industria de la lavandería deja en evidencia una fuente bastante crítica de contaminantes especialmente contaminantes químicos como lo son tensioactivos, que están vinculados a la formulación de detergentes y representa un riesgo al medio ambiente por su baja biodegradabilidad y la alta capacidad de generar espumas [19], [20]. Así mismo, estos efluentes si bien en menor medida pueden presentar algunos contaminantes más específicos como los alquilfenoles, triclorometano, éter de difenilo bromado y cloruros [20].

En cuanto a estudios de ACV como tal, en primera instancia tenemos algunos estudios enfocados en los insumos o productos utilizados en el servicio, como los detergentes y productos de limpieza. Empezando por la composición de estos agentes los cuales si bien, poseen nombres y funciones diferentes generalmente se encuentran asociados y presentan componentes en común como lo son los agentes tensioactivos, builder, espumante, suavizantes, entre muchos otros. Todos estos componentes forman parte de los productos de limpieza y a partir de estos es que se define a la obtención y producción de materias primas como uno de los principales contribuyentes al impacto ambiental, así mismo otras etapas relevantes son la etapa de uso y descarte. En esta misma investigación se presenta que el ACV consta de dos presentaciones de detergente, en polvo y líquido, las cuales ambas presentan como etapas de mayor impacto el uso y fin de vida, y aportan principalmente a la categoría de ecotoxicidad [5], [13], [21].

Por otro lado, en el estudio presentado por [22] de ACV aplicado a una Lavadora, proporcionando una línea base sobre la cual poder trabajar, dado que presente la cadena productiva, así como considerando la etapa de uso del equipo teniendo en consideración insumos como el detergente y productos de limpieza de similar producción. Si bien en el contenido se aclara que la investigación es un ACV, este es denominado simplificado, dado que selecciona a conveniencia de la investigación aquellas categorías de mayor relevancia y dimensiona el impacto que esta genera a partir del consumo de recursos que se genera en cada una de las etapas de la vida de la lavadora

En cuanto a sistemas de lavanderías se recabo información de gran relevancia, presentando información de

los sistemas de producción de estos sistemas de lavandería, un término en común que presentaron estos estudios fue “pay-per-use”, el cual en el contexto que se presentan los estudios se entiende como un sistema en el que el consumidor o cliente, en lugar de comprar directamente el producto, este realiza un pago para tener acceso al servicio y únicamente hace el pago por el tiempo y los ciclos de lavado que este realice [23], [24]. Así mismo, las ACVs realizados para estos sistemas de lavandería, “pay-per-use” y “sistema tradicional”, muestra que los impactos son menores en sistemas de lavandería “pay-per-use” en comparación al uso doméstico tradicional, presentando reducciones de un 10 a 40% en categorías de impactos como acidificación, cambio climático, eutrofización, toxicidad, entre otros. Siendo estos resultados obtenidos a través del uso del Software ActivityBrowser el cual permitió mostrar de manera gráfica, el aporte de cada etapa de la vida de la lavadora a las diferentes categorías de impacto. [24].

Si bien los sistemas presentados previamente resultan bastante interesantes dado que la literatura respalda que estos mitigan el impacto ambiental en comparación a sistemas de uso doméstico tradicional, y presentan un beneficio económico para los consumidores. En el contexto local no es muy común la presencia de estos sistemas de lavanderías y los sistemas más comunes son los de lavandería en casa o lavanderías de acopio, los cuales los mismos proveedores del servicio se encargan del proceso de lavado de las prendas y ellos reciben la ropa de los clientes. Es por ello que, el presente trabajo busca la evaluación del impacto ambiental del servicio de lavado de ropa en una lavandería de Arequipa mediante la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida.

II. METODOLOGÍA

A. Tipo De Investigación

La presente investigación es aplicada, pues utiliza la teórica acerca del ACV en una realidad práctica. También es de tipo cuantitativa, pues no solo se describirán los impactos asociados con el servicio de lavado de ropa, sino que se cuantificarán. Es de diseño no experimental, pues se analiza el servicio de lavandería tal como se oferta y no hay manipulación de por medio. También se considera como descriptiva causal debido a la relación que se hace entre los aspectos ambientales y los impactos asociados.

B. Limitaciones

Delimitación temporal: la información primaria, respecto a los datos utilizados en el estudio, fueron recolectados entre diciembre de 2023 a febrero de 2024. Por otro lado, las consultas bibliográficas utilizadas se realizaron desde octubre de 2023 hasta febrero de 2024.

Delimitación geográfica: El estudio se realizó en base a las condiciones regionales. Los impactos asociados con el consumo de energía son en base a la matriz eléctrica nacional [25].

Delimitación temática: La investigación se limita al estudio de uno de los tipos de servicio de la lavandería y respecto a 4 procesos mediante la metodología de ACV. El impacto ambiental asociado a toda la lavandería se abordará en un proyecto mayor.

