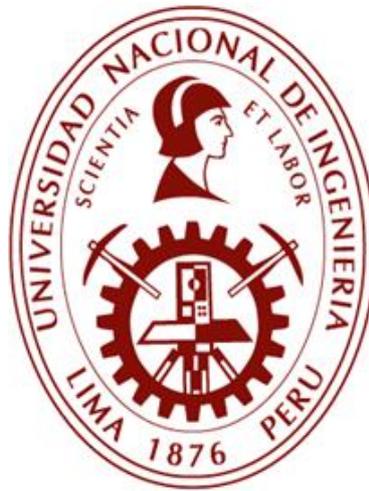


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**IMPACTO DE LA HUELLA HÍDRICA DE PARTICIPANTES EN UNA
INVESTIGACIÓN EN BASE A DOS METODOLOGÍAS DE
CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS: CONVENCIONAL Y
VIRTUAL EN EL MARCO DE LA PANDEMIA COVID-19, EN EL DISTRITO
DE COMAS**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

ELABORADO POR:

ROJAS SANTAMARIA SELENE SOLMAIRA

ASESOR:

MSc. NORVIN PLUMIEER REQUENA SANCHEZ

LIMA - PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y fortaleza en todo momento.

A mis padres, Cesar y Selene, por su apoyo incondicional.

A mis hermanos, Leonardo y Rafael, por ser la inspiración de mi vida.

A mi tía Alejandrina, a mi abuelos José Antonio y Maria Cristina por su fortaleza durante la lucha contra el Covid-19.

AGRADECIMIENTOS

A MSc. Norvin Requena por su acogida, orientación y apoyo en el desarrollo de la presente tesis.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación integral que me brindó.

Al Equipo Técnico de Residuos Sólidos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería por promover la participación de la comunidad universitaria en el desarrollo de proyectos de investigación.

A Climatología, especialmente a Ale y Ximena por sus enseñanzas brindadas sobre huella hídrica.

A mi prima Yoshie, por ser mi compañera y amiga de vida.

A mi familia y amigos, por impulsarme a culminar la presente investigación.

A mis amigos del Código 2014-I de la FIA-UNI por su estima y apoyo de siempre.

RESUMEN

En la presente investigación se determinó el impacto de la huella hídrica de participantes en un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (ECRSD) con evaluación en campo (forma convencional) y en otro realizado en el marco de la Pandemia Covid-19 (virtual) de la Municipalidad Distrital de Comas-Lima, mediante la metodología establecida por la ISO 14046: 2014. *Gestión Medioambiental. Huella hídrica. Principios, requisitos y directrices*, la cual consta de 4 fases que son: objetivos y alcances, análisis de inventario, evaluación de impactos ambientales e interpretación de resultados.

El estudio de caracterización de forma convencional realizado según la metodología establecida en la Guía del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019), se realizó en el mes de julio del 2019, durante 10 días (planificación y ejecución) con 15 personas (entre voluntarios y choferes) que fueron de casa en casa recolectando las bolsas de residuos domiciliarios provenientes de 130 viviendas y para ello consumieron alimentos, agua, bolsas plásticas, combustible, energía eléctrica e hicieron uso de los servicios higiénicos. Cabe mencionar, que tradicionalmente los estudios de caracterización requieren de trabajos de campo.

A causa de la pandemia Covid-19, en virtud del aislamiento social obligatorio, se imposibilitaron realizar los trabajos de campo para los estudios de caracterización de forma convencional; no obstante, surgió una metodología innovadora (la cual es una adaptación de la Guía del MINAM) que permitió conocer cómo la pandemia ha impactado en la composición y generación de los residuos sólidos domiciliarios sin tener que salir de casa, a través de la recolección de datos de forma virtual. De esta forma se realizó un estudio virtual, en el mes de setiembre del 2020, durante 10 días dirigido por un grupo de 15 voluntarios pertenecientes al Equipo Técnico de Residuos Sólidos de la FIA-UNI encargados de la logística virtual y con 80 participantes provenientes de 33 viviendas que no necesitaron salir de casa, pero si consumieron agua, energía eléctrica y bolsas plásticas.

La unidad funcional (UF) considerada en cada estudio fue un (01) kilogramo de residuo caracterizado. Se evaluó la categoría de impacto de uso de agua (cantidad) usando indicadores de i) punto medio (escasez), ii) punto final (salud humana) y iii) punto final (ecosistemas de agua dulce); y la categoría de impacto de eutrofización de agua dulce (calidad) usando indicadores de iv) punto medio (eutrofización) y v) punto final (ecosistemas de agua dulce). La huella hídrica evidenciada a través del estudio convencional (190 L/UF¹), fue 37 veces más que el estudio virtual (5.1 L/UF). Con respecto a la categoría de impacto de uso de agua i) la huella de escasez del estudio convencional (3181 L/UF) fue 32 veces más que el estudio virtual (99 L/UF), ii) el impacto en la salud humana para el estudio convencional (4.32E-7 DALY/UF²) fue 38 veces más que el estudio virtual (1.13E-8 DALY/UF) y iii) el impacto en los ecosistemas de agua dulce para el estudio convencional (1.17E-13 especies.año/UF³) fue 38 veces más que el estudio virtual

¹ L/UF: Litros por unidad funcional

² DALY/UF: Disability Adjusted Life Years (pérdida de años de vida ajustados por discapacidad) por unidad funcional

³ Especies.año/UF: Pérdida relativa local de especies en ecosistemas de agua dulce por año por unidad funcional

(3.07E-15 especies.año/UF). Por otro lado, con respecto a la categoría de impacto de eutrofización de agua dulce iv) la huella de eutrofización del estudio convencional (0.0004 Kg P eq/UF⁴) fue 6 veces más que el estudio virtual (0.00006 Kg P eq/UF) y v) el impacto en los ecosistemas de agua dulce en el estudio convencional (2.69E-10 especies.año/UF) fue también 6 veces más que el estudio virtual (4.02E-11 especies.año/UF).

En conclusión, la huella hídrica evidenciada a través del Estudio de caracterización convencional fue mayor en 97.32 % al estudio de caracterización virtual. Adicionalmente, el consumo de alimentos (99.29%) y el consumo de energía eléctrica (97.03%) de los participantes involucrados en el estudio de caracterización convencional y virtual, respectivamente, evidencian la mayor huella hídrica. En términos de impactos ambientales, el estudio de caracterización convencional evidenció mayor huella de escasez, huella de eutrofización e impactos en la salud humana y ecosistemas de agua dulce.

Palabras claves: huella hídrica, caracterización de residuos sólidos, pandemia

⁴ Kg P eq/UF: Kilogramos de fósforo equivalente para agua dulce por unidad funcional

UF: unidad funcional es un (01) Kg de residuo sólido domiciliario caracterizado

ABSTRACT

In the present investigation, the impact of the water footprint of participants in a Household Solid Waste Characterization Study (ECRSD) with field evaluation (conventional form) and in another carried out in the framework of the Covid-19 Pandemic (virtual) was determined of the District Municipality of Comas-Lima, through the methodology established by ISO 14046: 2014. Environmental Management. Water footprint. Principles, requirements and guidelines, which consists of 4 phases that are: objectives and scope, inventory analysis, evaluation of environmental impacts and interpretation of results.

The conventional characterization study carried out according to the methodology established in the Guide of the Ministry of the Environment (MINAM, 2019), was carried out in July 2019, for 10 days (planning and execution) with 15 people (including volunteers and drivers) who went from house to house collecting bags of household waste from 130 homes and for this they consumed food, water, plastic bags, fuel, electricity and made use of the hygienic services. It is worth mentioning that characterization studies traditionally require field work.

Due to the Covid-19 pandemic, due to mandatory social isolation, it was impossible to carry out the field work for the characterization studies in a conventional way; however, an innovative methodology emerged (which is an adaptation of the MINAM Guide) that learned how the pandemic has impacted the composition and generation of household solid waste without having to leave home, through data collection virtually. In this way, a virtual study was carried out, in the month of September 2020, for 10 days led by a group of 15 volunteers belonging to the FIA-UNI Solid Waste Technical Team in charge of virtual logistics and with 80 participants from 33 homes that did not need to leave the house, but did consume water, electricity and plastic bags.

The functional unit (FU) considered in each study was one (01) kilogram of characterized waste. The category of impact of water use (quantity) was evaluated using indicators of i) midpoint (scarcity), ii) endpoint (human health) and iii) endpoint (freshwater ecosystems); and the freshwater eutrophication impact category (quality) using iv) midpoint (eutrophication) and v) endpoint (freshwater ecosystems) indicators. The water footprint evidenced through the conventional study (190 L/ FU), was 37 times more than the virtual study (5.1 L/ FU). Regarding the water use impact category i) the scarcity footprint of the conventional study (3181 L/ FU) was 32 times more than the virtual study (99 L/ FU), ii) the impact on human health for the conventional study ($4.32E-7$ DALY/ FU) was 38 times more than the virtual study ($1.13E-8$ DALY/ FU) and iii) the impact on freshwater ecosystems for the conventional study ($1.17E-13$ species .year/FU) was 38 times more than the virtual study ($3.07E-15$ species.year/FU). On the other hand, regarding the freshwater eutrophication impact category iv) the eutrophication footprint of the conventional study (0.0004 Kg P eq/ FU) was 6 times more than the virtual study (0.00006 Kg P eq/ FU) and v) the impact on freshwater ecosystems in the conventional study ($2.69E-10$ species.year/FU) was also 6 times higher than the virtual study ($4.02E-11$ species.year/FU).

In conclusion, the water footprint evidenced through the conventional characterization study was 97.32% higher than the virtual characterization study. Additionally, food consumption (99.29%) and electrical energy consumption (97.03%) of the participants involved in the conventional and

virtual characterization study, respectively, show the largest water footprint. In terms of environmental impacts, the conventional characterization study shows a greater scarcity footprint, eutrophication footprint and impacts on human health and freshwater ecosystems.

Keywords: Water footprint, characterization of solid waste, pandemic

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA..... | II |
| AGRADECIMIENTOS | III |
| RESUMEN..... | IV |
| ABSTRACT | VI |
| ÍNDICE | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS | X |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XII |
| ANEXOS..... | XIII |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I: GENERALIDADES..... | 3 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.1.1. Formulación del problema..... | 6 |
| 1.2. Objetivos..... | 6 |
| 1.2.1. Objetivo general | 6 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 6 |
| 1.3. Hipótesis..... | 6 |
| 1.4. Justificación | 7 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1. Marco Conceptual | 9 |
| 2.1.1. Disponibilidad de recursos hídricos en el Perú | 9 |
| 2.1.2. Diferencias entre uso y consumo de agua | 10 |
| 2.1.3. Análisis de ciclo de vida (ACV) | 10 |
| 2.1.4. Historia y Evolución de la cuantificación de la Huella Hídrica en América Latina 10 | |
| 2.1.5. Antecedentes de la Huella Hídrica en el Perú | 13 |
| 2.1.6. Huella hídrica según la ISO 14046:2014..... | 14 |
| 2.1.7. Huella Hídrica Directa e Indirecta de agua..... | 15 |
| 2.1.8. Evaluación de impactos de Huella Hídrica..... | 16 |
| 2.1.9. Gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Comas | 21 |
| 2.2. Antecedentes..... | 22 |
| 2.2.1. A nivel nacional | 22 |
| 2.2.2. A nivel internacional | 23 |
| CAPÍTULO III: MARCO LEGAL | 26 |
| CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS | 29 |
| 4.1. Etapas de un estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional..... | 29 |
| 4.2. Etapas de un estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual..... | 31 |
| CAPÍTULO V: ASPECTO METODOLÓGICO | 35 |

| | |
|---|-----|
| 5.1. Tipo y Diseño de investigación..... | 35 |
| 5.2. Finalidades y alcances | 36 |
| 5.3. Análisis de inventario | 39 |
| 5.4. Evaluación de impactos de huella hídrica..... | 39 |
| 5.5. Interpretación de resultados..... | 40 |
| CAPÍTULO VI: RESULTADOS..... | 41 |
| 6.1. Resultados: Análisis de inventario | 41 |
| 6.1.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional | 41 |
| 6.1.2. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual..... | 47 |
| 6.2. Resultados: Evaluación de impacto de la huella hídrica..... | 54 |
| 6.2.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional | 54 |
| 6.2.2. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual..... | 62 |
| CAPÍTULO VII: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 68 |
| 7.1. Análisis de inventario | 68 |
| 7.1.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional | 68 |
| 7.1.2. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual..... | 69 |
| 7.1.3. Estudios de caracterización convencional y virtual basados en la huella hídrica..... | 71 |
| 7.1.4. Discusión de resultados de análisis de inventario | 72 |
| 7.2. Evaluación de impacto de huella hídrica..... | 73 |
| 7.2.1. Categoría de Impacto de uso de agua..... | 73 |
| 7.2.2. Categoría de Impacto de eutrofización de agua dulce | 81 |
| 7.2.3. Discusión de resultados de evaluación de impactos de huella hídrica..... | 88 |
| CONCLUSIONES..... | 90 |
| RECOMENDACIONES | 93 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 94 |
| ANEXOS..... | 100 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Comparación entre las metodologías aplicadas en el estudio convencional y virtual . | 33 |
| Tabla 2. Insumos representativos considerados en los estudios de caracterización..... | 39 |
| Tabla 3. Resumen de categorías de impacto e indicadores evaluados en los estudios de caracterización convencional y virtual..... | 39 |
| Tabla 4. Residuos sólidos caracterizados en los estudios de caracterización (Kg)..... | 41 |
| Tabla 5. Uso doméstico de agua en el estudio de caracterización convencional | 42 |
| Tabla 6. Balance hídrico del estudio de caracterización convencional | 42 |
| Tabla 7. Insumos y recursos utilizados en el estudio de caracterización convencional..... | 43 |
| Tabla 8. Consumo de bolsas de polietileno en el estudio de caracterización convencional..... | 44 |
| Tabla 9. Consumo de energía eléctrica en el estudio de caracterización convencional..... | 44 |
| Tabla 10. Consumo de Diésel (recolección de residuos) en el estudio de caracterización convencional..... | 44 |
| Tabla 11. Consumo de Diésel (voluntarios y choferes) en el estudio de caracterización convencional..... | 44 |
| Tabla 12. Cuantificación del consumo de insumos y recursos en el estudio de caracterización convencional..... | 45 |
| Tabla 13. Inventario de la Huella Hídrica indirecta del estudio de caracterización convencional | 47 |
| Tabla 14. Cálculo del volumen de agua utilizada para el lavado de residuos en el estudio de caracterización virtual..... | 48 |
| Tabla 15. Estación Lima obtenida mediante el software ClimWat 2.0 for CropWat..... | 49 |
| Tabla 16. Cálculo de consumo de agua evaporada del estudio de caracterización virtual..... | 50 |
| Tabla 17. Balance hídrico del estudio de caracterización virtual..... | 51 |
| Tabla 18. Cadena de suministro y energía eléctrica utilizada en el estudio de caracterización virtual | 51 |
| Tabla 19. Consumo de bolsas de polietileno en el estudio de caracterización virtual | 52 |
| Tabla 20. Consumo de energía eléctrica en el estudio de caracterización virtual | 52 |
| Tabla 21. Cálculo del consumo de insumos y de la energía eléctrica en el estudio de caracterización virtual..... | 53 |
| Tabla 22. Inventario de la Huella Hídrica indirecta del estudio de caracterización virtual | 53 |
| Tabla 23. Indicador AWARE (promedio anual) a nivel de Lima y Perú..... | 54 |
| Tabla 24. Huella de escasez de agua indirecta del estudio de caracterización convencional... | 55 |
| Tabla 25. Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización convencional | 56 |
| Tabla 26. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización convencional | 57 |
| Tabla 27. Huella de eutrofización de agua directa del estudio de caracterización convencional | 58 |
| Tabla 28. Huella de eutrofización de agua indirecta en el estudio de caracterización convencional | 60 |
| Tabla 29. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa en el estudio de caracterización convencional | 61 |
| Tabla 30. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta del estudio de caracterización convencional | 61 |
| Tabla 31. Huella de escasez de agua directa del estudio de caracterización virtual | 62 |
| Tabla 32. Huella de escasez de agua indirecta del estudio de caracterización virtual | 63 |
| Tabla 33. Impacto en la salud humana por el consumo de agua directa en el estudio de caracterización virtual..... | 63 |
| Tabla 34. Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización virtual..... | 64 |
| Tabla 35. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa en el estudio de caracterización virtual..... | 64 |
| Tabla 36. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización virtual | 65 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 37. Huella de eutrofización de agua directa del estudio de caracterización virtual | 65 |
| Tabla 38. Huella de eutrofización de agua indirecta en el estudio de caracterización virtual | 66 |
| Tabla 39. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa del estudio de caracterización virtual..... | 66 |
| Tabla 40. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta del estudio de caracterización virtual..... | 67 |
| Tabla 41. Datos utilizados para determinar los volúmenes de flujos del balance de agua de los estudios de caracterización convencional y virtual | 107 |
| Tabla 42. Factores de conversión para la Huella Hídrica Indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual..... | 108 |
| Tabla 43. Factores de conversión para la Huella de escasez de agua directa de los estudios de caracterización convencional y virtual..... | 108 |
| Tabla 44. Factores de conversión para la Huella de escasez de agua indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual..... | 109 |
| Tabla 45. Factores de conversión para la evaluación de la Huella de eutrofización de agua directa de los estudios de caracterización convencional y virtual | 110 |
| Tabla 46. Factores de conversión para la evaluación de la Huella de eutrofización de agua indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual..... | 111 |
| Tabla 47. Factores de conversión para la evaluación del impacto en la salud humana y en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa de los estudios de caracterización convencional y virtual | 112 |
| Tabla 48. Factores de conversión para la evaluación del impacto en la salud humana y en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual | 112 |
| Tabla 49. Factores de conversión para la evaluación del impacto en los ecosistemas de agua dulce por la huella de eutrofización directa de los estudios de caracterización convencional y virtual | 113 |
| Tabla 50. Factores de conversión para la evaluación del impacto en los ecosistemas de agua dulce por la huella de eutrofización indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual | 114 |
| Tabla 51. Descripción de criterios para el análisis de calidad de datos | 115 |
| Tabla 52. Análisis de calidad de datos | 116 |
| Tabla 53. Análisis de incertidumbre de datos, según el flujo del sistema | 117 |
| Tabla 54. Análisis de incertidumbre de otros datos..... | 118 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Disponibilidad de Recursos Hídricos en el Perú | 9 |
| Figura 2. Análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica..... | 14 |
| Figura 3. Resumen de los métodos de evaluación de impactos ambientales | 16 |
| Figura 4: Descripción general de la estructura de ReCiPe | 18 |
| Figura 5. Componentes conceptuales, dimensionales y operacionales de la nueva metodología virtual | 34 |
| Figura 6. Fases para el cálculo de la huella hídrica | 35 |
| Figura 7. Componentes del Sistema específico de la Huella Hídrica Indirecta | 36 |
| Figura 8. Diagrama de flujos del estudio de caracterización convencional | 41 |
| Figura 9. Diagrama de flujos del estudio de caracterización virtual..... | 48 |
| Figura 10. <i>Precipitación efectiva (mm/día) mensual obtenida mediante el software ClimWat 2.0 for CropWat.....</i> | 50 |
| Figura 11. Consumo de agua indirecta del estudio de caracterización convencional | 68 |
| Figura 12. Consumo de agua directa e indirecta del estudio de caracterización virtual | 69 |
| Figura 13. Flujo de ingreso y salida de agua directa en el estudio de caracterización virtual ... | 70 |
| Figura 14. Consumo de agua indirecta del estudio de caracterización virtual..... | 70 |
| Figura 15. Huella hídrica indirecta entre el Estudio de caracterización convencional y virtual.. | 71 |
| Figura 16. Huella hídrica entre el Estudio de caracterización convencional y virtual | 72 |
| Figura 17. Huella de escasez indirecta del estudio de caracterización convencional | 73 |
| Figura 18. Huella de escasez del estudio de caracterización virtual | 75 |
| Figura 19. Impacto en la salud humana por el consumo del agua del estudio de caracterización virtual | 76 |
| Figura 20. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el uso del agua del estudio de caracterización virtual..... | 77 |
| Figura 21. Huella de escasez indirecta entre el Estudio de caracterización convencional y virtual | 78 |
| Figura 22. Huella de escasez entre el Estudio de caracterización convencional y virtual | 78 |
| Figura 23. Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta | 79 |
| Figura 24. Impacto en la salud humana por el consumo del agua | 79 |
| Figura 25. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta..... | 80 |
| Figura 26. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua | 81 |
| Figura 27. Huella de eutrofización del estudio de caracterización convencional..... | 82 |
| Figura 28. <i>Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización del estudio de caracterización convencional</i> | 83 |
| Figura 29. Huella de eutrofización del estudio de caracterización virtual | 83 |
| Figura 30. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización del estudio de caracterización virtual..... | 84 |
| Figura 31. Huella de eutrofización directa entre el Estudio de caracterización convencional y virtual | 85 |
| Figura 32. Huella de eutrofización indirecta entre el Estudio de caracterización convencional y virtual | 85 |
| Figura 33. Huella de eutrofización entre el Estudio de caracterización convencional y virtual .. | 86 |
| Figura 34. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización directa | 86 |
| Figura 35. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización indirecta..... | 87 |
| Figura 36. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua dulce..... | 87 |

ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1: Regla de corte para la exclusión de insumos mayores al 3% del total utilizados en el estudio de caracterización convencional | 100 |
| Anexo 2: Regla de corte para la exclusión de insumos mayores al 3% del total utilizados en el estudio de caracterización virtual | 103 |
| Anexo 3: Fotografías tomadas durante la medición del volumen de agua de ingreso en el estudio de caracterización virtual..... | 104 |
| Anexo 4: Análisis de Incertidumbre..... | 107 |

INTRODUCCIÓN

La presente investigación determina el impacto de la huella hídrica evidenciada entre un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (ECRSD) con evaluación en campo (forma convencional) y otro realizado en el marco de la Pandemia Covid-19 (forma virtual) de la Municipalidad Distrital de Comas-Lima. Entiéndase a la huella hídrica como la métrica que cuantifica los impactos ambientales potenciales correspondientes con la utilización del agua a lo largo del ciclo de vida del producto, proceso u organización (ISO, 2014). La huella hídrica permite considerar los riesgos y oportunidades para una mejor gestión integral del recurso hídrico. Es preciso mencionar, que según la presente norma, la evaluación integral de la huella hídrica abarca el consumo (directo e indirecto) del agua y los impactos potenciales ambientales relacionados con el uso del agua a lo largo del ciclo de vida del producto, proceso u organización.

Los estudios de caracterización de forma convencional recolectan información cuantitativa sobre la generación y composición de los residuos sólidos, para lo cual se requieren de trabajos de campo e inversión económica, especialmente del personal. En efecto, esta data es importante para la toma de decisiones respecto a la gestión integral de los residuos sólidos (Requena Sanchez, Carbonel Ramos, & Vallester, 2021). El estudio de caracterización de forma convencional realizado en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima, según la metodología establecida en la Guía del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019), se realizó en el mes de julio del 2019, durante 10 días (planificación y ejecución) con 15 personas (entre voluntarios y choferes) que fueron de casa en casa recolectando las bolsas de residuos domiciliarios provenientes de 130 viviendas y para ello consumieron alimentos, agua, bolsas plásticas, combustible, energía eléctrica e hicieron uso de los servicios higiénicos.

A causa de la pandemia Covid-19, en virtud del aislamiento social obligatorio, se imposibilitaron realizar los trabajos de campo para los estudios de caracterización de forma convencional; no obstante, surgió una metodología novedosa (la cual es una adaptación de la Guía del MINAM) que permitió conocer cómo la pandemia ha impactado en la composición y generación de los residuos sólidos domiciliarios sin tener que salir de casa, a través de la recolección de datos de forma virtual (reuniones virtuales (google meet), formularios (google forms) y servicios de alojamiento de archivos en línea (google drive)), es decir, el trabajo realizado en campo fue reemplazado por el trabajo voluntario de los participantes dentro de sus hogares (Requena-Sanchez, Carbonel-Ramos, & Diaz-Campodónico, A novel methodology for household waste characterization during the COVID-19 pandemic: case study results, 2022). Por tanto, se logró captar voluntarios del distrito de Comas-Lima, los cuales fueron capacitados en estudios de caracterización mediante videoconferencias, recibieron asesoría constante de manera virtual con el fin que separen los residuos que generan en sus domicilios y registren en formularios virtuales los datos cuantitativos como el peso de los residuos previamente clasificados, número de mascarillas y bolsas de un solo uso que generaron durante una semana. De esta forma se realizó un estudio virtual, en el mes de setiembre del 2020, durante 10 días dirigido por un grupo de 15 voluntarios pertenecientes al Equipo Técnico de Residuos Sólidos de la FIA-UNI encargados de la logística virtual y con 80 participantes provenientes de 33 viviendas que no necesitaron salir de casa, pero si consumieron agua, energía eléctrica y bolsas plásticas.

Dado que para el desarrollo del estudio de caracterización convencional, los voluntarios y chóferes consumieron alimentos, agua e hicieron uso de los servicios higiénicos debido a la realización de los trabajos de campo, además del consumo de bolsas plásticas (para la recolección de los residuos sólidos de cada vivienda), del consumo de combustible (para el transporte de los residuos sólidos y, de los voluntarios y chóferes) y del consumo de la energía eléctrica (para las capacitaciones presenciales a los voluntarios y chóferes); y que en el estudio de caracterización virtual solo se consumieron agua (para el lavado de los residuos inorgánicos), energía eléctrica (para las capacitaciones virtuales del equipo y participantes) y bolsas plásticas (para la segregación de los residuos sólidos domiciliarios), se determinó el impacto de la huella hídrica respecto a los resultados obtenidos entre ambos estudios.

Adicionalmente, se promueve el desarrollo del estudio de caracterización virtual por demostrar menor huella hídrica con fines de mejorar el consumo del agua, que a su vez posibilitó recolectar la data cuantitativa con respecto a la generación y composición de residuos sólidos domiciliarios en el marco de la Pandemia Covid-19. Cabe mencionar que dicho estudio virtual educa a las personas en segregar sus residuos dentro de casa y conocer de qué manera reaprovecharlos. Para determinar la huella hídrica y los impactos generados se empleó la metodología de la ISO 14046 para cada estudio, la cual consta de 4 fases: i) objetivos y alcance, ii) análisis de inventario, iii) evaluación de impactos ambientales e iv) interpretación de resultados. Se utilizan materiales como hojas de cálculo excel, formularios google y base de datos de análisis de ciclo de vida y huella hídrica. La unidad funcional y el periodo considerado para cada estudio son 1 Kg de residuo caracterizado y 10 días, respectivamente.

La presente investigación está estructurado en siete capítulos. En el Capítulo I se desarrolla la problemática de la investigación, objetivos e hipótesis, y la justificación del trabajo. En el Capítulo II se resume el marco teórico y se indican los antecedentes de la investigación. En el Capítulo III se muestra el marco legal en referencia al presente trabajo. En el Capítulo IV, se describen los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (ECRSD) de forma convencional y virtual. En el Capítulo V, se describe la metodología utilizada para el desarrollo de la presente investigación en el cual se detallan las fases de la evaluación de la huella hídrica. En el Capítulo VI se detallan los resultados obtenidos al aplicar la metodología planteada. En el Capítulo VII se analizan y discuten los resultados obtenidos en la fase de análisis de inventario y de evaluación de impacto de huella hídrica. Finalmente se incluyen las conclusiones y las recomendaciones de la presente investigación.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

La Pandemia Covid-19 ha sido considerada el evento más grande de la historia contemporánea que ha afectado los sistemas de salud, cadenas productivas, comerciales y financieras de la economía mundial (Zevallos Santillan, Cruzado Burga, & Avalos Rivera, 2020). El gobierno del Perú decretó el 15 de marzo del 2020 una cuarentena generalizada restringiendo del derecho del libre tránsito dentro del país, generando el cierre de comercios y empresas, exceptuando los bancos, farmacias y locales de primera necesidad (BBC, 2020). Asimismo, la información respecto al número de muertos e infectados ha sido actualizada continuamente, de igual forma, los monitoreos ambientales referidos al agua y aire. Los cambios en la generación y composición de los residuos sólidos no se han recopilado de manera sistemática y los pocos datos existentes no han sido difundidos ampliamente (Naughton, 2020). Si bien se ha hecho mención de los impactos ambientales que ha causado el aislamiento social obligatorio, se han recopilado pocos datos respecto a la generación y composición de los residuos sólidos domésticos (Requena Sanchez, Carbonel Ramos, & Diaz Campodónico, 2021). Es importante la recolección de este tipo de datos para conocer cómo la pandemia y el aislamiento han impactado en este tipo de residuos (Requena Sanchez, Carbonel Ramos, & Vallester, 2021).

Cabe mencionar, que tradicionalmente para recopilar los datos cuantitativos sobre la gestión de residuos sólidos se obtienen mediante los estudios de caracterización que requieren de trabajos de campo e inversión económica (especialmente del personal) (Requena-Sanchez, Carbonel-Ramos, & Diaz-Campodónico, A novel methodology for household waste characterization during the COVID-19 pandemic: case study results, 2022). El equipo humano que realiza los trabajos de campo consumen energía eléctrica (para las capacitaciones presenciales), bolsas plásticas (para la recolección de los residuos provenientes de cada vivienda), combustible (para el transporte de los residuos y propio), alimentos, agua y uso de los servicios higiénicos (MINAM, 2019). Es por ello, que a raíz de la Pandemia Covid-19 surge una metodología innovadora para la caracterización de los residuos sin tener que salir de casa, que conlleva a la recopilación de la información sobre la gestión de residuos sin realizar trabajos de campo, el cual es una adaptación del método recomendado por el CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) (Cantanhede, Sandoval Alvarado, Monge, & Caycho Chumpitaz, 2005) y que está expuesto en la Guía del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019), cuya data es muy útil para la toma de decisiones respecto a la gestión integral de residuos sólidos.

Esta metodología innovadora se basa en las diversas herramientas virtuales como el Google Meet (para las capacitaciones), Google Forms (para la recopilación de datos) y Google Drive (para el almacenamiento de archivos en línea); es así como, el trabajo de campo es reemplazado por el trabajo voluntario de los participantes en sus hogares (Requena Sanchez, Carbonel Ramos, & Diaz Campodónico, 2021). Asimismo, para aplicar esta metodología en los estudios de caracterización los investigadores asumen condiciones particulares de los hogares que participan, como tener acceso a internet en casa y acceso a WhatsApp en sus dispositivos móviles. Es indispensable la conexión de internet ya que esto puede limitar el alcance de la muestra, especialmente en las comunidades rurales y pobres en un país de desarrollo, por eso solo es posible muestrear niveles socioeconómicos medios y altos, especialmente en países en desarrollo y menos desarrollados, a pesar que no es una muestra completamente representativa de toda la población, la metodología y sus datos correspondientes se pueden personalizar y tendrían valor interpretativo para abordar las necesidades específicas de la comunidad.

Esta es una metodología pragmática para los estudios de gestión de residuos, ya que se realiza predominantemente a escala comunitaria y cada municipio tiene sus propios desafíos. Asimismo, el nivel de trabajo y compromiso (se requieren siete días) puede consumir mucho tiempo en los participantes lo que genera que se retiren, a pesar de ello, los investigadores intentan motivar manteniendo una comunicación constante. Este nivel de compromiso no genera sesgos en los resultados y además estos datos provienen de cada participante que realiza la segregación y el pesaje de los residuos durante los siete días. Adicionalmente, un elemento importante propuesto en esta metodología es el uso de balanzas para realizar el pesaje de los residuos, la variabilidad de los tipos de balanza usada y los diferentes métodos de pesaje puede contribuir al error en la estimación del GPC (Generación per cápita), no obstante puede darse el caso que este error sea de compensación y calibración (Requena-Sanchez, y otros, 2022). Con la nueva metodología innovadora, el estudio se realiza de manera virtual, evitando la exposición al contagio, mediante el cual el equipo humano consume agua (para el lavado de los residuos inorgánicos), energía eléctrica (para las capacitaciones virtuales) y bolsas plásticas (para la segregación de los residuos provenientes de sus hogares) (Requena-Sanchez, y otros, 2022).

Por otra parte, conocemos que el agua es esencial para la vida y un componente primordial para cualquier forma de subsistencia. Nuestro planeta está compuesto por 70% de agua, no obstante, no toda el agua es accesible para el consumo y uso, al menos el 97.5% de este recurso se encuentra en los océanos, el 2.5% es agua dulce, de la cual el 70% no está disponible para consumo humano, debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo (Clarke & King, 2004). El crecimiento demográfico, la urbanización y el desarrollo económico están generando una demanda de agua dulce cada vez mayor. Los cambios del ciclo hidrológico mundial, incluidos los eventos extremos, en suma, el cambio climático, están contribuyendo a la aparición de problemas relacionados con la cantidad y la calidad del agua. Se prevé que para el 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua (Banco Interamericano de Desarrollo; Centro del Agua para América Latina y Caribe; Instituto Tecnológico de Monterrey, 2018).

El Perú se ubica en el puesto 17 a nivel mundial, en relación con la cantidad de agua disponible por persona (FAO, 2002) y en el puesto 14 en acceso al agua en América Latina según el Banco Mundial (Banco Mundial & Grupo de Análisis para el desarrollo, 2012), sin embargo, la distribución de los recursos hídricos en el país es muy desigual. Lima es considerada la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en un desierto. Se encuentra en riesgo el suministro del agua en términos de cantidad y calidad debido a su zona árida y a su nivel de estrés hídrico característico. Cabe mencionar, que el agua que utiliza la ciudad de Lima provenientes de las cuencas del río Chillón, Rímac y Lurín, desde hace varios años no satisfacen las necesidades de la ciudad, por lo que se utiliza adicionalmente el trasvase de aguas de la cuenca del río Mantaro (AQUAFONDO, 2018). Además, existe una alta probabilidad de que en los próximos 10 a 15 años se produzca en Lima una crisis hídrica, lo que significaría una disminución del 30% de la disponibilidad de agua potable (AQUAFONDO, 2020).