C. Descripción de la lavandería

La lavandería está ubicada en el distrito de Yanahuara, en la ciudad de Arequipa en Perú. Distintos servicios son ofrecidos en la lavandería como: lavado de ropa común, lavado de ropa especial (terno y blusas), lavado de edredones y limpieza de zapatillas. Cada uno requiere de diferentes insumos, sigue distintos pasos y tiene diferentes precios establecidos. El presente documento es un primer paso para el análisis ambiental completo de la lavandería en estudio. Este se centra en el análisis del servicio de lavado de ropa común, uno de los más demandados en la lavandería.

D. Método de ACV

El método establecido por ACV se divide en cuatro etapas fundamentales: i) definición del objetivo y alcance, ii) inventario de datos, iii) análisis de impacto, iv) interpretación de resultados. Cada una de estas se describen a continuación.

i. Objetivo y Alcance:

Objetivo: Evaluar el impacto ambiental del servicio de lavado de ropa en una lavandería de Arequipa mediante la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida.

Alcance: Como primer paso, se establecerá el flujograma del sistema del proceso que se observa en la Fig. 1 a continuación:

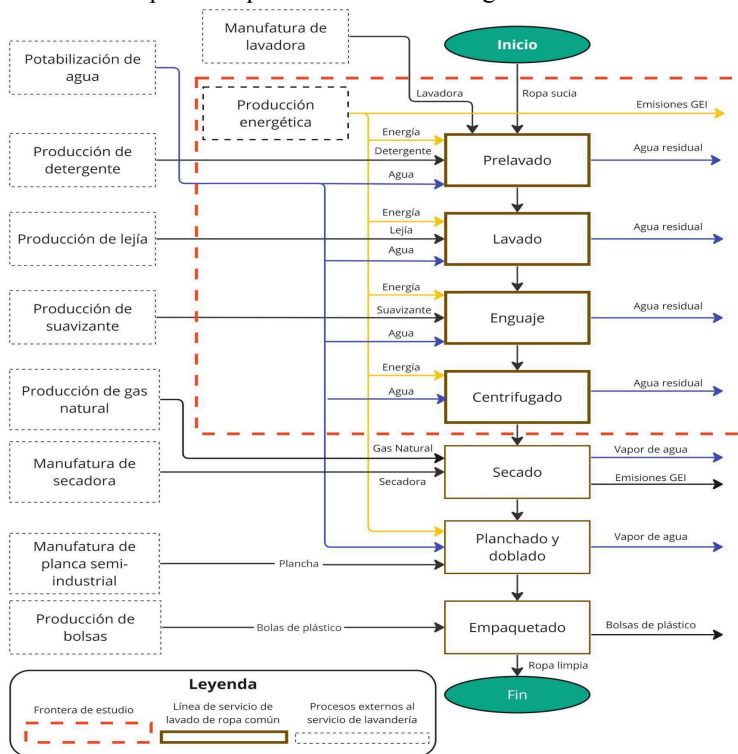


Fig. 1 Flujograma del sistema de lavado de ropa común

En la figura se observa las fronteras del estudio delimitadas por líneas discontinuas de color rojo. Dentro de esta se encuentran los cuatro procesos elementales en estudio correspondientes al servicio de lavado, los cuales son: prelavado, lavado, enjuague y centrifugado; de ahora adelante llamados procesos elementales. Adicionalmente a esto, se considera la carga ambiental de emisiones de GEI asociada a la producción energética por su relevancia en la categoría de impacto de calentamiento global. Se han desconsiderado otros impactos asociados con la producción energética.

Para los procesos fuera de la línea roja, no se están considerando las cargas ambientales asociadas con los procesos de producción y manufactura de los insumos y equipos utilizados en el servicio de la lavandería. Se ahondará y analizará dichos procesos en futuras investigaciones.

Unidad funcional: Se definió la unidad funcional como 1 ciclo de lavado de ropa común con el servicio de lavandería, lo cual consta de 4.5 kg de ropa lavada por ciclo

Flujo de referencia: se considerarán 260 ciclos de lavado al año como flujo de referencia.

ii. Inventario de datos:

La información primaria se recopiló de una lavandería en la ciudad de Arequipa. El levantamiento de datos consistió en:

i) Encuesta: con la finalidad de conocer servicios ofertados, los procesos empleados, las maquinarias disponibles y los insumos utilizados.

ii) Toma de tiempos: realizados con cronómetro en el funcionamiento de la lavadora en cada una de los procesos elementales.

iii) Toma de volúmenes: de los insumos de limpieza requeridos para cada tanda de ropa lavada. Se hizo uso de una jarra medidora para estimar los volúmenes empleados.

Se buscó información secundaria como fichas técnicas y hojas de seguridad (MSDS) de los insumos. Esto se complementa con una revisión bibliográfica de trabajos similares y afines con el objetivo, que brinden datos útiles, tales como factores de equivalencias, categorías de impacto evaluadas, o cargas ambientales incorporadas por los aspectos de entrada.

Los procesos elementales estudiados se realizan en una lavadora de la marca Samsung modelo WD90J6410AW. Estos consumen principalmente agua, energía eléctrica y productos de limpieza.

Para el requerimiento del agua en los procesos, se consultó la hoja técnica de la lavadora “Samsung” en la que se indicó un consumo de agua por ciclo de lavado de 54 L. Cifra que se dividirá entre 3 procesos; prelavado (13.5 L), lavado (13.5 L) y enjuague (27 L) por la imposibilidad de calcular la cantidad exacta de agua en cada uno de ellos. En el proceso elemental del centrifugado no existe consumo de agua, caso contrario al proceso del enjuague en donde su consumo es mayor por rellenar la lavadora. Estas decisiones no representan un riesgo para los objetivos del ACV puesto que el consumo de agua total seguirá siendo 54 L.

Para el requerimiento de energía eléctrica, se consultó la ficha técnica de la lavadora y se obtuvo la potencia eléctrica de la lavadora en cada uno de los procesos elementales. Se tomó el tiempo in situ de lo que demoraba cada uno de los procesos. Con estos datos se calculó un consumo estimado de energía eléctrica en kWh.

En cuanto a los productos de limpieza identificados se utilizan tres: detergente líquido, lejía concentrada y suavizante líquido. Estos son usados en el prelavado, lavado y enjuague respectivamente. De acuerdo a su composición química se obtendrá la cantidad de contaminantes presentes en las aguas residuales tras los procesos. Se denota una falta de información en cuanto a la composición del detergente líquido; en ese sentido los autores consideraron información que se verá completada con detergentes líquidos equivalentes y la información presente en el envase. La composición de estos productos de limpieza se ven en las Tablas 1, 2 y 3.

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL DETERGENTE LÍQUIDO

Detergente líquido			
CAS ^a	Nombre	Porcentaje (V/V)	Densidad (kg/m ³)
7732-18-5	Agua	75	1000
68411-30-3	Sodium C10-13 Alkyl Benzenesulfonate ^b	10	1060
68439-50-9	Alcohols, C9-C16, ethoxylated ^c	5	1020
68891-38-3	Alcohols C12-14, ethoxylated (1-2.5 EO), sulphated, sodium salts ^d	5	1050

^aCAS (Chemical Abstracts Service) son identificadores numéricos asignados a sustancias químicas

^bSodium C10-13 Alkyl Benzenesulfonate es un agente tensioactivo e intensificador de limpieza

^cAlcohols, C9-C16, ethoxylated es un alcohol graso emulsionante característico de los detergentes líquidos

^dAlcohols C12-14, ethoxylated (1-2.5 EO), sulphated, sodium salts es un agente tensoactivo anionico

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LEJÍA CONCENTRADA

Lejía concentrado			
CAS	Nombre	Porcentaje (V/V)	Densidad (kg/m ³)
7732-18-5	Agua	95.37	1000
7681 – 52 – 9	Hipoclorito de sodio ^a	4.63	1110

^aHipoclorito de sodio es un agente blanqueador y desinfectante

TABLA III
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUAVIZANTE LÍQUIDO

Suavizante líquido			
CAS	Nombre	Porcentaje % (V/V)	Densidad (kg/m ³)
7732-18-5	Agua	87.5	1000
000107-64-2	Dimethyl dioctadecylammonium chloride ^a	10	1300
67-63-0	Isopropyl alcohol ^b	1	-
-	Perfume	1	-

^aDimethyl dioctadecylammonium chloride es un agente antiestático y acondicionador del tejido

^bIsopropyl alcohol es un solvente y agente suavizante

Se denota que no todos los compuestos están presentes en las salidas descritas en el inventario de análisis de la Tabla VI. Esto se debe a que ciertas sustancias están siendo despreciadas en los cálculos del ACV debido a la poca cantidad de estas. Dichas sustancias son: isopropyl alcohol, perfume y el contenido de agua en los productos de limpieza.

iii. Análisis de impacto:

A partir del inventario realizado, y de acuerdo al estado de arte fundamentado principalmente por los autores; [5], [13], [22], [26], [27]; se están considerando las categorías de impacto de: depredación del recursos hídrico, ecotoxicidad marina, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad en agua dulce, potencial de toxicidad humana y potencial de calentamiento global.

Cada una de estas categorías de impacto se valorarán en forma de unidades equivalentes mediante el uso de factores de equivalencia (F-Eq) y de emisión. Para el caso del impacto asociado con la energía, se está utilizando la información de [28], para poder determinar las emisiones asociadas con su producción, y se presentarán en unidades de kg de CO₂ eq.

Para los productos de limpieza, sus F-Eq se están recuperando de la base de datos ELCD 3.2 descargada de la plataforma Nexus OpenLCA, y abierta con el software Open LCA [29]. Para las categorías de ecotoxicidad los F-Eq se obtienen del método ReCiPe 2016 Midpoint (E). Para potencial de toxicidad humana el método consultado es EDIP 2003.

Para la huella hídrica se está utilizando el método Available WATER REMAINING (AWARE). Es un indicador para representar el midpoint de la categoría Uso de Agua [30]. Se utilizó el indicador para la región de Arequipa que tiene un valor de 61.37 m³-eq/m³.

La lectura de la Tabla IV es la siguiente: en caso de la Ecotoxicidad en agua dulce, se consideran los aspectos ambientales: Sodium alkylbenzene sulfonate, Alcohols, c12-14, ethoxylated y Dimethyl dioctadecyl ammonium chloride, los cuales tienen F-eq 6.82, 1.63 y 0.0000593 respectivamente; la fuente es ELCD 3.2.