Para comprender mejor el proceso de reducción de consumo, polución y stress hídrico del agua es indispensable evaluarlas. De esta manera, nace el indicador de huella hídrica que admite realizar una perspectiva general sobre el uso del agua. Esta herramienta se ha aplicado en la agricultura, procesos industriales, hasta conocer cuánta agua se necesita para elaborar una taza de café, un pantalón, entre otros. La huella hídrica es un indicador que se puede medir en un país, producto, persona, unidad operativa, evento, proceso, cuenca u otros (ISO, 2014). A raíz de la diferencia que existe entre los consumos que requieren cada metodología para desarrollar los estudios de caracterización, se enfatiza la importancia de la huella hídrica debido a que, al comparar dicho indicador entre ambas metodologías, se evidenció que la metodología virtual promueve un uso eficiente del recurso hídrico durante la caracterización de los residuos sólidos creando de esta manera conciencia en las personas encargadas de realizar dichos estudios. La presente investigación se centra en determinar el impacto de la huella hídrica evidenciada a través del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (ECRSD) realizado de forma convencional y virtual de la Municipalidad Distrital de Comas-Lima. Los cálculos y análisis realizados para determinar la huella hídrica permiten conocer los consumos directos e indirectos del agua, así como los impactos ambientales potenciales generados por dicho consumo.

1.1.1. Formulación del problema

Problema principal:

¿Cuál es el impacto de la huella hídrica evidenciada a través de un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (ECRSD) realizado de forma convencional y virtual en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima?

Problemas secundarios:

- a) ¿Cuál es la huella hídrica evidenciada a través del estudio de caracterización realizado de forma convencional en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima?
- b) ¿Cuál es la huella hídrica evidenciada a través del estudio de caracterización realizado de forma virtual en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima?
- c) ¿Cuáles son los insumos o recursos que evidencian mayor huella hídrica en los estudios de caracterización realizados de forma convencional y virtual en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el impacto de la huella hídrica evidenciada entre un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (ECRSD) realizado de forma convencional y virtual en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la huella hídrica evidenciada a través del estudio de caracterización realizado de forma convencional en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima.
- b) Determinar la huella hídrica evidenciada a través del estudio de caracterización realizado de forma virtual en la Municipalidad Distrital de Comas-Lima.
- c) Identificar en qué insumo de la cadena de suministro o recurso (energía eléctrica y/o combustible) de los estudios de caracterización de forma convencional y virtual, se evidencian mayor huella hídrica.

1.3. Hipótesis

El impacto de la huella hídrica evidenciado a través del estudio de caracterización de forma convencional es mayor al 75% con respecto al estudio de caracterización de forma virtual, generando mayores impactos en los ecosistemas de agua dulce y salud humana.

1.4. Justificación

En el marco del desarrollo sostenible, el presente trabajo de investigación contribuye con los objetivos mundiales de desarrollo sostenible N°6 y N°12 los cuales son: “Agua limpia y saneamiento” y “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” respectivamente (ONU, 2015). Promueve el uso eficiente de los recursos hídricos y asegura la sostenibilidad de la extracción y abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua e implementa la gestión integrada de los recursos hídricos. La crisis actual que se enfrenta es una oportunidad para llevar a cabo un cambio profundo y sistémico hacia una economía más sostenible, así como el énfasis en la relación de las personas y la naturaleza.

Con respecto al desarrollo del estudio de caracterización de forma convencional y virtual se registraron datos de balance hídrico e identificaron los principales insumos y recursos que evidencian mayor consumo de agua. Se evaluaron los impactos ambientales referidos a la disponibilidad (cantidad) y degradación (calidad) del agua, con fines de mejorar el uso y consumo del agua durante la ejecución de dicho estudio. En efecto, el estudio de caracterización de forma convencional requiere de trabajos de campo por parte de los voluntarios y de los chóferes de las unidades vehiculares que recolectan los residuos, por tanto, consumen alimentos (al estar en trabajo de campo durante los siete días), agua (para beber) y hacen uso de los servicios higiénicos.

Adicionalmente, los participantes en el estudio convencional consumen bolsas plásticas (para la recolección de los residuos domésticos provenientes de cada vivienda), combustible (para el transporte de los residuos, y de voluntarios y chóferes desde sus hogares hacia la municipalidad) y energía eléctrica (para las capacitaciones presenciales). Por otro lado, para el estudio de caracterización de forma virtual, los participantes consumen agua (para lavar los residuos inorgánicos que posteriormente se introducen a los ecoladrillos), energía eléctrica (para las capacitaciones virtuales del equipo logístico y participantes) y bolsas plásticas (para la segregación diferenciada de los residuos domésticos de cada vivienda).

Por consiguiente, existe una diferencia de consumos en cada estudio de caracterización de residuos domiciliarios (convencional y virtual), debido a la imposibilidad de realizar trabajos de campo, a causa de la Pandemia Covid-19. Es por ello que la huella hídrica aplicando la metodología virtual es menor, por consiguiente, se fomenta la ejecución de dicho estudio aplicando la metodología innovadora, convirtiéndose en una herramienta que contribuye al desarrollo sostenible y al uso eficiente del agua. Determinar el impacto de la huella hídrica evidenciada a través de los estudios de caracterización de forma convencional y virtual es un aporte a la investigación local que genera un antecedente efectivo sobre la importancia de considerar desarrollar dicho estudio en tiempos de Pandemia Covid-19.

Asimismo, el estudio de caracterización virtual colabora en educar a los voluntarios, que son parte de este estudio, sobre la segregación adecuada de los residuos y el reaprovechamiento de los mismos mediante el compostaje, ecoladrillos u otros, desde sus hogares, sin tener que salir de casa. Además, los voluntarios capacitan a la vez a los miembros de su familia para que puedan ser partícipe de este estudio segregando y reaprovechando sus residuos. Cabe mencionar que en el marco del Decreto Legislativo N° 1501 que modifica el D.L. N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la segregación de residuos de gestión municipal y no municipal es obligatoria, es por ello que se promueve el hábito de segregación en las personas para facilitar su aprovechamiento y la reducción de la generación de los residuos al mínimo necesario para su posterior entrega al servicio de limpieza.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Disponibilidad de recursos hídricos en el Perú

El Perú se localiza entre los diez países con mayores reservas de agua a nivel mundial (MINAGRI, ANA, WWF, 2015). No obstante, es un país con diferencias hidrológicas extremas. Se observa en la Figura 1 que la vertiente del Atlántico la cual representa más del 70% del territorio peruano posee alrededor del 98% del agua utilizable en el Perú, no obstante, presenta una baja densidad poblacional y un escaso desarrollo industrial. Por otro lado, la vertiente del Pacífico tiene 62 cuencas y solo poseen el 2% de los recursos hídricos del país, pero con el 63% de los pobladores del país, las zonas más habitadas y la mayor conglomeración de actividades económicas que aportan al país. La tercera vertiente es la del Lago Titica (sur del país), que abarca alrededor del 0.3% del agua disponible en el Perú y el 4% de los habitantes del país. Por lo tanto, pese a la gran cantidad de agua aparente, el Perú se ubica dentro de los cinco países con mayor vulnerabilidad referente al cambio climático (MINAGRI, ANA, WWF, 2015).

Figura 1. Disponibilidad de Recursos Hídricos en el Perú



Nota. Adaptado de *Distribución del agua y población en las vertientes del Perú*, de WWF Perú & Autoridad Nacional del Agua, 2013, Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario.

2.1.2. Diferencias entre uso y consumo de agua

El uso de agua se debe entender como el agua total que corre desde que se abre el caño o grifo hasta que se cierra, es decir, implica su empleo en alguna actividad humana y la devolución a la misma, posiblemente en otras condiciones (AQUAFONDO, 2018). Por otro lado, el consumo de agua se refiere a la diferencia del agua que ingresa y que se descarga en una unidad o proceso, es decir, el volumen de agua dulce que se extrae de una cuenca y no es devuelta a la misma, debido a que el agua es evaporada (retorna por el mismo ciclo hidrológico pero no necesariamente se devuelve ese mismo volumen a la cuenca), almacenada (determinada por un periodo, si el agua no es devuelta a la cuenca de origen dentro del periodo de estudio, es considerado consumo), incorporada en un producto (para producir por ejm. cerveza, gaseosa, agua, el volumen de agua no retorna), descargada al mar (no se devuelve a la misma cuenca, por tanto, no está disponible para otros usos) o vertida a otra cuenca (Hoekstra A. Y., Chapagain, Aldaya , & Mekonnen, 2011). El agua no desaparece sino que se mantiene dentro del ciclo hidrológico y siempre vuelve a algún lugar. La huella hídrica se centra en el consumo de agua, el cual se da inmediatamente después de su uso.

2.1.3. Análisis de ciclo de vida (ACV)

El ACV se considera como el ciclo de vida total de un producto o actividad; desde la adquisición de materia prima hasta la producción, el uso, el tratamiento al final de la vida útil, el reciclaje y la disposición final, es decir, de la cuna a la tumba. La evaluación del ciclo de vida es una herramienta metodológica que se emplea para analizar cuantitativamente el ciclo de vida de los productos/actividades en el contexto del impacto ambiental. Para ello se aplican herramientas de cálculo específicos. El ACV aborda los aspectos ambientales y los impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto, y es una de varias técnicas de gestión ambiental, no aborda los aspectos económicos o sociales de un producto (ISO, 2006).

El resultado de un estudio de análisis de ciclo de vida es un perfil ambiental de un producto o actividad: una lista de puntuación con efectos ambientales, la cual da a conocer los mayores problemas ambientales causados por un producto y en qué etapa (s) del ciclo de vida se producen estos problemas (RIVM. Committed to health and sustainability, 2018).

2.1.4. Historia y Evolución de la cuantificación de la Huella Hídrica en América Latina

La cuantificación de la huella hídrica según la norma internacional ISO 14046:2014 “Gestión Ambiental- Huella hídrica -Principios, requisitos y directrices”, se basa en las normas internacionales ISO 14040: 2006 e ISO 14044:2006 sobre Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Algunas metodologías que anteceden con la ISO 14046 son las siguientes:

a) Huella ecológica (1992)

Es un indicador de sustentabilidad diseñado por William Rees y Malthis Wackernagel a mediados de la década de los noventa del siglo pasado, para conocer el grado de impacto que ejerce una comunidad humana, persona, organización, país, región o ciudad sobre el ambiente. Es una herramienta para determinar cuánto de espacio terrestre y marino se necesita para producir todos los recursos y bienes que se consumen, así como la superficie para absorber todos los desechos que se generan, usando la tecnología actual (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012). Se expresa en hectáreas globales, que representa la superficie necesaria del planeta para asimilar el impacto de actividades de un modo de vida determinado (López, 2008). Cabe mencionar, que a cada uno de nosotros como habitantes de la tierra nos corresponde 1.8 hectáreas para satisfacer los consumos y absorber todos los desechos, sin embargo, nuestra huella ecológica es de 2.7 hectáreas (World Wide Fund for Nature- WWF, 2012).

b) Agua virtual (1993)

Hoekstra (2003) define al agua virtual como el agua contenida en un producto, es decir, el agua usada para elaborar un producto determinado. El concepto original lo define como el agua utilizada en el proceso de producción de un bien cualquiera (agrícola, alimenticio, industrial) el cual fue creado por el docente John Anthony Allan (1993) de la Universidad de Londres y de la Escuela de Estudios Africanos y Orientales, al investigar países con déficits de agua. Allan concluye que las regiones podrían sobrellevar sus problemas de agua mediante la importación de alimentos, reduciendo la dependencia a sus propios recursos hídricos, necesarios para producir esos alimentos. De tal forma, que al importar productos de una región con abundancia a una con escasez, se puede decir que existe un trasvase virtual de agua. Asimismo, Allan plantea que si un país exporta un producto que requiere de mucha agua virtual para su producción es equivalente a que estuviera exportando agua, debido a que de este modo el país importador no necesita utilizar agua nacional para obtener un determinado producto y podría utilizarla para otros fines. La importación de agua virtual está facilitando que los países con alto índice de stress hídrico obtengan seguridad alimentaria e hidrológica (Parada Puig, 2012).

c) Huella Hídrica- Water Footprint Network (2002)

En el 2002, Arjen Hoekstra, mientras trabajaba en el instituto UNESCO-IHE de Educación sobre el Agua, creó el concepto de huella hídrica como una métrica para medir la cantidad de agua consumida y contaminada para producir bienes y servicios a lo largo de toda la cadena de suministro. El interés por la huella hídrica creció rápidamente después de su introducción en la literatura académica (Water Footprint Network, 2020).

Hoekstra define a la huella hídrica como un indicador del uso de agua dulce que no solo hace mención al uso de agua directo, sino además a su uso indirecto. Asimismo, define los componentes de la huella hídrica en azul, verde y gris. La huella hídrica azul se refiere al volumen de agua que se obtiene de los recursos hídricos superficiales o subterráneos, el cual se evapora, se incorpora a un producto o se extrae de un cuerpo de agua y se devuelve a otro; la huella hídrica verde se define como el volumen de agua de lluvia consumida durante un proceso de producción, es decir, al agua de precipitación que se almacena en la zona de la raíz del suelo y se evapora, transpira o se incorpora en las plantas; y la huella hídrica gris como el volumen de agua que se requiere para diluir contaminantes hasta que la calidad del agua cumpla con los estándares aceptables (Hoekstra A. Y., Chapagain, Aldaya , & Mekonnen, 2011).

d) Huella hídrica con Análisis de Ciclo de Vida (2010)

El ACV es una herramienta diseñada para evaluar los impactos ambientales potenciales generados sobre el medio ambiente, los ecosistemas y los recursos por las actividades humanas. El ACV se encuentra reconocida por la Organización Internacional de Estandarización (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006) que desea apoyar a descubrir oportunidades para desarrollar el desempeño ambiental en el ciclo de vida del producto o servicio, al mismo tiempo que brinda publicaciones científicas para la elección de decisiones u otros (Fundación Chile y ONG Agualimpia, 2017).

En el marco del ACV, la huella hídrica se menciona como un subconjunto específico de indicadores que hacen referencia al consumo y la contaminación del agua, y los relacionan a los impactos ambientales potenciales. Asimismo, el ACV puede realizarse para un producto delimitando el alcance “desde la cuna a la puerta” o “desde la cuna a la tumba”. En el primer caso se considera desde que ingresa al proceso como materia prima hasta la salida del producto en la puerta de la fábrica, y el segundo caso incluye adicionalmente las etapas de distribución, uso/ consumo de productos y la disposición final de residuos. Este es el enfoque que se considera cuando se realiza una evaluación de huella hídrica a una fábrica o planta productiva y no a un producto específico, todo ello dependiendo del objetivo del estudio (Fundación Chile y ONG Agualimpia, 2017).

e) Norma ISO 14046: 2014. Gestión Ambiental. Huella hídrica. Principios, requisitos y directrices.

Los principios, requisitos y directrices para hacer una evaluación de huella hídrica se muestran en la norma ISO 14046. Fue aprobada en julio del 2014, tiene un enfoque metodológico basado en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un producto (o servicio), proceso u organización, el cual considera los usos directos e indirectos de agua en la cadena de valor correspondiente y los correlaciona a potenciales impactos. El análisis de huella hídrica clasifica las materias primas, energías y emisiones relacionadas con los recursos hídricos para el sistema definido. De acuerdo con la norma, debe incluir tanto aspectos cualitativos como cuantitativos y asimismo la base de datos utilizada debe ser transparente. Cabe mencionar, que a partir del análisis de la huella hídrica se pueden identificar y cuantificar los puntos claves en el uso de agua conocidos como “hotspots”, lo que permite priorizar medidas de reducción de consumo y contaminación de agua directa o indirecta (Fundación Chile y ONG Agualimpia, 2017).

2.1.5. Antecedentes de la Huella Hídrica en el Perú

El concepto de huella hídrica en el Perú adquirió mayor trascendencia a partir del año 2012 dado la importancia que le atribuyeron los actores de la cooperación internacional. La Cooperación Suiza en el Perú (COSUDE) viene interviniendo 55 años en el Perú, dentro de los cuales Suiza ha logrado contribuir el desarrollo del país con sus diferentes programas y proyectos, teniendo como principal iniciativa del agua el proyecto SuizAgua Andina, que se inició en octubre del 2012. SuizAgua Andina es la expansión del exitoso proyecto SuizAgua Colombia hacia Perú y Chile entorno al innovador concepto de huella hídrica. Tiene como objetivo evaluar la huella hídrica en las empresas de los países donde se implementa (Perú y Chile), dándole mayor énfasis a la huella hídrica de agua directa.

En el marco del Proyecto SuizAgua Andina durante el año 2012 se realizó el II Seminario Internacional de la Huella Hídrica en Medellín (Colombia), en el cual participó el equipo de SuizAgua Andina Perú, un evento de intercambio de conocimiento de avance científico global del concepto de Huella Hídrica con visión de contribuir a la mejor gestión de los recursos hídricos de los países. Asimismo, en el mismo año la Autoridad Nacional del Agua (ANA) publicó dos estudios: la huella hídrica del espárrago y del arroz.

En el año 2013, en marco del Día Mundial del Ambiente, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) mediante la Autoridad Administrativa de Agua (AAA) realizó la campaña “La Huella Hídrica” en la plaza de armas de la ciudad de Arequipa. Participaron autoridades locales, regionales y público en general. La campaña se realizó gracias a la alianza con la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa, la cual también fue difundida en provincias ubicadas en el ámbito de las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna.