TABLA IV

FACTORES EQUIVALENTES DE ACUERDO A LA CATEGORÍA DE IMPACTO

Potencial Calentamiento Global				Fuente
Aspecto ambiental	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	[25]
F-Eq (kg CO ₂ eq/kg)	1	298	51	
Potencial de toxicidad humana				Fuente
Aspecto ambiental	Fatty alcohol polyglycol ether	Hipoclorito de Sodio		[29]
F-Eq (m ³ / kg)	2.968	0.2576		
Ecotoxicidad terrestre				Fuente
Aspecto ambiental	Sodium alkylbenzene sulfonate	Alcohols, c12-14, ethoxylated	Dimethyl dioctadecyl ammonium chloride	[29]
F-Eq (kg 1,4-DB eq/kg)	3.98 x 10 ⁻²⁴	0.0116	0.0111	
Ecotoxicidad marina				Fuente
Aspecto ambiental	Sodium alkylbenzene sulfonate	Alcohols, c12-14, ethoxylated	Dimethyl dioctadecyl ammonium chloride	[29]
F-Eq (kg 1,4-DB eq/kg)	0.165	0.0301	0.00781	
Ecotoxicidad en agua dulce				Fuente
Aspecto ambiental	Sodium alkylbenzene sulfonate	Alcohols, c12-14, ethoxylated	Dimethyl dioctadecyl ammonium chloride	[29]
F-Eq (kg 1,4-DB eq/kg)	6.82	1.63	0.0000593	
Uso de Agua				Fuente
Aspecto ambiental	Agua			[30]
F-Eq (m ³ eq/m ³)	61.37			

Se hará una multiplicación de los factores con los aspectos ambientales del servicio de lavandería de acuerdo al inventario realizado. Esto resultará en valores equivalentes

que serán sumados de acuerdo a la categoría de impacto, lo cual conformará el perfil ambiental [31].

iv. Interpretación:

Se magnificaron los impactos ambientales asociados al servicio de lavado de ropa común. Esto se realizará en base al flujo de referencia, que es de 260 ciclos de lavado al año, lo cual equivale a 1170 kg de ropa común lavada. Otros autores consideraron [22], [24], [32] ciclos de lavado similares para establecer su flujo de referencia.

En base a los resultados cuantitativos obtenidos, se realizarán gráficos que permitan realizar el análisis correspondiente. Así mismo, se discutirán los resultados en base a la revisión bibliográfica realizada.

II. RESULTADOS

A. Inventario de datos

La Tabla V muestra los datos de tiempos tomados en los procesos elementales de la lavadora. Con el dato de potencia obtenido de la ficha técnica, se logró estimar el consumo eléctrico.

TABLA V
ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

Proceso elemental	Tiempo (h)	Potencia ^a (W)	Consumo(kWh) ecuación
Prelavado	0.72833	130	0.0947
Lavado	0.08361	130	0.0109
Enjuague	0.06667	130	0.0087
Centrifugado	0.011611	450	0.0523

^aLa potencia (W) está definida según lo indica la ficha técnica Samsung de acuerdo a su modelo

En la Tabla VI, se muestra el inventario realizado para cada una de los procesos elementales. Algunos datos fueron datos primarios, y otros consultados en las fichas técnicas.

TABLA VI
INVENTARIO DE DATOS

Etapa	Información	Unidad	Valor	Fuente
Prelavado	Cantidad de ropa que entra a la lavadora	kg	4.5	Dato primario
	Volumen de agua necesario	L	13.5	Ficha técnica
	Energía eléctrica requerido durante el tiempo de prelavado	kWh	0.0947	Ficha técnica

	Volumen de detergente requerido	mL	75	Dato primario
Lavado	Volumen de agua necesario	L	13.5	Ficha técnica
	Energía eléctrica requerida durante el tiempo de lavado	kWh	0.0109	Ficha técnica
	Volumen de lejía requerido	mL	50	Dato primario
Enjuague	Volumen de agua necesario	L	27	Ficha técnica
	Energía eléctrica requerida durante el tiempo de enjuague	kWh	0.0087	Ficha técnica
	Volumen de suavizante requerido	mL	50	Dato primario
Centrifugación	Energía eléctrica requerida durante el tiempo de enjuague	kWh	0.0523	Ficha técnica

A partir del inventario de datos se realizó un balance de materia y energía, sin considerar reacciones químicas. En las Fig. 2,3,4 y 5 se observan estos balances para cada uno de los procesos elementales.