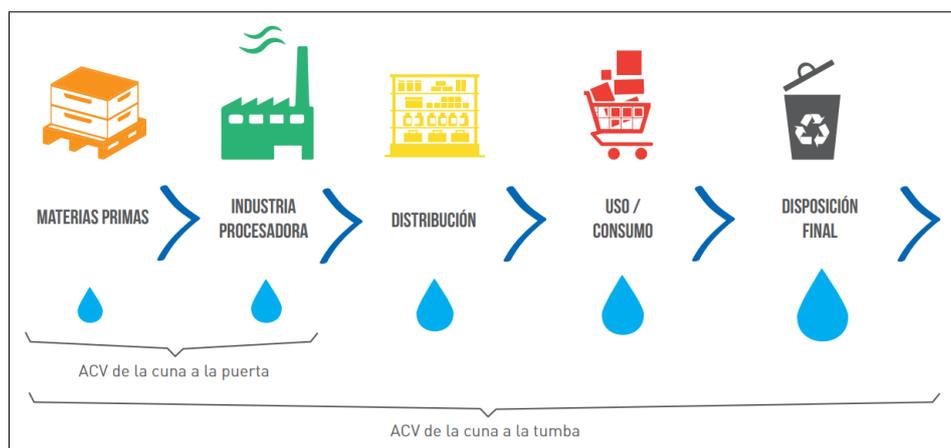
Asimismo, en el mismo año, el tema central en Mistura Lima (Feria gastronómica Internacional) realizada por APEGA (Sociedad Peruana de Gastronomía) fue la huella hídrica. “El agua y los recursos hidrobiológicos” fueron los protagonistas del Mistura de ese año. Además, en el año

2013, se realizó el Taller de Fortalecimiento de Profesional en Gestión Integrada de Recursos Hídricos, organizado por el Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA) de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), junto a la colaboración de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Global Water Partnership; tuvo como objeto recolectar ideas que ayuden la gestión de los recursos hídricos. El Perú, luego de Colombia, se convirtió en el segundo país de Latinoamérica en medir su huella hídrica gracias a la convocatoria de la Embajada de Suiza en el Perú y de la Cooperación Suiza (COSUDE), en el marco del proyecto SuizAgua (Rendón, 2015).

2.1.6. Huella hídrica según la ISO 14046:2014

La huella hídrica es la métrica o métricas que cuantifica los potenciales impactos ambientales relacionados con el recurso hídrico. La evaluación de huella hídrica se basa en el análisis del ciclo de vida (según la norma ISO 14044), es modular, identifica los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, incluye dimensiones geográficas y temporales pertinentes, identifica la cantidad de consumo de agua y los cambios en la calidad del agua y utiliza conocimientos de hidrología (ISO, 2014). En la Figura 2 se muestra el análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica.

Figura 2. Análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica



Nota. Adaptado de *Esquema del enfoque del análisis de ciclo de vida en el cálculo de la huella hídrica*, de Fundación Chile y la ONG Agualimpia, 2017, Manual de aplicación de evaluación de Huella Hídrica acorde a la norma ISO 14046.

2.1.6.1. Categoría de impacto e indicador de categoría de impacto

La categoría de impacto representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida. El indicador de categoría de impacto representa cuantificablemente una categoría de impacto, el cual surge como resultado de un método de caracterización que sirve para la comparación de intervenciones ambientales en el nivel de la cadena causa-efecto que se encuentra entre las extracciones (entradas) y emisiones (salidas) y un nivel de daño en relación a los ecosistemas, a la salud humana o a los recursos (ISO, 2006).

2.1.6.2. Impacto de punto medio e impacto de punto final

El impacto de punto medio evalúa los riesgos asociados a las extracciones (entradas) y emisiones (salidas), es decir, son impactos localizados (escasez, toxicidad, eutrofización, ecotoxicidad, acidificación, etc.). El impacto de punto final se refiere al agrupamiento de los impactos de punto medio y su efecto al ambiente, a la salud humana y a la calidad del ecosistema, ambos generados por una reducción en la disponibilidad y/o calidad del agua en un entorno definido (ISO, 2006).

2.1.6.3. Unidad funcional

Es el desempeño cuantificado de un sistema productivo para ser usado como unidad de referencia (ISO, 2014).

2.1.6.4. Factor de caracterización

Se refiere al factor que surge de un modelo de caracterización que se aplica para convertir el resultado del análisis de inventario del ciclo de vida asignado a la unidad común del indicador de categoría (ISO, 2014).

2.1.6.5. Huella hídrica según su disponibilidad

La huella hídrica según su disponibilidad tiene como propósito evaluar la contribución de productos, procesos y organizaciones a los impactos ambientales potenciales relacionados con ejercer presión en la disponibilidad del agua. Abarca una o varias categorías de impacto. Si la huella hídrica según su disponibilidad solo considera la cantidad del agua se debería llamar huella hídrica por escasez (ISO, 2014).

2.1.6.6. Huella hídrica que consideran la degradación del agua

La huella hídrica que considera la degradación del agua tiene como propósito evaluar la contribución de productos, procesos y organizaciones a los impactos ambientales potenciales relacionados con la calidad del agua. Las categorías de impactos consideradas en la degradación del agua son la eutrofización acuática, la acidificación acuática, la ecotoxicidad acuática y la contaminación térmica. Si se considera solo una categoría de impacto, por ejm. la acidificación, debería llamarse huella hídrica por acidificación (ISO, 2014).

2.1.7. Huella Hídrica Directa e Indirecta de agua

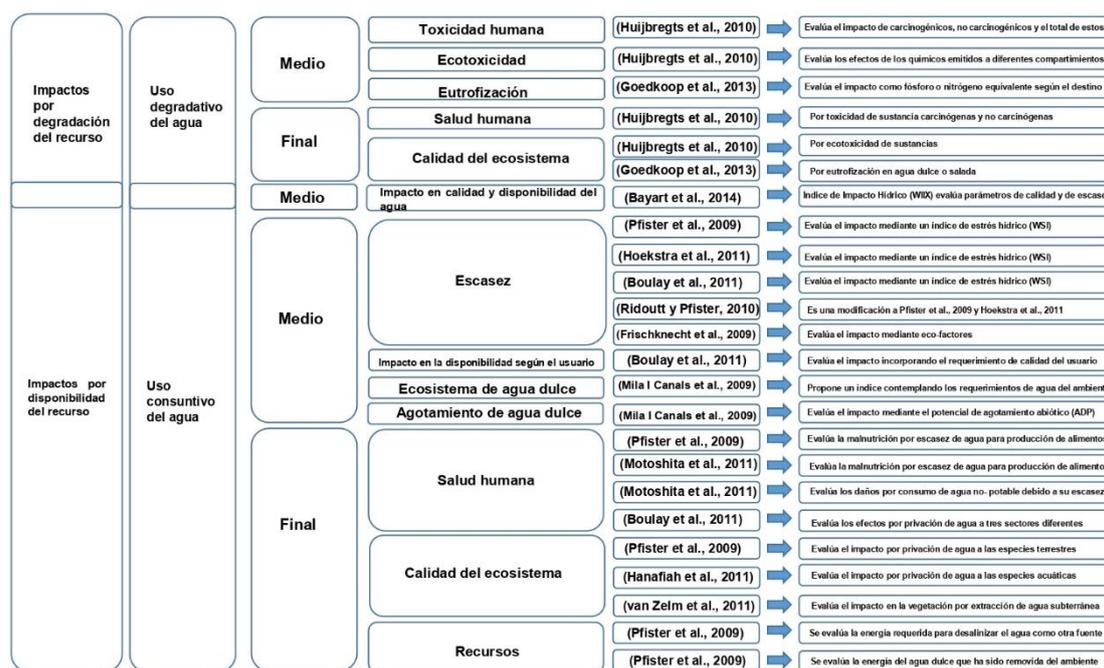
La huella hídrica directa se refiere al consumo de agua que puedo ver y contabilizar directamente. Es el consumo de agua que se relaciona al agua que extraigo de la fuente, ya sea agua de un río, de una cuenca, tubería, pozo, manantial u otros.

La huella hídrica indirecta se refiere al consumo de agua que no puedo ver pero que está contenido dentro de un producto asociado con la producción de los bienes y servicios (es decir, contenido en la materia prima como pintura, papel, útiles de oficina, carpetas, entre otros), asociado a la electricidad (cada Kwh de energía consumida representa un consumo de agua debido a que para producir la energía se utilizan distintas fuentes provenientes de hidroeléctricas de embalses, térmicas, eólicas, etc., de las cuales cada una tiene su propia huella hídrica, por tanto, se emplea una mezcla de ellas en los procesos), combustible (como el diésel, la gasolina, el petróleo, etc., cada uno de ellos hacen referencia a un consumo de agua, los cuales son empleados para el transporte del personal, de la materia prima, el uso de maquinarias, etc.) u otros (Hoekstra A. Y., Chapagain, Aldaya , & Mekonnen, 2011).

2.1.8. Evaluación de impactos de Huella Hídrica

Existen una variedad de metodologías para el cálculo de Factores de Caracterización que pueden tener alcance de punto medio o final. Las metodologías más utilizadas para la evaluación de impactos ambientales en estudios de Análisis de Ciclo de Vida se muestran en la Figura 3 (Vallejo-Chaverri, 2015).

Figura 3. Resumen de los métodos de evaluación de impactos ambientales



Nota. Adaptado de *Diagrama-resumen de los métodos de evaluación de impactos estudiados*, de Vallejo-Chaverri, 2015, Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas empacadoras de banano en Costa Rica.

Las metodologías utilizadas para la determinación de los indicadores de impacto empleados en el presente estudio se muestran a continuación:

❖ **AWARE (Available Water Remaining). Indicador de punto medio de escasez de agua.**

En los últimos años, las empresas han comenzado a incluir indicadores de escasez de agua para evaluar los impactos potenciales del consumo de agua. En el marco de la norma ISO, esto es equivalente a una “huella de escasez de agua” que aborda los impactos potenciales asociados con el aspecto de cantidad del uso de agua sin considerar el componente de calidad adicional de la disponibilidad.

El grupo de trabajo de WULCA, activo desde el año 2007 en el uso del agua en análisis de ciclo de vida, tiene el propósito de brindar a los profesionales un marco coherente y consensado para evaluar, comparar y divulgar el desempeño ambiental de productos y operaciones con respecto al uso de agua dulce. El grupo de estudio creó un método armonizado para evaluar los impactos relacionados con el uso del agua dulce en el análisis de ciclo de vida de acuerdo con un nuevo marco de huella hídrica formalizado en la norma ISO 14046.

De esta manera proporcionó una metodología basada en el consenso para el cálculo de una huella de escasez de agua, obteniendo como resultado el indicador AWARE (Available Water Remaining), el cual significa “agua disponible restante”. AWARE es un indicador de punto medio del uso del agua que cuantifica el agua disponible relativa restante por área en una cuenca, posteriormente de que se haya satisfecho la demanda de agua por parte de los seres humanos y los sistemas acuáticos. Este indicador responde a la pregunta ¿Cuál es el potencial de privar a otro usuario (ecosistema o humano) al consumir agua en esta área?, es decir, evalúa el potencial de la privación de agua tanto para los seres humanos como para los ecosistemas acuáticos.

El indicador está limitado a un rango de 0.1 a 100, con el valor de 1 que representa al promedio mundial, y un valor de 20 por ejemplo, que representa una región donde queda 20 veces menos agua disponible por área que el promedio mundial. El indicador se calcula a nivel de subcuenca y en el intervalo de tiempo mensual. Las unidades de este indicador son de m^3 de agua mundial-equivalente/ m^3 de un determinado consumo de agua, el cual representa el “metro cúbico medio consumido en el mundo” (Boulay, et al., 2017).

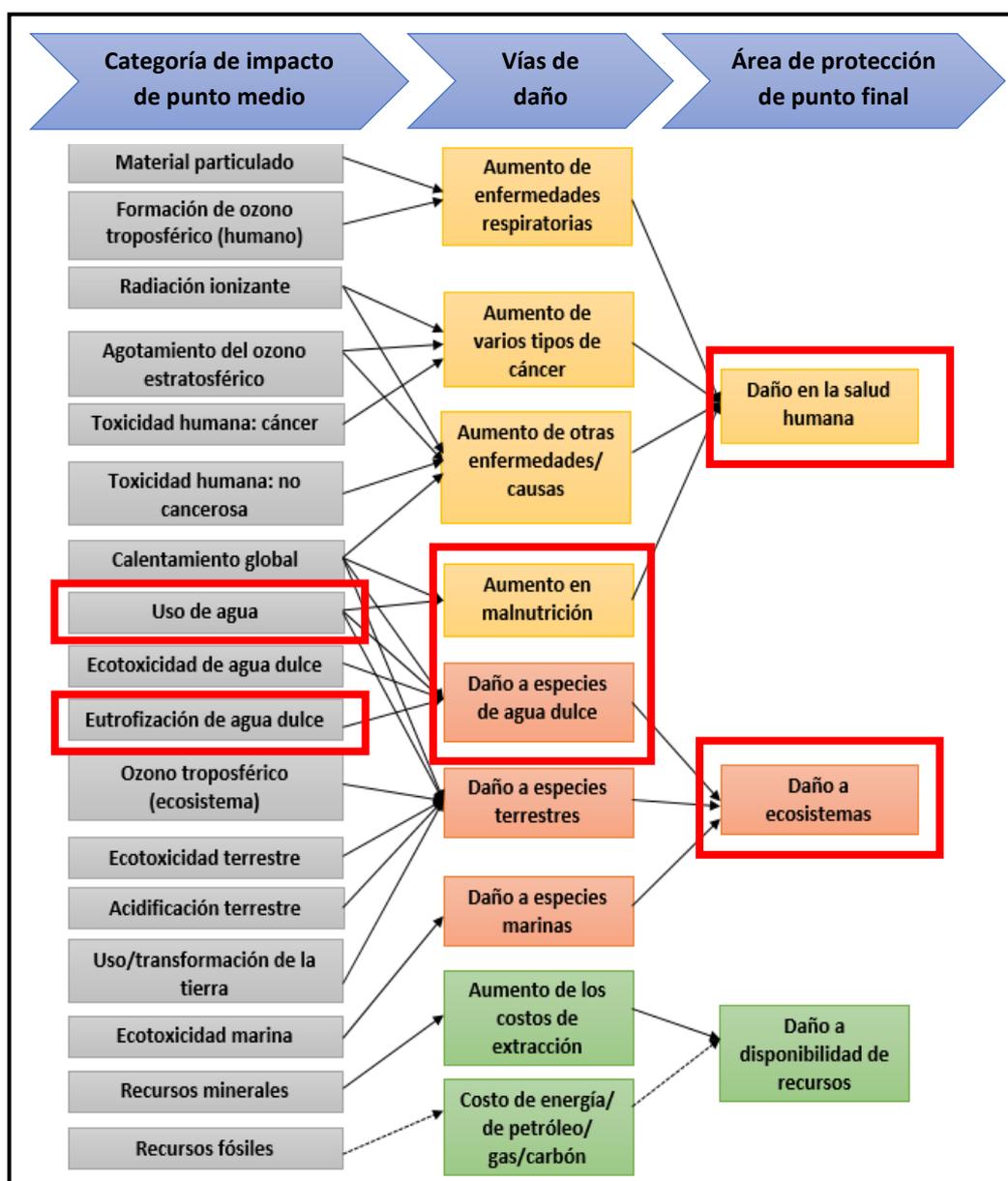
❖ **ReCiPe (RIVM and Radboud University, CML, and PRé Consultants). Indicadores de punto medio y final.**

ReCiPe es un método para la evaluación de impacto en un análisis de ciclo de vida. Esta evaluación traduce las emisiones y la extracción de recursos en un número limitado de puntuaciones de impactos ambiental mediante los denominados factores de caracterización. Hay dos formas principales de derivar estos factores, los cuales son a nivel de punto medio y a nivel de punto final.

Los indicadores de punto medio se centralizan en problemas ambientales individuales como por ejemplo el cambio climático, el uso del agua, la eutrofización, etc. Los indicadores de punto final se refieren a los impactos ambientales en tres niveles de agregación más altos, los cuales son: el efecto sobre la salud humana, la biodiversidad y la escasez de recursos.

En la Figura 4 se muestra un resumen de las categorías de impacto abarcadas en el método ReCiPe2016 y su relación con las áreas de protección. La línea punteada significa que no hay un factor constante de punto medio a punto final para los recursos fósiles (National Institute for Public Health and the Environment. Netherlands., 2018).

Figura 4: Descripción general de la estructura de ReCiPe



Nota. Adaptado de "ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level" (p.140), por Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F. *et al.*, 2016, Int J Life Cycle Assess 22.

Asimismo, los cuadros de color rojo muestran las categorías de impacto de punto medio (uso de agua y eutrofización de agua dulce), las vías de daño (aumento en malnutrición y daño a especies de agua dulce) y las áreas de protección de punto final (daño en la salud humana y daño a ecosistema) considerados en el presente estudio.

- ***Categoría de Uso de agua (Impacto de punto medio)***

El factor de caracterización a nivel medio es m^3 de agua consumida por m^3 de agua extraída. Para la agricultura, la parte de consumo de la extracción se estimó con las proporciones de las necesidades de agua basadas en Döll y Siebert (2002). Para la industria y el uso doméstico del agua, se hicieron supuestos basados en Hoekstra y Mekonnen (2012).

- ***Impacto en la salud humana y en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua (Impacto de punto final)***

Los impactos del consumo de agua en la salud humana se refieren a los años de vida ajustados por discapacidad debido a la desnutrición, como consecuencia de la escasez de agua en los países de bajo desarrollo. El impacto se debe a la falta de agua para riego del sector agrícola debido al consumo de agua para otros fines (Pfister, Koehler, & Hellweg, 2009).