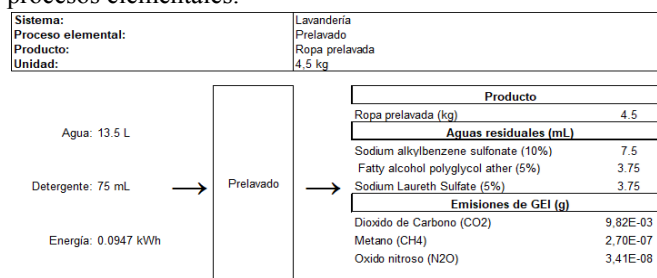


Fig. 2 Balance de materia y energía para el proceso de prelavado

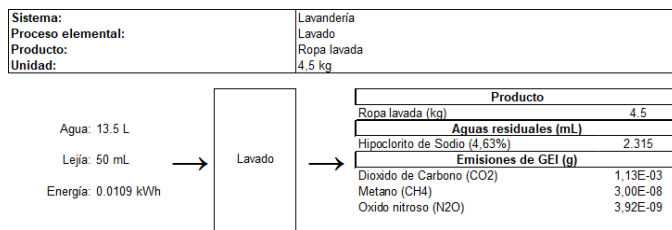


Fig. 3 Balance de materia y energía para el proceso de lavado

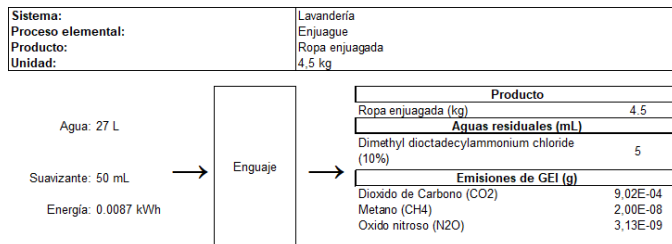


Fig. 4 Balance de materia y energía para el proceso de enjuague

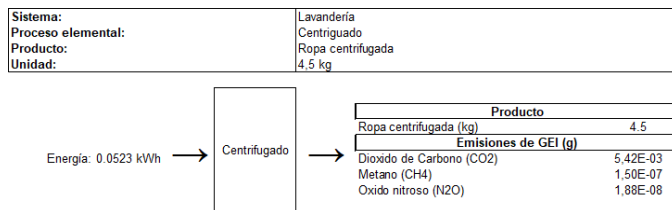


Fig. 5 Balance de materia y energía para el proceso de centrifugado

B. Análisis de impacto

La tabla resumen de aspectos ambientales asociados al ciclo lavado se muestran a continuación.

TABLA VII

RESUMEN Y SUMA DE LA CUANTIFICACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES

Aspecto Ambiental	Prelavado	Lavado	Enjuague	Centrifugado	Total
Agua (L)	1,35E+01	1,35E+00	2,70E+01	-	54,00
CO2 (g)	9,82E-03	1,13E-03	9,02E-04	5,42E-03	1,73E-02
CH4 (g)	2,70E-07	3,00E-08	2,00E-08	1,50E-07	4,70E-07
N2O (g)	3,41E-08	3,92E-09	3,13E-09	1,88E-08	6,00E-08
Sodium alkylbenzene sulfonate (ml)	7,50E+00	-	-	-	7,50
FATTY ALCOHOL POLYGLYCOL ETHER (ml)	3,75E+00	-	-	-	3,75
Sodium Laureth Sulfate (ml)	3,75E+00	-	-	-	3,75
Hipoclorito de Sodio(ml)	-	2,32E+00	-	-	2,32
Dimethyl dioctadecylammonium chloride (ml)	-	-	5,00E+00	-	5,00

En esta se observa la columna de total, en donde se cuantifica la sumatoria de los aspectos ambientales para un ciclo de lavado. Se transformaron las unidades a las necesarias para utilizar los factores de equivalencia. Los F-eq de la Tabla IV solicitan la entrada de ciertas unidades, para lo cual se hizo la transformación necesaria. En el caso de los compuestos químicos fue necesario transformar unidades de volumen a unidades de masa, para lo cual se hizo uso de sus densidades respectivas, mencionadas en las Tablas 1, 2 y 3.

Perfil ambiental: Los resultados de la multiplicación de los F-eq con los aspectos ambientales se muestran en la Tabla VIII

TABLA VIII

PERFIL AMBIENTAL DE 1 CICLO DE LAVADO DE ROPA COMÚN

Categorías de Impacto	Valor	Unidad
Depredación del recursos hídrico	3,31E+00	m ³ eq / 1 ciclo de lavado
Consumo energético	1,67E-01	kWh / 1 ciclo de lavado
Ecotoxicidad en agua dulce	6,06E-02	kg 1,4-DB eq / 1 ciclo de lavado
Ecotoxicidad marina	1,48E-03	kg 1,4-DB eq / 1 ciclo de lavado
Ecotoxicidad terrestre	1,18E-04	kg 1,4-DB eq / 1 ciclo de lavado
Potencial de toxicidad humana	1,73E-05	m ³ / 1 ciclo de lavado
Potencial de Calentamiento global	1,73E-05	kg CO2 eq / 1 ciclo de lavado

C. Interpretación y Discusión

Con respecto al flujo de referencia conformado por 260 ciclos. Se está suponiendo que al año se realizan 260 ciclos equivalente al lavado de 1170 kg de ropa común. Los impactos asociados a estos se presentan a continuación.

TABLA IX

CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS SEGÚN EL FLUJO DE REFERENCIA

Categorías de Impacto	Valor	Unidad
Depredación del recursos hídrico	861.6348	m ³ eq
Consumo energético	43.3160	kWh
Ecotoxicidad en agua dulce	15.7658	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidad marina	0.3851	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidad terrestre	0.0306	kg 1,4-DB eq
Potencial de toxicidad humana	0.0045	m ³
Potencial de Calentamiento global	0.0045	kg CO2 eq

Las etapas del ACV de servicios en este trabajo se ven diferenciadas con las etapas comunes de ACV de productos. Esto al poder organizar el sistema del proceso de la lavandería y permitir cuantificar entradas y salidas [17]. Estableciendo la información sin tener la necesidad de generar un producto, sino analizando entradas y salidas al momento de ofrecer un servicio.

Los componentes químicos descritos en el ACV señalan diferentes categorías de impacto ambiental como son la potencial de toxicidad humana, ecotoxicidad en agua dulce, marina y terrestre. Teniendo un punto de comparación con el trabajo presentado por [24] en categorías de impacto como la ecotoxicidad en agua dulce, eutrofización, y acidificación. Estas dos últimas categorías no se ven presentes en este trabajo por los factores de caracterización y las categorías de impacto que afectan los compuestos químicos en el proceso de la lavandería.

Si bien es cierto que se mencionó el potencial de eutrofización como un impacto relevante ocasionado por el uso de detergentes. Los componentes químicos usados en los tres productos químicos no reaccionan entre ellos por estar divididos cada uno entre tres procesos elementales. Además. Ninguno de sus componentes actúa como un fosfato o nutriente para ser analizado en la categoría de impacto de eutrofización. Esto también se puede explicar por la postura adoptada por las empresas y países en cuanto a la reducción del uso de fosfatos en productos de limpieza. Sea el caso de la empresa Procter & Gamble (P&G) que anunció la eliminación de fosfatos en sus detergentes [33] o la Ley 32 de 2009 de Puerto Rico. Conocida como la “Ley de Control de Fosfatos en Detergentes”

En cuanto a la categoría de impacto de la toxicidad en agua dulce, marina y terrestre. Estas tres comparten una misma unidad en sus factores de caracterización, denominada “kg 1,4-DB eq” que hace referencia a la cantidad de una sustancia tóxica que tiene el mismo potencial de toxicidad que 1 kg de 1,4-diclorobenceno (1,4-DB). Si se comparan los resultados de los tres impactos de toxicidad se denota un valor más grande se encuentra en un ambiente de agua dulce con un valor de 15.7658 kg 1,4-DB eq a lo largo de 260 ciclos de lavado en 1 año. Sea en el caso de [24], con su trabajo titulado “Quantifying the Environmental Impact of a pay-per-use washing machine through Life Cycle Assessment” que cuenta con una unidad funcional de 1 año de lavado de ropa de un hogar y suponiendo 220 ciclos de lavado en dicho año. Permitiendo un punto de comparación con los 260 ciclos de lavado a lo largo de 1 año en la lavandería de este trabajo. Según [24], la toxicidad en agua dulce a lo largo de 1 año de lavado cuenta con un valor de 26.07 kg 1,4-DB eq. Cifra que es mayor a los 15.7658 kg 1,4-DB eq de la lavandería arequipeña. Esto se explica por el requerimiento de productos de limpieza para ropa y los compuestos que abordan cada uno.

Por otro lado, uno de las categorías a destacar es la Depredación de Recursos Hídricos, la cual se obtuvo mediante la metodología presentada por AWARE, de la cual se obtuvo un factor de caracterización de 61.37 m³ eq para la ciudad de Arequipa, en una escala de 1 a 100 m³ eq. Destacando que este valor es alto. Esto se puede deber a la disponibilidad del recurso hídrico en la ciudad [34].

Como tal Arequipa se caracteriza por tener un clima seco y encontrarse en un área árida [35]. Sumado a esto la proximidad del Fenómeno del Niño ha generado que las

temperaturas en la ciudad hayan aumentado, así como una disminución en las precipitaciones. Siendo que para los meses de mayor concurrencia de lluvias, Enero y Febrero, haya visto una disminución considerable a años anteriores. De acuerdo con los datos obtenidos del [36], para el año 2017 las precipitaciones promedio de los meses de enero y febrero, fue de 2.57 mm/día. Mientras que para los mismos meses en este actual año las precipitaciones fueron de 0.75 mm/día. logran apreciar que existe una disminución en las precipitaciones actuales [36].

Comparando las especificaciones técnicas de la lavadora con lo presentado por [22], se nota una diferencia en el requerimiento de agua por ciclo de lavado de 54 L a 35 L respectivamente. Con la aplicación del factor del método AWARE, esta diferencia se amplía mucho más, pues Arequipa tiene un factor de 61.27 a comparación de la zona europea que es de tan solo 5.951. También se distingue una diferencia significativa en el consumo energético de 0.167 kWh a 15.275 kWh por ciclo de lavado. Esto se podría explicar debido a que el servicio de lavandería no realiza la etapa de secado con la lavadora, sino con una secadora a gas natural. Como dicho proceso está fuera de la frontera del estudio, entonces no se puede llegar a mayores conclusiones. Cabe resaltar que sería bueno optar por lavadoras que tengan una menor huella hídrica, sobre todo por el estrés hídrico que presenta la ciudad de Arequipa.