Cabe mencionar que la unidad de daños a la salud humana, representa los años que se pierden o que una persona queda discapacitada debido a una enfermedad o accidente. Caracteriza la severidad de la enfermedad y tiene en cuenta la mortalidad y morbilidad.

Por otro lado, los impactos del consumo de agua en los ecosistemas de agua dulce se tomaron de Hanafiah, Xenopoulos, Pfister, Leuven, & Huijbregts (2011) quienes los cuantificaron como el cambio en las especies de peces perdidas asociado a una disminución en la descarga.

Asimismo, la unidad para la calidad del ecosistema es la pérdida relativa local de especies en ecosistemas de agua dulce integrados en el espacio y el tiempo (fracción potencialmente desaparecida de especies $\times m^2 \times \text{año}$ o fracción potencialmente desaparecida de especies $\times m^3 \times \text{año}$). Para agregar el impacto de los ecosistemas de agua dulce en una sola unidad (especies por año), se incluye la densidad de especies para este tipo de ecosistema de la misma manera que propusieron (Goedkoop, et al., ReCiPe 2008: A life cycle assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First Edition (version 1.08). Report I: Characterisation., 2013).

- ***Categoría de Eutrofización de agua dulce (Impacto de punto medio)***

La eutrofización acuática se define como el enriquecimiento de nutrientes del medio acuático. La caracterización de la eutrofización acuática en la evaluación de impacto del ciclo de vida generalmente solo considera aquellos nutrientes que limitan el rendimiento de biomasa acuática, que es el fitoplancton (algas) pero también la lenteja de agua. “Limitar” implica que solo un nutriente está controlando el crecimiento de estos productores primarios y que hay un exceso de los otros nutrientes.

El crecimiento del fitoplancton depende de la disponibilidad de fósforo (P) y nitrógeno (N). Como resultado, una cantidad adicional puede conducir a un mayor crecimiento de fitoplancton y causar una cadena de efectos ecológicos adversos. Si la eutrofización acuática con nutrientes conduce a un problema ambiental depende de factores locales como la topografía y la naturaleza física y química de los cuerpos de agua receptores. (Goedkoop, et al., ReCiPe 2008: A life cycle assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First Edition (version 1.08). Report I: Characterisation., 2013)

El destino del fósforo forma la base de los factores de caracterización del punto medio de la eutrofización del agua dulce. Los potenciales de eutrofización de agua dulce se expresan en Kilogramos de fósforo equivalentes de agua dulce (Helmes, Huijbregts, Henderson, & Jolliet, 2012).

- ***Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización (Impacto de punto final)***

La pérdida de especies acuáticas se genera por el incremento de las concentraciones de fósforo (Helmes, Huijbregts, Henderson, & Jolliet, 2012). El factor de efecto, sumado a los cálculos de punto medio, describe la ausencia de especies debido a las concentraciones de fósforo en agua dulce (Azevedo, Henderson, Van Zelm, Jolliet, & Huijbregts, 2013b); (Azevedo, et al., 2013c). Refleja el cambio en la fracción potencialmente desaparecida de especies debido a un cambio en la concentración total de fósforo y depende del tipo de agua dulce (ríos o lagos), especie de grupo (heterótrofos y autótrofos) y tipo de clima (cálido, templado, xérico o frío).

2.1.9. Gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Comas

El distrito de Comas se encuentra ubicado en el departamento y provincia de Lima. Cuenta con una población de 520 450 habitantes y 134 142 viviendas (INEI, 2017), de las cuales en su totalidad es población urbana. Asimismo, de acuerdo a la base de datos de los contribuyentes de establecimientos se tiene una población de un total de 20 475 contribuyentes de establecimientos. El distrito de Comas se encuentra subdividido en 14 sectores de acuerdo a la Sub Gerencia de Planeamiento Urbano y Catastro, en el cual los promotores ambientales se encargan de sensibilizar las viviendas, con el fin de educar a las personas y generar una cultura ambiental en ellas. Además, la Municipalidad Distrital cuenta con el Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Municipales, el cual es un sistema implementado para el reaprovechamiento de los residuos sólidos desde la fuente de generación mediante la separación de residuos, su almacenamiento y la entrega al personal encargado de realizar la recolección, evitando a la formación de botaderos y quema de residuos. Durante el 2018 se recuperaron 1625.31 toneladas de residuos sólidos en el distrito con apoyo de 4 asociaciones de recicladores y 2 asociaciones de centros de acopio (Municipalidad Distrital de Comas, 2022).

La Municipalidad Distrital de Comas realizó su Estudio de Caracterización de residuos sólidos municipales (domiciliarios y no domiciliarios) en julio del 2019. Se consideraron 130 muestras de viviendas las cuales fueron subdivididas por estratos y 187 muestras entre establecimientos comerciales y especiales, los cuales fueron subdivididos por subclases. Se determinó que la generación total en el distrito de Comas para el año 2019 fue 463.18 ton/día, en el cual 310.45 ton/día son de origen domiciliario, 146.35 ton/día de origen no domiciliario y 6.38 ton/día de establecimientos especiales. La generación per cápita de residuos domiciliarios es 0.521 Kg/hab/día y la generación per cápita de residuos sólidos municipales es 0.78 Kg/hab/día (Municipalidad Distrital de Comas, 2019).

La composición física del distrito de Comas está conformada por residuos sólidos orgánicos con un 51.16% (restos de comida, restos de verduras, frutas y otros), los residuos sólidos inorgánicos con 26.96% (papel, pet, cartón y otros) los cuales pueden ser reaprovechados, y finalmente con el 21.88% los residuos no reaprovechables (piedra, residuos sanitarios y residuos no categorizados). Por otro lado, la composición física de la fuente de generador domiciliario está conformada por residuos sólidos orgánicos con un 58.96%, los residuos inorgánicos con 10.84% y los residuos no reaprovechables con el 28.94%. Además, la humedad de los residuos sólidos domiciliarios es 54.35% y de los mercados es 86.22% (Municipalidad Distrital de Comas, 2019).

2.2. Antecedentes

2.2.1. A nivel nacional

- Grupo GEA (2020) desarrolló la investigación “Huella Hídrica de los usuarios de agua en Lima Metropolitana” el cual tuvo como objetivo realizar la medición de huella hídrica directa de los consumidores de agua en Lima Metropolitana a nivel distrital para el año 2018, para ello consideraron los 49 distritos que abarca Lima Metropolitana tanto del sector residencial, comercial e industrial. Para la obtención de los resultados de siguieron los lineamientos de la Water Footprint Network (WFN). Los resultados mostraron que la huella hídrica azul directa de todos los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2018 fue de 717 m³, de los cuales el 72% pertenece al sector residencial, 10% al sector comercial, 6% al sector industrial, 7% al sector agricultura y finalmente el 4% al sector público. Con respecto, a la huella hídrica gris directa de los usuarios de Lima Metropolitana para el año 2018 fue de 2029 m³, del cual el 91% se debe al sector residencial y comercial. Los autores recomiendan que para una adecuada gestión hídrica en Lima se debe preservar los ciclos naturales del agua, lo cual implica aprovechar sosteniblemente este recurso a través de intervenciones integrales en las cuencas hidrográficas. Asimismo, mencionan que el reaprovechamiento del agua residual proveniente del sector residencial podría contribuir a la regeneración de las aguas.
- Alfaro Flores, Yuri Maribel (2018) desarrolló la tesis de pregrado “Determinación de la huella hídrica para la producción de cola industrial en Arequipa”, la cual tuvo como objetivo determinar la huella hídrica directa para el proceso productivo de la producción de láminas de colágeno para la elaboración de cola industrial en una empresa ubicada en Arequipa, mediante la metodología establecida por la ISO 14046. Se determinó que la huella hídrica por uso directo fue 152.29 m³ por unidad funcional, UF (1500 Kg de láminas de cola industrial) y los impactos más significativos fueron por índice de impacto hídrico, eutrofización y calidad del ecosistema. El autor recomienda que la empresa implemente un sistema de control de usos de agua, tratar los efluentes industriales generados para reducir la huella de agua y monitorear la calidad de carnaza comprada como materia prima.
- Conza Salas, Alejandro (2017) desarrolló la tesis de maestría “Evaluación de la huella de agua como indicador eficiente de gestión ambiental en la central termoeléctrica Aguaytía”, la cual tuvo como objetivo evaluar la huella de agua de la producción de 1 kWh de energía en la “Central Termoeléctrica de Aguaytía” en el año 2013 siguiendo los lineamientos de la ISO 14046. El estudio fue de tipo aplicado con un nivel evaluativo. Los resultados de inventario de huella de agua presentan que los mayores consumos de agua se vinculan a la cadena de suministro, particularmente al gas natural. El mismo comportamiento se observa en el análisis de impactos potenciales del perfil de huella de agua. Asimismo, la evaluación de impactos de punto medio y final permitió determinar la importancia de la gestión de uso directo de agua. El autor concluye que es importante la gestión de los usos directos e indirectos de agua y que es necesario contar con

instrumentos de medida y control de cantidad y calidad de agua de entrada y salida dentro de la planta para asegurar una adecuada gestión ambiental del recurso agua.

- Conza Salas, Alejandro & Mendoza Rojas, Alejandro (2016) desarrollaron la investigación “Análisis de Huella Hídrica en la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA)-Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)” la cual tuvo como objetivo general conocer la huella hídrica de la facultad considerando como unidad de análisis los servicios educativos que se brindaron en el año 2014. Emplearon la metodología de la norma ISO 14046:2014 la cual se basa en el análisis de ciclo de vida asignado al uso del agua, evaluando su consumo y contaminación en la organización, también de los impactos potenciales en la salud humana y calidad de ecosistemas. Se obtuvieron como resultados que el mayor consumo de agua se relaciona a los consumos indirectos por el uso de electricidad y se concluye que el valor de agua consumida en la FIA UNI es de 13 m³ por alumno FIA. Por otro lado, en relación a los impactos por usos indirectos, el más significativo es el relacionado al uso de energía (70.68% del agua consumida y 68.15% del impacto potencial en ecosistemas), con excepción de la evaluación potencial en la salud humana, en el cual los impactos generados en la cadena de suministro es lo más significativo (83.59% del impacto potencial). Los autores recomiendan implementar un programa integral para el ahorro de electricidad por uso doméstico, un sistema de control de usos de agua en las áreas donde la información de usos ha sido estimada como referencial, fortalecer el monitoreo para la detección de fugas en los servicios higiénicos de la facultad e implementar proyectos de cultura de agua dirigido a los alumnos y docentes de la FIA.
- Rendón, Erick (2015) desarrolló la investigación “La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú” la cual tuvo como objetivo mostrar el estado de arte de la huella hídrica en el Perú, indicador que podría ser un importante instrumento para la gestión adecuada del agua, principalmente en ecosistemas que puedan tener problemas de escasez hídrica, en un contexto de cambio climático. El autor resalta la importancia de que con la medición de la huella hídrica se formen acciones de regulación y de gestión del agua con el objetivo de emitir información y así renovar las políticas y planificación de la gestión hídrica y guiar el crecimiento económico de manera sostenible.

2.2.2. A nivel internacional

- Junguo Liu et al. (2020) desarrollaron el artículo de investigación “Environmental Sustainability of Water Footprint in Mainland China (Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica en China Continental)”. Los autores evalúan la sostenibilidad ambiental de la huella hídrica para las 31 provincias de China Continental en el 2002, 2007 y 2012 e identificaron los puntos críticos insostenibles. La huella hídrica total aumentó en un 30% entre el 2002 y 2012. Los bajos niveles de sostenibilidad de la huella hídrica se debieron a la escasez del agua y la contaminación que intensifican la degradación de los ríos y ecosistemas locales dificultando la restauración. Los autores recomiendan formular

políticas necesarias para mejorar la gestión sostenible del agua y la restauración ecológica de las regiones críticas.

- Martínez-Arce et al. (2018) desarrollaron el artículo de investigación “Water Footprint (ISO 14046) in Latin America, State of the Art and Recommendations for Assessment and Communication (Huella hídrica (ISO 14046) en América Latina, estado del arte y recomendaciones para la evaluación y la comunicación)”. Los autores destacan la importancia de cuantificar y monitorear los impactos ambientales potenciales con una norma internacional (ISO 14046:2014) con el fin de priorizar las inversiones para reducir los impactos directos e indirectos de los usos del agua dentro de la producción de bienes y servicios. Los 43 profesionales, originarios de 14 países de América Latina, desarrollaron recomendaciones y herramientas disponibles para mejorar la coherencia en la cuantificación, verificación y comunicación de la huella hídrica en la región.
- S. Mahdi Hosseinian & Reza Nezamoleslami (2017) desarrollaron el artículo de investigación “Water Footprint and Virtual Water Assesment in Cement Industry; A Case Study in Iran (Evaluación de la huella hídrica y agua virtual en una industria de cemento: un estudio de caso en Irán). Los autores proponen un modelo integral para evaluar la huella hídrica de la producción de cemento en función del tipo de consumo de energía y transporte. La huella hídrica total de la planta de cemento en el 2016 fue de $3.6 \times 10^6 \text{ m}^3$, con un consumo de agua de 2.126 m^3 por cada tonelada de producción de cemento, lo que indica el riesgo de sobrevivir la industria de cemento en regiones secas. Además, se demuestra que el agua virtual es 11 veces mayor que el consumo directo de agua y contribuye al 90% de la huella hídrica total. La mayor parte de consumo de agua está relacionado con el uso de energía fósil, el cual es 9.3 veces mayor que el consumo directo del agua. La alimentación del personal aporta el 15% del agua total y el 17% del consumo virtual. Los autores recomiendan que la huella hídrica se puede reducir de manera más efectiva utilizando fuentes de energía renovables como es la eólica y solar.
- Meng Xu et al. (2017) desarrollaron el artículo de investigación “Optimal water utilization and allocation in industrial sectors base don wáter footprint accounting in Dalian City, China (Utilización y asignación óptima del agua en los sectores industriales según la contabilidad de la huella hídrica en la ciudad de Dalian, China). Los autores proponen un modelo óptimo de asignación de agua para los sectores industriales basado en la contabilidad de huella hídrica. Se cuantificaron las huellas de agua azul y gris internas y externas de 25 sectores industriales en la ciudad de Dalian de China para 2012, y en base a ello se realizó la comparación para la asignación de agua. El total de huella hídrica azul represento alrededor de 65.42% del total de huella hídrica y entre todos los sectores industriales, el sector de industria química y producción química tuvieron la huella hídrica total más alta. La comparación de los resultados demostraron que la intensidad de la productividad del agua tanto para el agua física como para el agua virtual tenían diferencias bastante grandes. Los autores recomiendan que un plan de asignación de agua podría cumplir tanto con los requisitos de agua para las huellas azul y gris, como

con las metas de producción, por tanto el modelo es aplicable para la utilización sostenible del agua en las futuras formulaciones de estrategias de gestión del agua.

- Fan Zhang et al. (2017) desarrollaron el artículo de investigación "Impacts of urban transformation on water footprint and sustainable energy in Shanghai, China (Impactos de la transformación urbana en la huella de agua y la energía sostenible en Shanghai, China). El estudio tuvo como objetivo considerar la disponibilidad de agua para la producción de energía desde una perspectiva basada en el consumo y estimación de la huella hídrica. La huella hídrica del suministro de energía de Shanghai fue de 1.28 mil millones de m³ en el 2007. Shanghai depende de otras provincias y países para satisfacer el 78.6% de sus necesidades de agua para el suministro de energía. Los autores demostraron que se necesita un 55% más de agua para asegurar un sector energético autosuficiente. Por tanto, es fundamental que Shanghai practique una gestión eficaz de los recursos hídricos, empleando tecnologías de generación de energía que ahorren agua. Sugieren considerar la estructura energética local basada en la huella hídrica de cada sector energético para una asignación más eficaz de los recursos hídricos.

CAPÍTULO III: MARCO LEGAL

✓ **Constitución Política del Perú. 1993.**

En el cual entre los derechos esenciales de la persona humana resalta el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida.

Artículo 2. Inciso 22. Toda persona tiene derecho a la paz, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

✓ **Ley 28611. Ley General del Ambiente.**

Artículo 1. Del derecho y deber fundamental

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

✓ **Ley 29338. Ley de Recursos Hídricos.**

Artículo 2. Finalidad

La presente Ley tiene por objetivo regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

✓ **Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338).**

El Reglamento tiene por objeto regular el uso y gestión de los recursos hídricos que comprenden al agua continental (superficial y subterránea), y los bienes asociados a esta; asimismo, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, todo ello con arreglo a las disposiciones contenidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338.

✓ **Resolución Jefatural N° 023-2020-ANA. Norma que fomenta la Medición y Reducción Voluntaria de la Huella Hídrica y el Valor Compartido en las Cuencas Hidrográficas.**

Artículo 1. Objeto y ámbito de aplicación

La presente norma tiene como objeto promover el análisis de la Huella Hídrica como instrumento de gestión que permita identificar el consumo de agua directo o indirecto en la producción de bienes y servicios, a fin de lograr el uso eficiente del recurso hídrico y la implementación de mecanismos de responsabilidad compartida en las cuencas hidrográficas. Además es de alcance nacional y de aplicación a personas jurídicas y usuarios de agua enmarcados en esta norma que voluntariamente se inscriben en el Programa Huella Hídrica a cargo de la Autoridad Nacional del Agua.