Comparando el consumo energético por ciclo de lavado estimado de 0.167 kWh, con el presentado por [24] que es de 1.3 kWh para el programa estándar de algodón. Esta diferencia puede deberse a que, en el caso de estudio, no se calienta el agua de lavado, a comparación del caso del programa estándar de algodón que se ejecuta a una temperatura de 40°C.

IV. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Recomendaciones:

- Para complementar la investigación se recomienda ampliar la frontera de estudio, para poder tener una cuantificación más detallada de todo el servicio de lavado de ropa.
- Para poder establecer un flujo de referencia más apegado a la realidad, se puede hacer un análisis de la tendencia del servicio de lavado de ropa. De esta manera determinar de manera mensual, cuántos ciclos de lavado se dan regularmente.
- La información presentada puede servir en el cálculo del impacto ambiental total asociado con la lavandería y todos los servicios que presta.
- Se puede complementar el estudio con un análisis económico que establezca nuevos enfoques en el sistema, y que permita una toma de decisiones más acertadas para futuros cambios y mejoras en el servicio.

Conclusiones

- Se identificaron 7 categorías de impacto en el estudio presente; depredación de recursos hídricos, consumo energético, potencial de toxicidad humana, potencial de calentamiento global, ecotoxicidad en agua dulce, marina y terrestre; asociados con los aspectos de entrada y salida.
- El consumo de agua para todo un año (260 ciclos) se estima en 14.04 m³ de agua. Este valor considerando el estrés hídrico regional aumenta a 861.63 m³-eq, lo cuál es bastante alto.
- La cifra más alta de ecotoxicidad producida para todo el año por los productos de limpieza en la lavandería es la generada en agua dulce con un valor de 15.7658 kg 1,4-DB eq
- El consumo energético producido para todo el año es de 43.316 kWh, lo cual es bastante bajo para el total de ropa lavada. Se destaca que esto es así pues la etapa de secado no se realiza con la lavadora.