- ✓ **Decreto Legislativo N° 1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.**

Artículo 1. Objeto.

Decreto Legislativo establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, con la finalidad de propender hacia la maximización constante de la eficiencia en el uso de los materiales y asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos económica, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a las obligaciones, principios y lineamientos de este Decreto Legislativo.

- ✓ **Decreto Legislativo N° 1501. Decreto Legislativo que modifica el Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 11/05/2020**

- ✓ **Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Reglamento del Decreto Legislativo N°1278 “Ley de Gestión de Residuos Sólidos” del 21 de Diciembre del 2017.**

Artículo 1. El presente dispositivo reglamenta el decreto legislativo N° 1278, ley de gestión Integral de residuos sólidos, a fin de asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de los residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública.

- ✓ **NTP-ISO 14046- 2017. Gestión ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices. 27/12/2017**

Esta Norma Técnica Peruana se enfoca en los principios, los requisitos y las directrices referentes con la evaluación de la huella de agua de productos, procesos y organizaciones basada en el análisis del ciclo de vida (ACV).

Proporciona los principios, los requisitos y las directrices para realizar e informar de una evaluación de huella de agua única o individual, o como parte de una evaluación ambiental más integral.

- ✓ **NTP 900.058 2019 Gestión de Residuos. Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos. 18/03/2019**

Esta Norma Técnica Peruana establece los colores a ser utilizados para el almacenamiento adecuado de los residuos sólidos de los ámbitos de gestión municipal y no municipal.

Asimismo, es aplicable a todos los residuos sólidos generados, a excepción de los residuos radiactivos, residuos propios de actividades militares para la seguridad y defensa de la gestión, las aguas residuales y los residuos líquidos que se incorporen al manejo de las mismas de acuerdo a la legislación de la materia y las emisiones de gases y material particulado descargadas al ambiente.

- ✓ **Decreto Supremo N° 025-2021-SA. Decreto supremo que prorroga la Emergencia Sanitaria declarada por Decreto Supremo N° 008-2020-SA, prorrogada por Decretos Supremos N° 020-2020-SA, N° 027-2020-SA, N° 031-2020-SA y N° 009-2021-SA.**

Artículo 1. Prórroga de la declaratoria de emergencia sanitaria

Se prorroga a partir del 03 de setiembre de 2021, por un plazo de ciento ochenta (180) días calendario la emergencia sanitaria, por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia de la existencia del COVID-19.

- ✓ **Decreto Supremo N° 186-2021-PCM. Decreto supremo que prorroga el Estado de Emergencia Nacional, que modifica el Decreto Supremo N° 184-2020-PCM.**

Artículo 1. Prórroga del Estado de Emergencia Nacional

Se prorroga a partir del 01 de enero de 2021, por un plazo de treinta y un (31) días calendario el Estado de Emergencia Nacional, por las graves circunstancias que afectan la vida de las personas a consecuencia de la Covid-19.

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS

En el presente capítulo se abordan las etapas del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (ECRSD) convencional (con evaluación en campo) y virtual (en el marco de la Pandemia Covid-19) de la Municipalidad Distrital de Lima-Comas. Cabe mencionar que para desarrollar dichos estudios se presentan metodologías estandarizadas sobre la cual las municipalidades a nivel nacional los realizan, generando resultados consistentes, y contribuyendo al manejo de los residuos sólidos y al diseño en sus operaciones. Asimismo, los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales permiten determinar:

- ❖ La generación de residuos sólidos por cada habitante por día o generación per cápita (GPC).
- ❖ La generación total del municipio en función de la cantidad de habitantes.
- ❖ La densidad de los residuos sólidos, que permite dimensionar los sistemas de almacenaje, transporte y disposición final.
- ❖ La composición por tipo de residuos que permite recomendar la valorización orgánica o inorgánica.
- ❖ El contenido de humedad que permite aprobar o descartar ciertas tecnologías a aplicar a la disposición final.

4.1. Etapas de un estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional

El Ministerio del Ambiente (MINAM) propone la Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales (residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios) aprobada por Resolución Ministerial N° 457-2018- MINAM. Las etapas para desarrollar el estudio de caracterización convencional son las siguientes:

❖ Etapa 1: Planificación

Se conforman los equipos con los cuales se desarrollará el estudio con el objetivo de que exista una adecuada organización y operatividad en campo. Se considera lo siguiente:

- El equipo de planificación: Es el responsable del estudio y es designado por la autoridad municipal. Está conformado por los representantes de las gerencias, subgerencias, según corresponda. Además, brinda al equipo de campo la información necesaria para su operatividad como plano catastral del distrito, base de datos de predio actualizado y base de datos de las personas que participarán de dicho estudio.
- El equipo de campo: Está conformado por un/una responsable (profesional o técnico) con experiencia en el desarrollo de dicho estudio, quién es designado por el equipo de planificación. El responsable conforma los integrantes del equipo de campo los cuales son trabajadores de la municipalidad, voluntarios, estudiantes universitarios, asociación de recicladores y la propia comunidad. El equipo es capacitado durante 2 días previo al inicio del trabajo de campo.

- La logística: Son las herramientas necesarias para el desarrollo de trabajo de campo. Se encuentran el espacio físico (para el acopio de muestras, pesaje y clasificación); la unidad vehicular para la recolección y transporte de residuos sólidos; la logística para la capacitación del equipo de campo (computadora, pizarra, proyector, ambiente, entre otros) la cual es brindado por el responsable a los promotores ambientales, operarios de campo y conductor de la unidad vehicular; la provisión de insumos el cual incluye materiales de comunicación y difusión (trípticos, stickers de identificación de predios entre otros); el diseño y elaboración de registros (fichas de campo, formatos para la toma de datos, entre otros); los materiales y equipos para el estudio (bolsas, balanza digital, manta para segregación wincha, entre otros) y los equipos de protección personal e indumentaria (mascarillas, guantes, mandiles, gorra, lentes de seguridad, entre otros).
- Identificación de generadores domiciliarios: En la cual se determina el número mínimo de muestras teniendo como base que la población tiene una distribución normal. Se establecen rangos de tamaño de muestra que las municipalidades consideran según la cantidad de viviendas en el distrito. Se considera la información oficial de población del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

❖ **Etapas 2: Trabajo de campo y operaciones**

Durante esta etapa se realiza la invitación para la participación en el estudio, la asignación de muestras a cada promotor ambiental, el registro de los participantes y la codificación de los predios participantes. Para el manejo de muestras, el operario las recolecta de los generadores durante ocho días continuos, son colocadas en la unidad vehicular para su traslado y se descargan en el ambiente físico donde realizarán el pesaje y la clasificación.

Para el análisis de muestras se realiza el pesaje, la determinación de la densidad, la composición y la humedad de los residuos sólidos. Luego de la toma de datos y análisis físico de los residuos sólidos caracterizados se realiza la limpieza del área utilizada y la disposición final de los residuos para evitar la generación de vectores.

❖ **Etapas 3: Análisis de información**

En esta etapa se analizan los datos obtenidos de campo. Se realiza la estimación de generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios y la validación de los mismos. Además se estima la generación total, la densidad, la composición y la humedad de los residuos sólidos domiciliarios.

4.2. Etapas de un estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual

Se realiza en base a la adaptación de la guía para la caracterización de residuos sólidos municipales (residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios) propuesta por el MINAM, aprobada por Resolución Ministerial N° 457-2018- MINAM por la imposibilidad de realizar trabajos de campo.

Cabe mencionar que esta nueva metodología ha sido validada en Revistas Indexadas de Requena Sanchez et al. (2021) con el artículo “A novel methodology for household waste characterization during the COVID-19 pandemic: case study results”; Requena Sanchez & Carbonel Ramos (2021) con el artículo “Cambios en la generación y composición de residuos domiciliarios durante la pandemia del Covid-19, estudio de caso en 8 distritos de la provincia de Arequipa, Perú”; y de Requena Sánchez et al. (2021) con el artículo “Generación y segregación de residuos sólidos domiciliarios durante la cuarentena por Covid-19 en Panamá, estudio de caso”.

Las etapas para desarrollar el estudio de caracterización virtual son las siguientes:

❖ Etapa 1: Planificación

Se desarrollan las reuniones virtuales con el docente asesor y el equipo de apoyo para la elaboración del Plan de trabajo. Se consideran los siguientes equipos de trabajo:

- **Equipo de trabajo enfocado en la elaboración de base de datos:** Es el equipo encargado de la elaboración de los formularios virtuales (*Google Forms*) mediante el cual los participantes realizan su registro de información personal, así como los registros del pesaje de sus residuos domiciliarios al cuarto y séptimo día del inicio del estudio.
- **Equipo de trabajo enfocado en la elaboración del material de sensibilización:** Es el equipo encargado de realizar los afiches virtuales (folletos de sensibilización, invitaciones para participar del estudio, entre otros). Además se encarga de realizar el documento de registro fotográfico y de pesaje, en el cual cada participante lo llena según las fotografías y los pesos obtenidos durante los ocho días de la caracterización.
- **Equipo de voluntarios enfocados en realizar el seguimiento a los participantes:** Es el equipo encargado de absolver las preguntas frecuentes de manera constante y personalizada, y de monitorear a los participantes durante la realización del estudio.

- **Equipo encargado de las capacitaciones virtuales:** Es el equipo encargado de brindar las capacitaciones virtuales, las cuales se realizan durante dos días. Se abordan temas como: introducción general de los residuos sólidos, en qué consiste la caracterización de residuos sólidos y cómo reaprovechar los residuos sólidos domiciliarios (compostaje, vermicompostaje, ecoladrillo, entre otros). Asimismo, se orienta al participante sobre qué acciones realizar para iniciar la caracterización desde casa (capacitando a su familia, implementando los tachos según la clasificación de residuos, tomando fotografías y realizando el pesaje de sus residuos para el registro fotográfico y de pesajes, así como de los formularios virtuales).
- **Equipo de trabajo enfocado en la difusión:** Es el equipo encargado de realizar la publicidad mediante las redes sociales (Facebook, Instagram y LinkedIn).
- **Equipo encargado de la certificación digital:** Es el equipo encargado de realizar los certificados digitales codificados para los participantes que logran culminar el estudio.

❖ **Etapas 2: Trabajo de campo y operaciones**

Durante esta etapa se difunden mediante las redes sociales la invitación para la participación del estudio de caracterización virtual. Cada participante para iniciar la caracterización desde casa capacita a su familia sobre la correcta segregación de los residuos sólidos domiciliarios e implementa sus tachos, según el código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP) 900.058.2019.

El participante realiza el pesaje de sus residuos durante ocho días continuos. El día 0 elimina todos los residuos generados en casa y prepara los contenedores de plástico, cartón, bolsas, costales u otros similares. Asimismo, capacita a su familia y toma fotografías de los contenedores y de la capacitación familiar brindada.

Del día 1 al día 4 pesa diariamente los residuos dispuestos en cada contenedor y registra los pesos en el registro fotográfico y de pesajes diarios. Además, registra la suma parcial del pesaje de los primeros 4 días en el formulario google, el cual fue enviado vía correo electrónico.

De la misma manera, del día 5 al día 7 el participante pesa diariamente los residuos dispuestos en cada contenedor y registra los pesos en el registro fotográfico y de pesajes diarios. Finalmente, registra la suma parcial del pesaje de los siguientes y últimos 3 días en el formulario google, el cual fue enviado vía correo electrónico.

Adicionalmente, se realiza el reaprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos y aprovechables mediante el compostaje, vermicompostaje, ecoladrillo entre otros, y el resto de residuos se disponen adecuadamente. Cabe mencionar que por el marco de la Pandemia Covid-19 no se realiza la determinación de la densidad y humedad de los residuos sólidos por lo que conlleva del traslado a un laboratorio acreditado. No obstante, con los datos obtenidos se estiman la generación total y la composición de residuos sólidos domiciliarios.

❖ **Etapa 3: Análisis de información**

En esta etapa se analizan los datos obtenidos mediante los formularios google y el registro fotográfico y de pesajes diarios enviado por cada participante. Se realiza la estimación de generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios y la validación de los mismos. Además, se estima la generación total y la composición de los residuos sólidos domiciliarios.

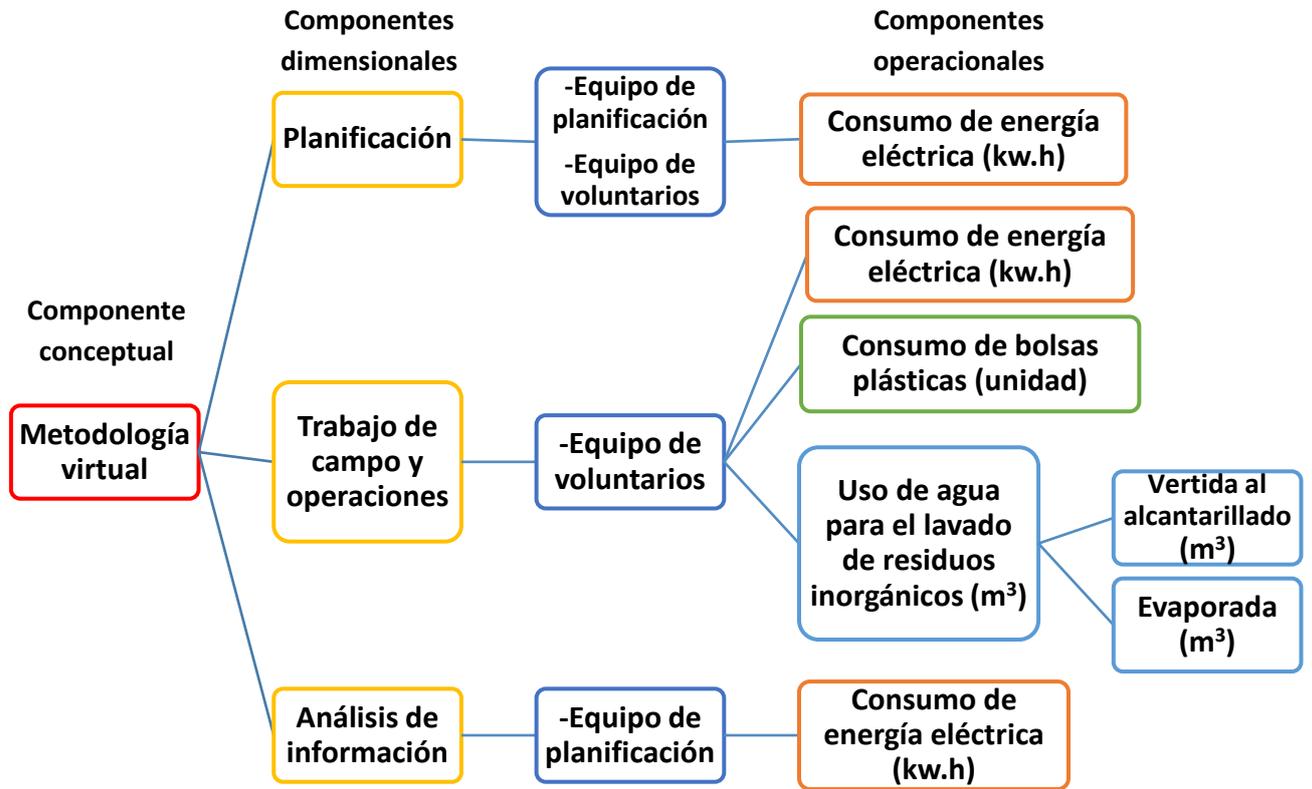
En la Tabla 1 se muestra la comparación entre las metodologías aplicadas en el estudio de caracterización convencional y virtual, y en la Figura 5 los componentes conceptuales, dimensionales y operacionales de la metodología virtual.

Tabla 1. *Comparación entre las metodologías aplicadas en el estudio convencional y virtual*

| Metodología convencional | Metodología virtual |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Planificación: <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía eléctrica - Uso de servicios higiénicos - Consumo de combustible (transporte del personal) ▪ Trabajo de campo y operaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de alimentos - Consumo de agua para beber - Consumo de bolsas plásticas - Consumo de combustible (unidad vehicular que transporta los residuos) ▪ Análisis de información: <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía eléctrica | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Planificación: <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía eléctrica ▪ Trabajo de campo y operaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía eléctrica - Consumo de bolsas plásticas - Uso de agua para el lavado de residuos inorgánicos ▪ Análisis de información: <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía eléctrica |

Nota. Elaboración propia.