REFERENCIAS

- [1] J. Struk-Sokolowska et al., "The quality of stored rainwater for washing purposes," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.3390/w12010252.
- [2] J. Li and R. E. Just, "Modeling household energy consumption and adoption of energy efficient technology," *Energy Econ*, vol. 72, pp. 404–415, 2018, doi: 10.1016/j.eneco.2018.04.019.
- [3] Naciones Unidas, "Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible." Accessed: Jan. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [4] R. Rodríguez-Vargas, "ANÁLISIS DE NEGOCIO DE UNA LAVANDERÍA COMERCIAL," 2017.
- [5] S. Nessi, L. Rigamonti, and M. Grosso, "Waste prevention in liquid detergent distribution: A comparison based on life cycle assessment," *Science of the Total Environment*, vol. 499, no. 1, pp. 373–383, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.024.
- [6] D. F. Arawomo, "Electricity billing systems and household electricity use behaviour in Ibadan, Nigeria," *Energy for Sustainable Development*, vol. 40, pp. 77–84, 2017, doi: 10.1016/j.esd.2017.07.004.
- [7] A. H. Arias, M. B. Alfonso, L. Girones, M. C. Piccolo, and J. E. Marcovecchio, "Synthetic microfibers and tyre wear particles pollution in aquatic systems: Relevance and mitigation strategies," *Environmental Pollution*, vol. 295, 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2021.118607.
- [8] J. C. Vincent and A. Sheikh, "Phosphate poisoning by ingestion of clothes washing liquid and fabric conditioner," *Anaesthesia*, vol. 53, no. 10, pp. 1004–1006, 1998, doi: 10.1046/j.1365-2044.1998.00606.x.
- [9] K. Whitehead, J. Eppinger, V. Srinivasan, M. K. Ijaz, R. W. Nims, and J. McKinney, "Potential for Microbial Cross Contamination of Laundry from Public Washing Machines," *Microbiol Res (Pavia)*, vol. 13, no. 4, pp. 995–1006, 2022, doi: 10.3390/microbiolres13040072.
- [10] H.-M. Shin, T. E. McKone, and D. H. Bennett, "Volatilization of low vapor pressure - volatile organic compounds (LVP-VOCs) during three cleaning products-associated activities: Potential contributions to ozone formation," *Chemosphere*, vol. 153, pp. 130–137, 2016, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.02.131.
- [11] D. McCready, "A Comparison of Screening and Refined Exposure Models for Evaluating Toluene Air Emissions from a Washing Machine," *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 19, no. 4, pp. 972–988, 2013, doi: 10.1080/10807039.2012.702596.
- [12] H.-M. Shin, T. E. McKone, and D. H. Bennett, "Volatilization of low vapor pressure - volatile organic compounds (LVP-VOCs) during three cleaning products-associated activities: Potential contributions to ozone formation," *Chemosphere*, vol. 153, pp. 130–137, 2016, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.02.131.
- [13] N. G. Seiffert Neumann, "ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA INDUSTRIA DE DETERGENTE DE LAVADO TEXTIL CON ESTUDIO DE CASO EMPRESA ENVATEC," Santiago de Chile, 2014.
- [14] I. E. Napper and R. C. Thompson, "Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions," *Mar Pollut Bull*, vol. 112, no. 1–2, pp. 39–45, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.09.025.
- [15] A. H. Arias, M. B. Alfonso, L. Girones, M. C. Piccolo, and J. E. Marcovecchio, "Synthetic microfibers and tyre wear particles pollution in aquatic systems: Relevance and mitigation strategies," *Environmental Pollution*, vol. 295, 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2021.118607.
- [16] L. T. Le et al., "Microfibers in laundry wastewater: Problem and solution," *Science of the Total Environment*, vol. 852, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158412.
- [17] P. González-Torre, Y. Barba-Gutiérrez, P. L. González-Torre, and B. González, "A life cycle assessment in the service sector: The case of bus and private transportation," 2005. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/283925496>
- [18] M. G. Lucchetti, L. Paolotti, L. Rocchi, and A. Boggia, "The Role of Environmental Evaluation within Circular Economy: An Application of Life Cycle Assessment (LCA) Method in the Detergents Sector," *Environmental and Climate Technologies*, vol. 23, no. 2, pp. 238–257, Nov. 2019, doi: 10.2478/rtuct-2019-0066.
- [19] S. Dominguez et al., "LCA of greywater management within a water circular economy restorative thinking framework," *Science of the Total Environment*, vol. 621, pp. 1047–1056, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.122.
- [20] D. Lacalamita, C. Mongiovi, and G. Crini, "Chemical substances present in discharge water generated by laundry industry: Analytical monitoring," *Water Science and Engineering*, vol. 16, no. 4, pp. 324–332, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.wse.2023.07.004.
- [21] P. Magno Campos de Abreu, E. Freire, D. Sc Susanne Hoffmann, and D. Sc, "Desafios da Aplicação de Economia Circular no Setor de Detergentes: Recomendações a partir da Análise de Indicadores," 2023.
- [22] D. Mcnamara, "ET4407 Life Cycle Assessment of Washing Machine," 2013.
- [23] D. Moon, E. Amasawa, and M. Hirao, "Consumer motivation and environmental impact of laundry machine-sharing: Analysis of surveys in Tokyo and Bangkok," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 22, pp. 1–20, Nov. 2020, doi: 10.3390/su12229756.
- [24] K. J. Steunenberg, "Washing as a Service Quantifying the Environmental Impact of a pay-per-use washing machine through Life Cycle Assessment," 2020. [Online]. Available: <https://www.shutterstock.com/nl/image-photo/interior-real-laundry-room-washing-machine-1336580150>
- [25] GRA, "Informe sobre las estimaciones de emisiones y/o absorciones de GEI," 2014. Accessed: Sep. 30, 2022. [Online]. Available: <https://www.proyectoapoyocambioclimatico.pe/wp-content/uploads/2020/10/INFORME-DE-LAS-EMISIONES-Y-ABSORCIONES-DE-GEI-ARE-QUIPA-2014.pdf>
- [26] C. Schulze et al., "Comparison of different life-cycle impact assessment methods for aquatic ecotoxicity," *Environ Toxicol Chem*, vol. 20, no. 9, pp. 2122–2132, 2001, doi: 10.1002/etc.5620200936.
- [27] Y. Yuan et al., "The carbon footprint of household clothing washing in Shanghai during winter and spring based on empirical data," *Textile Research Journal*, vol. 93, no. 9–10, pp. 1938–1947, 2023, doi: 10.1177/00405175221137739.
- [28] J. F. Delgado Montesinos and M. A. Mejía Alegre, "Greenhouse gas emissions from domestic electricity consumption and comparison with an alternative solar electricity generation," *LACCEI (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions)*, Aug. 2023. doi: 10.18687/laccei2023.1.1.1516.
- [29] OpenNexus, "IMPACT World+. ELCD 3.2." Accessed: Feb. 19, 2024. [Online]. Available: <https://nexus.openlca.org/>
- [30] A. M. Boulay et al., "The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 23, no. 2, pp. 368–378, Feb. 2018, doi: 10.1007/s11367-017-1333-8.

- [31]G. Anderi Da Silva, “Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).”
- [32]M. Koerner, M. Schulz, S. Powell, and M. Ercolani, “THE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CLOTHES WASHING OPTIONS FOR CITY WEST WATER S RESIDENTIAL CUSTOMERS,” 2015, Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.yumpu.com/en/document/view/41638160/the-life-cycle-assessment-of-clothes-washing-options-alcas-#>
- [33]M. Segura Ramos, “P&G anuncia que elimina los fosfatos de su pastillas de Fariry para lavavajillas,” <https://efeverde.com/procter-gamble-fairy-elimina-los-fosfatos-de-lavavajillas/>.
- [34]WULCA, “What is AWARE?,” <https://wulca-waterlca.org/aware/what-is-aware/>.
- [35]SENAMHI, “Mapa Climático del Perú,” <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=mapa-climatico-del-peru#:~:text=Entre%20los%20climas%20de%20mayor,y%20c%C3%A1lido%20en%20la%20selva.>
- [36]SENAMHI, “Datos / Datos Hidrometeorológicos,” <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones.>