Figura 5. Componentes conceptuales, dimensionales y operacionales de la nueva metodología virtual

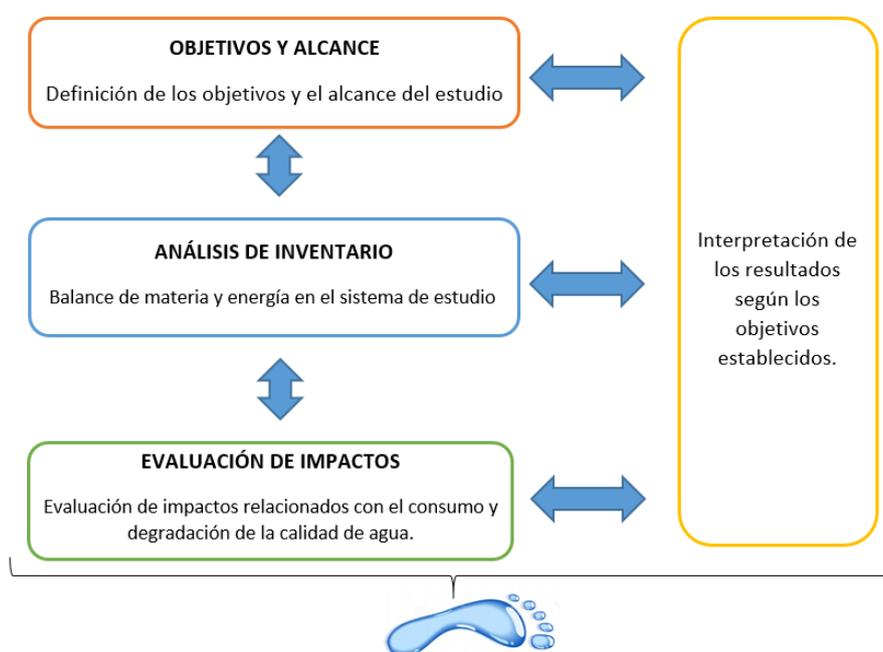


Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO V: ASPECTO METODOLÓGICO

En este capítulo se explica la metodología seguida para realizar el presente trabajo de investigación. Se consideró como referencia la metodología establecida por la Organización Internacional de Normalización, ISO 14046:2014, cuyo enfoque está basado en el análisis de ciclo de vida de un producto, proceso u organización, el cual considera los consumos directos e indirectos del agua en la cadena de valor correspondiente y los correlaciona a los impactos ambientales potenciales. Se aplicó la metodología en los estudios de caracterización convencional y virtual de una Municipalidad Distrital de Lima. La evaluación de la huella hídrica según la normativa ISO 14046:2014 incluye las cuatro fases del análisis del ciclo vida, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Fases para el cálculo de la huella hídrica



Nota. Adaptado de *Esquema de las etapas para el cálculo de la huella hídrica (ISO 14046,2014)*, de Fundación Chile y la ONG Agualimpia, 2017, Manual de aplicación de evaluación de Huella Hídrica acorde a la norma ISO 14046.

5.1. Tipo y Diseño de investigación

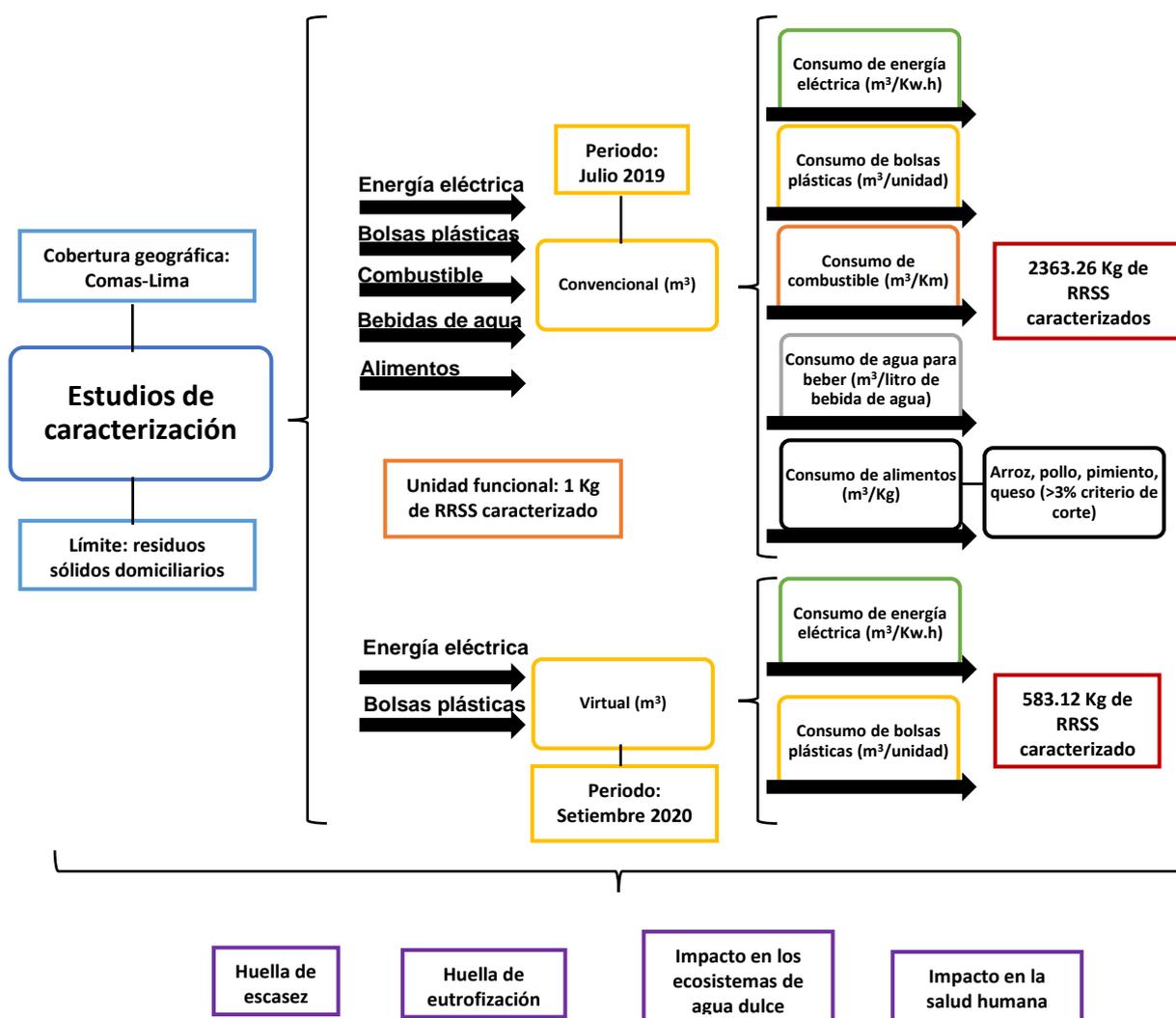
El tipo y diseño de la presente investigación es no experimental transeccional descriptivo debido a que se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural (estudios de caracterización de residuos sólidos convencional y virtual), para posteriormente analizarlos, los cuales son ocurridos en un determinado momento (antes y durante la Pandemia Covid-19). Asimismo, se considera descriptivo debido a que se recolectan datos y se describen las categorías, conceptos y variables, y se determina el impacto de la huella hídrica entre los estudios de caracterización de residuos sólidos convencional y virtual.

5.2. Finalidades y alcances

Se definen cuáles son las razones para llevar a cabo el estudio, la aplicación deseada de los resultados y hacia quiénes están dirigidos los resultados. En este caso las finalidades son las mismas de la presente investigación. De la misma manera, el alcance del estudio se define por las características del sistema y sus límites, la unidad funcional, la cobertura geográfica y temporal, los criterios de corte y procedimientos de asignación.

En la Figura 7 se muestran los componentes del Sistema de Huella Hídrica Indirecta. Asimismo, en la Figura 8 y Figura 9 se muestran los diagramas de flujos de los Sistemas de Huella Hídrica directa del estudio de caracterización convencional y virtual, respectivamente.

Figura 7. Componentes del Sistema específico de la Huella Hídrica Indirecta



Nota. Elaboración propia

a) Sistema de estudio

Comprendió los estudios de caracterización de la Municipalidad Distrital de Comas-Lima. La principal fuente de agua en los estudios de caracterización convencional y virtual fue el agua abastecida por la red de agua potable de Sedapal. En el estudio de caracterización convencional, el agua fue empleada principalmente para el uso doméstico en los servicios higiénicos y en el estudio de caracterización virtual, en el lavado de residuos inorgánicos por parte de los participantes involucrados en la caracterización de residuos.

Los estudios de caracterización convencional y virtual solo consideraron el sector residencial debido a que se limita a la caracterización de residuos sólidos domiciliarios. Se consideró desde la etapa de planificación, trabajo de campo y operaciones, hasta la etapa de análisis de información en cada estudio. Asimismo, se abarcaron los consumos directos (agua evaporada generada por el secado de los residuos inorgánicos) e indirectos de agua (consumo de alimentos, de bebidas de agua, de bolsas plásticas de polietileno, de energía eléctrica y de combustible para el transporte del personal y la recolección de residuos) en cada estudio.

b) Unidad funcional

La unidad funcional para cada estudio de caracterización fue de un (01) Kilogramo de residuo sólido domiciliario caracterizado. Esta unidad simboliza la base de cálculo con referencia a la cual se normalizaron las entradas y salidas relevantes del sistema para la evaluación de la Huella Hídrica.

c) Cobertura geográfica y temporal

La cobertura geográfica consideró al distrito de Comas, el cual se encuentra ubicado en la provincia y departamento de Lima. Asimismo, el periodo temporal para cada estudio de caracterización fue de 10 días. El estudio de caracterización convencional se realizó en el mes de julio del 2019 y el estudio de caracterización virtual en el mes de setiembre del 2020.

d) Criterios de Corte y Procedimientos de Asignación

Para el análisis del consumo indirecto se evaluó el consumo de energía eléctrica y combustible. Asimismo, se asignó una regla de corte en base al criterio de valor, para excluir los insumos cuya representación sea menor al 3% de la cantidad total de insumos considerados durante cada estudio, es decir, solo se consideran los insumos cuya representación será mayor a dicho porcentaje (Ver Anexo 1 y Anexo 2).

El criterio de corte define hasta qué nivel de información se toma en cuenta, por tanto, se justifica al existir una gran cantidad de flujos debido a que es complejo cuantificarlos todos y no agrega valor al estudio realizar un trabajo más detallado (Fundación Chile y ONG Agualimpia, 2017). En el caso de la presente investigación, cuenta con 42 y 9 tipos de insumos (entre consumibles y fijos) en los estudios de caracterización convencional y virtual, respectivamente.

En el estudio de caracterización convencional son 24 insumos consumibles de los cuales 6 son considerados para el estudio debido a que excluyen los insumos cuya representación es menor al 3% del total, y 18 insumos fijos, de los cuales, ninguno es considerado en el estudio debido a que son menores al % considerado de exclusión, lo que justifica que al ser insumos fijos pueden ser utilizados para el desarrollo de más de un estudio de caracterización de residuos.

Por otro lado, el estudio de caracterización virtual tiene 2 insumos consumibles, de los cuales, en su totalidad son considerados dentro del criterio de corte, y 7 insumos fijos de los cuales ninguno ha sido considerado por no cumplir con el criterio de exclusión.

Cabe mencionar que se consideró clasificar a los insumos en dos tipos: consumibles y fijos. Los insumos consumibles son aquellos que fueron utilizados solo en un (01) estudio de caracterización, y los insumos fijos son aquellos que fueron utilizados en más de un (>1) estudio de caracterización.

Para la obtención de los insumos consumibles representativos se tomaron en cuenta los siguientes criterios, a juicio de experto:

- ❖ Para el papel bond A4, se consideró que se utilizaron 30 hojas en un tiempo de 2 horas, es decir, que los 10 voluntarios (estudiantes de ingeniería ambiental) utilizaron 3 hojas cada dos horas.
- ❖ Para los alimentos se consideraron como entrada y segundo a la papa a la huancaína y al arroz con pollo, ya que son considerados los platos más consumidos en Lima Metropolitana y Callao, según la Encuesta que fue realizada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática para medir la composición nutricional de los principales alimentos consumidos fuera del hogar (INEI, 2015). Se consideró que los 15 encargados (10 estudiantes de ingeniería ambiental y los 5 choferes) consumen sus alimentos en 30 minutos.
- ❖ Para las bebidas de agua de 600 ml, se consideró que los 15 encargados consumen las bebidas de agua en una hora.
- ❖ Para las bolsas de plástico de polietileno de baja densidad de 75 litros, se consideró que su vida útil es de 15 minutos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2020), es decir, que durante ese determinado tiempo se consumieron 260 bolsas (130 de color verde y 130 de color negro).
- ❖ Para los polos y gorros de algodón personalizados, se consideró que los 15 encargados utilizaron los polos y gorros durante los 10 días (8 horas por día).
- ❖ Para los guantes y mascarillas, se consideró que los 15 encargados en 8 horas se consumieron 15 pares de guantes y 15 mascarillas los 8 días de trabajo de campo.
- ❖ Para el jabón carbólico y detergente, se consideró que se consumieron durante los 8 días de trabajo de campo (4 horas por día).

Para el resto de insumos fijos se consideró una vida útil de 4 meses a 5 años, de acuerdo al tipo de insumo; considerando 2080 horas por un año, es decir, 52 semanas; para cada

semana, 5 días; y para cada día, 8 horas. En la Tabla 2 se muestran los insumos representativos (consumibles y fijos) obtenidos por la regla de corte mayor al 3 %.

Tabla 2. *Insumos representativos considerados en los estudios de caracterización*

| | |
|---|--|
| <p>Insumos representativos del estudio de caracterización convencional</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Arroz. • Pollo. • Pimiento. • Queso. • Bebidas sin gas de agua. • Bolsas de polietileno de baja densidad. |
| <p>Insumos representativos del estudio de caracterización virtual</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Bolsas plásticas de polietileno de baja densidad. |

Nota. Elaboración propia.

Luego de aplicado el criterio de corte, se excluyeron insumos como computadora de escritorio, CPU, impresora, proyector, balanza, papel bond, lapiceros, plumones, entre otros, los cuales fueron empleados para la logística en cada estudio.

5.3. Análisis de inventario

Se realizó el levantamiento de información en referencia a los límites del sistema (consumo directo en relación al balance hídrico, y el consumo indirecto en relación a la cadena de suministros y al consumo de electricidad y combustible). Se consideraron todas las entradas y salidas importantes del sistema, analizando que puedan aportar de forma relevante a los impactos ambientales relacionados con el uso de agua. Además, la información secundaria para los Factores de Conversión se obtuvo de bibliografía nacional (Autoridad Nacional del Agua) e internacional (Water Footprint Network, Quantis Water Database 2015 u otros autores internacionales).

5.4. Evaluación de impactos de huella hídrica

Se evaluaron los impactos ambientales potenciales relacionados con la disponibilidad (cantidad) y degradación (calidad) del agua generada por su consumo directo e indirecto en los estudios de caracterización convencional y virtual. Se realizó la evaluación de impactos de punto medio (escasez y eutrofización) y de punto final (salud humana y ecosistema de agua dulce) según las metodologías existentes. En la Tabla 3 se muestran las categorías de impacto e indicadores de punto medio y punto final utilizados para la evaluación en los estudios de caracterización convencional y virtual.

Tabla 3. *Resumen de categorías de impacto e indicadores evaluados en los estudios de caracterización convencional y virtual*

| Categoría de impacto | Indicador | Factor de caracterización | Unidad |
|------------------------------------|--|--|--------------------|
| Uso de agua | Punto medio (Escasez de agua) | Metros cúbicos equivalentes de agua mundial | m ³ -eq |
| | Punto final (Salud humana) | DALYs (Disability Adjusted Life Years)- pérdida de años de vida ajustados por discapacidad | DALY |
| | Punto final (Ecosistemas de agua dulce) | PDF.y (Potentially Disappeared Fraction per year)- pérdida relativa local de especies en ecosistemas de agua dulce por año | especies.año |
| Eutrofización de agua dulce | Punto medio (Incremento del fósforo en agua dulce) | Kilogramos de fósforo equivalente para agua dulce | Kg P eq |
| | Punto final (Ecosistemas de agua dulce) | PDF.y (Potentially Disappeared Fraction per year)- Pérdida relativa local de especies en ecosistemas de agua dulce por año | especies.año |

Nota. Elaboración propia.

5.5. Interpretación de resultados

Se identificaron los aspectos significativos basados en los resultados del inventario y la evaluación de la huella hídrica, tomando en cuenta el impacto de la huella hídrica de los estudios de caracterización convencional y virtual. Asimismo, se determinó si la huella hídrica es mayormente directa o indirecta y cuáles son los principales potenciales impactos asociados a ella, considerando el aspecto geográfico y temporal, así como la evaluación cualitativa de incertidumbre de los resultados. Se determinó que el estudio presenta un nivel de incertidumbre medio (Ver Anexo 4).

CAPÍTULO VI: RESULTADOS

6.1. Resultados: Análisis de inventario

Se considera la cantidad total de residuos caracterizados para el cálculo de la huella hídrica evidenciada en cada estudio, debido a que la unidad funcional considerada fue de un (01) Kilogramo de residuo sólido domiciliario caracterizado. En la Tabla 4 se muestra la cantidad de residuos (Kg) que se caracterizaron para cada estudio.

Tabla 4. Residuos sólidos caracterizados en los estudios de caracterización (Kg)

| Estudio de caracterización | Kg de residuos caracterizados |
|----------------------------|-------------------------------|
| Convencional ^a | 2 363.26 |
| Virtual ^b | 583.12 |

Nota. ^a Municipalidad Distrital de Comas (1 al 25 de julio del 2019); ^b Equipo Técnico de Residuos Sólidos (ETRS) de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (6 al 13 de setiembre del 2020)

6.1.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional

6.1.1.1. Huella hídrica directa

Se cuantificaron todas las entradas y salidas relevantes del sistema analizado, que pudieron contribuir de manera significativa a los impactos ambientales relacionados con el uso del agua.

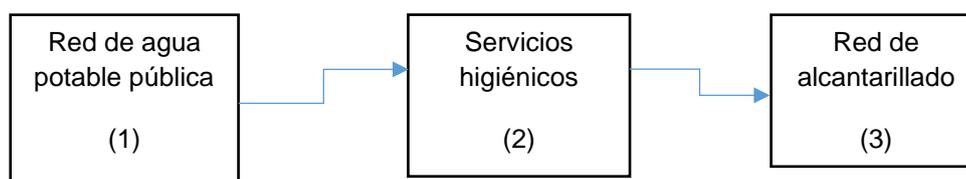
Balance Hídrico

El balance hídrico analiza los ingresos (una o más fuentes de agua) y las diversas salidas de agua de un sistema. La sumatoria de dichas entradas y salidas de agua deben ser iguales, tal y como se indica en la siguiente ecuación.

$$\sum \text{Flujos de entrada al sistema} = \sum \text{Flujos de salida al sistema}$$

El total de agua que ingresó al sistema corresponde al agua potable de la Red pública de SEDAPAL en Lima, la cual fue utilizada para los servicios higiénicos que emplearon los voluntarios y trabajadores en el lavado de manos y la descarga de inodoro. El principal flujo de salida se encuentra en la descarga al alcantarillado. En la Figura 8 se detalla el diagrama de flujo del estudio de caracterización convencional.

Figura 8. Diagrama de flujos del estudio de caracterización convencional



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, según el diagrama de flujo de ingreso y salida (Figura 8) el volumen de agua de ingreso es igual al volumen de agua de salida (balance hídrico). Para determinar el volumen de agua de salida, se consideraron en total, 15 personas, los cuales diez (10) fueron voluntarios (estudiantes de ingeniería ambiental) y cinco (5) fueron choferes (encargados de realizar la recolección de los residuos sólidos domiciliarios durante los diez días del estudio de caracterización). Cada persona utilizó diariamente un determinado volumen de agua para el lavado de manos y la descarga del inodoro común, el cual fue de 5.7 m³, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. *Uso doméstico de agua en el estudio de caracterización convencional*

| Actividad | N° de veces al día | N° de días | N° de personas | ^a Uso doméstico de agua (m ³) | Total de uso doméstico de agua (m ³) |
|------------------------------|--------------------|------------|----------------|--|--|
| Lavado de manos | 1 | 10 | 15 | 0.020 | 3 |
| Descarga de inodoro común | 1 | 10 | 15 | 0.018 | 2.7 |
| Total (m³) | | | | | 5.7 |

Nota. ^a MINAM (2014).

De acuerdo con los cálculos del balance hídrico presentado en la Tabla 6, la huella hídrica directa es cero, debido a que solo hubo movilización de agua, es decir, el volumen de agua descargada es devuelto a la misma cuenca y está disponible para otras actividades.

Tabla 6. *Balance hídrico del estudio de caracterización convencional*

| | Flujos de entrada | = | Flujos de salida |
|--|-----------------------------|---|-------------------------------|
| Nombre de Flujo | Red de agua potable pública | = | Vertimiento al alcantarillado |
| m ³ | 5.7 | = | 5.7 |
| Residuos caracterizados (kg) | | | 2,363.26 |
| Agua movilizada (m ³) | | | 5.70 |
| Huella hídrica directa (m ³) | | | - |
| Huella hídrica directa (m ³ /Kg de residuo caracterizado) | | | - |

Nota. Elaboración propia.

6.1.1.2. Huella hídrica indirecta

Se calculó un estimado de la Huella Hídrica indirecta de los principales insumos y recursos utilizados por el estudio con la finalidad de mostrar la importancia de los impactos generados por los mismos.

La Tabla 7 muestra los insumos representativos (Anexo 1) de la cadena de suministro y los recursos (energía y combustible) utilizados en el estudio de caracterización convencional.

La Tabla 8 muestra el consumo de bolsas de polietileno en el estudio de caracterización convencional.

Asimismo, en la Tabla 9 se muestra el consumo de energía eléctrica en el estudio de caracterización convencional.

De igual forma, la Tabla 10 muestra el consumo de combustible (Diésel) para el transporte de la recolección de residuos sólidos domiciliarios en el estudio de caracterización convencional. Cabe mencionar, que se considera como combustible al Diésel debido a que en el transporte de carga en el Perú, casi el 90% de los vehículos utilizan diésel, el 9% gasolina y el resto GLP y GNV. (MINEM, s.f.)

La Tabla 11 muestra el consumo de combustible (Diésel) para el transporte de los voluntarios y choferes que participaron en el estudio de caracterización convencional. Cabe mencionar, que se considera como combustible al Diésel debido a que en el transporte de pasajeros en el Perú, el 58% de los vehículos utiliza diésel, el 33% GLP, 5% GNV y 4% gasolina (MINEM, s.f.).

Tabla 7. *Insumos y recursos utilizados en el estudio de caracterización convencional*

| Insumos y recursos | ¿Para qué actividad se utiliza este insumo? |
|--|---|
| CADENA DE SUMINISTRO | |
| Alimentos (arroz, pollo, pimiento, queso) | Utilizado para el almuerzo de los voluntarios y choferes. |
| Bebidas sin gas de agua de 600ml | Utilizado para el consumo de los voluntarios y choferes. |
| Bolsas de polietileno de baja densidad de 75 litros | Utilizado para el almacenamiento de residuos en los predios participantes. |
| ENERGÍA Y TRANSPORTE | |
| Energía eléctrica | Utilizado para el funcionamiento de equipos eléctricos para la capacitación de voluntarios y logística del proceso. |
| Combustible Diésel | Utilizado para las unidades vehiculares que trasladan a los voluntarios y choferes. |
| | Utilizado para el funcionamiento de las unidades vehiculares que recolectan los residuos domiciliarios. |

Nota. Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (ECRSM) del distrito de Comas. Municipalidad Distrital de Comas (2019).

Tabla 8. Consumo de bolsas de polietileno en el estudio de caracterización convencional

| Bolsas de polietileno de baja densidad de 75 litros | Color | Bolsa/día | días | N° de viviendas | N° total de viviendas |
|---|--------------|-----------|------|-----------------|-----------------------|
| | Negra | 1 | 8 | 130 | 1040 |
| | Verde | 1 | 8 | 130 | 1040 |
| | Total | | | | 2080 |

Nota. ECRSM del distrito de Comas. Municipalidad Distrital de Comas (2019).

Tabla 9. Consumo de energía eléctrica en el estudio de caracterización convencional

| Equipo electrónico | N° de equipos | Potencia (W) | Kw | Horas de uso/día | Días | Consumo total (Kw.h) |
|---------------------------|---------------|--------------|-------|------------------|------|----------------------|
| Proyector | 1 | 500 | 0.5 | 1 | 2 | 1 |
| Luminarias fluorcompactas | 6 | 11 | 0.011 | 5 | 10 | 0.55 |
| Computadora y monitor | 3 | 400 | 0.4 | 5 | 10 | 20 |
| Impresoras | 1 | 11 | 0.011 | 0.5 | 10 | 0.055 |
| Total (Kw.h) | | | | | | 21.61 |

Nota. Datos estimados del ECRSM del distrito de Comas. Municipalidad Distrital de Comas (2019).

Tabla 10. Consumo de Diésel (recolección de residuos) en el estudio de caracterización convencional

| Diésel para el transporte de la recolección de residuos sólidos domiciliarios | | | | | | |
|---|-------|-----------------------------|--|---|---------------------------------|----------------------|
| N° de días | h/día | Tiempo total de circulación | Velocidad de circulación promedio (Km/h) | Recorrido total por camión baranda (Km) | Cantidad de camiones (unidades) | Cantidad total de Km |
| 8 | 3.5 | 28 | 10 | 1120 | 5 | 5600 |

Nota. Datos estimados del ECRSM del distrito de Comas. Municipalidad Distrital de Comas (2019).

Tabla 11. Consumo de Diésel (voluntarios y choferes) en el estudio de caracterización convencional

| Diésel para el transporte de los voluntarios y choferes | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------|
| N° total de individuos | Distancia total en ida (Km) | Km total (recorrido ida y vuelta) | N° de veces del recorrido durante el estudio | Km total recorrido (Km) |
| 15 | 10 | 20 | 10 | 3000 |

Nota. Datos estimados del ECRSM del distrito de Comas. Municipalidad Distrital de Comas (2019).

La Tabla 12 muestra la cuantificación de insumos de la cadena de suministro y recursos (energía y combustible) utilizados en el estudio de caracterización convencional.

Tabla 12. *Cuantificación del consumo de insumos y recursos en el estudio de caracterización convencional*

| INSUMOS Y RECURSOS | DATOS | | | | |
|--------------------|---------------------|--|----------------|-------|---------------------------|
| | | CONCEPTO | UNIDAD | VALOR | FUENTE DE INFORMACIÓN |
| Arroz | Dato | Cantidad total de voluntarios y choferes | N° de personas | 15 | Datos estimados del ECRSM |
| | Dato | Consumo de arroz por persona | Kg | 0.250 | Elaboración propia |
| | Dato | Cantidad total de días del consumo de arroz | N° de días | 10 | Datos estimados del ECRSM |
| | Resultado procesado | Consumo de arroz por estudio | Kg | 37.5 | Elaboración propia |
| Pollo | Dato | Cantidad total de voluntarios y choferes | N° de personas | 15 | Datos estimados del ECRSM |
| | Dato | Consumo de pollo por persona | Kg | 0.250 | Elaboración propia |
| | Dato | Cantidad total de días del consumo de pollo | N° de días | 10 | Datos estimados del ECRSM |
| | Resultado procesado | Consumo de pollo por estudio | Kg | 37.5 | Elaboración propia |
| Pimiento | Dato | Cantidad total de voluntarios y choferes | N° de personas | 15 | Datos estimados del ECRSM |
| | Dato | Consumo de pimiento por persona | Kg | 0.075 | Elaboración propia |
| | Dato | Cantidad total de días del consumo de espinaca | N° de días | 10 | Datos estimados del ECRSM |
| | Resultado procesado | Consumo de pimiento por estudio | Kg | 11.25 | Elaboración propia |
| Queso | Dato | Cantidad total de voluntarios y choferes | N° de personas | 15 | Datos estimados del ECRSM |
| | Dato | Consumo de queso por persona | Kg | 0.100 | Elaboración propia |
| | Dato | Cantidad total de días del consumo de queso | N° de días | 10 | Datos estimados del ECRSM |
| | Resultado procesado | Consumo de queso por estudio | Kg | 15 | Elaboración propia |

| INSUMOS Y RECURSOS | DATOS | | | | |
|--|---------------------|--|--------|-------|--|
| | | CONCEPTO | UNIDAD | VALOR | FUENTE DE INFORMACIÓN |
| Bebidas sin gas de agua de 600 ml | Dato | Consumo de bebidas por estudio | Unidad | 150 | Datos estimados del ECRSM |
| | Dato | Cantidad de litros por bebida | litros | 0.600 | Elaboración propia |
| | Resultado procesado | Consumo de bebidas por estudio | litros | 90 | Elaboración propia |
| Bolsas de polietileno de baja densidad de 75 litros | Dato | Consumo de bolsas por estudio | Unidad | 2080 | Datos estimados del ECRSM <i>Ver Tabla 8</i> |
| | Dato | Peso de bolsa por unidad | Kg | 0.100 | Elaboración propia |
| | Resultado procesado | Consumo de bolsas por estudio | Kg | 208 | Elaboración propia |
| Energía eléctrica | Resultado | Consumo de energía eléctrica por estudio | Kw.h | 21.61 | <i>Ver Tabla 9</i> |
| Combustible Diésel para el transporte de la recolección de residuos | Resultado procesado | Recorrido total por estudio | Km | 5600 | Datos estimados del ECRSM <i>Ver Tabla 10</i> |
| Combustible Diésel para el transporte de voluntarios y choferes | Resultado procesado | Recorrido total por estudio | Km | 3000 | Elaboración propia <i>Ver Tabla 11</i> |

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 13 muestra los volúmenes de agua consumidos de forma indirecta en el estudio de caracterización convencional.

Según los cálculos de consumo de agua indirecta, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el estudio de caracterización convencional evidenció 0.19 m³ de agua de uso indirecto.

Cabe mencionar que el cálculo de la Huella indirecta es referencial, ya que sólo se han incluido los insumos considerados significativos para el estudio.

Tabla 13. Inventario de la Huella Hídrica indirecta del estudio de caracterización convencional

| Insumos y recursos | Cantidad de insumo | Unidad | Factor de conversión | Unidad | Huella indirecta (m ³) |
|---|--------------------|--------|----------------------|---|------------------------------------|
| Arroz | 37.5 | Kg | 6.496 ^a | m ³ /Kg | 243.60 |
| Pollo | 37.5 | Kg | 4.325 ^b | m ³ /Kg | 162.19 |
| Pimiento | 11.25 | Kg | 0.083 ^c | m ³ /Kg | 0.93 |
| Queso | 15 | Kg | 3.178 ^d | m ³ /Kg | 47.67 |
| Bebidas de agua | 90 | L | 0.00173 ^e | m ³ /litro de bebida de agua | 0.16 |
| Bolsas de polietileno | 2080 | Unidad | 0.00003 ^f | m ³ /unidad | 0.06 |
| Diésel- recolector de residuos | 5600 | Km | 0.00033 ^g | m ³ /Km | 1.85 |
| Diésel- voluntarios | 3000 | Km | 0.00033 ^h | m ³ /Km | 0.99 |
| Energía eléctrica | 21.61 | Kw.h | 0.0163 ⁱ | m ³ /Kw.h | 0.35 |
| Total (m³) | | | | | 457.80 |
| Residuos caracterizados (kg) | | | | | 2363.26 |
| Huella Hídrica indirecta (m³/Kg de residuo caracterizado) | | | | | 0.19 |

Nota. ^a ANA, Fonseca Salazar, Verano Zelada & Mariluz Silva (2012). ^b Water Footprint Network (2017). ^c Wise Irrisystem & La Revolución azul (2017). ^d Water Footprint Network (2017). ^e Adaptado de Mendoza Rojas & Conza Salas (2016). ^f Chaffee & Yaros (s.f.). ^g King & Webber (2008). ^h Adaptado de Fundación Chile y ONG Agualimpia (2017). ⁱ Adaptado de Alfaro Flores (2018).

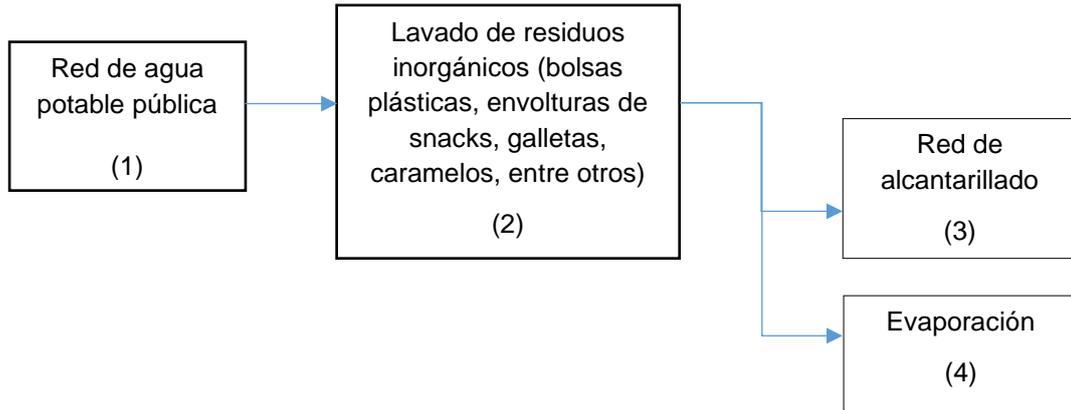
6.1.2. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual

6.1.2.1. Huella hídrica directa

Se cuantificaron todas las entradas y salidas relevantes del sistema analizado, que pudieron contribuir de manera significativa a los impactos ambientales relacionados con el uso del agua.

Balance Hídrico

El total de agua que ingresó al sistema corresponde al agua potable de la Red pública de SEDAPAL en Lima, la cual fue utilizada para el lavado de los residuos inorgánicos (bolsas plásticas, envolturas de snacks, de galletas, de caramelos u otros similares). El principal flujo de salida fue el agua evaporada debido al secado de residuos (82%), mientras que, el monto restante corresponde a la descarga del efluente al alcantarillado (18%). En la Figura 9 se detalla el diagrama de flujo del estudio de caracterización virtual.

Figura 9. Diagrama de flujos del estudio de caracterización virtual

Nota. Elaboración propia.

Para determinar el volumen de agua de ingreso mediante la Red de agua potable pública, se realizaron 5 repeticiones en la medición del volumen de agua empleado para lavar los residuos inorgánicos previamente de ser introducidos al ecoladrillo⁵. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 14. Además, las fotografías tomadas durante el proceso de medición se muestran en el Anexo 3.

Tabla 14. Cálculo del volumen de agua utilizada para el lavado de residuos en el estudio de caracterización virtual

| N° de medición | Volumen de agua (m ³) | Residuos previo lavado (Kg) |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.0335 | 0.4 |
| 2 | 0.0310 | |
| 3 | 0.0340 | |
| 4 | 0.0325 | |
| 5 | 0.0320 | |
| Total | 0.0326 | 0.4 |
| Ratio del efluente (m³/Kg) | | 0.08 |
| Residuos caracterizados para ser introducidos al ecoladrillo (Kg) | | 29.25 |
| Volumen de agua utilizada para el lavado de los residuos (m³) | | 2.38 |

Nota. Elaboración propia.

⁵ Consiste en una botella de plástico rellena de elementos plásticos usados, limpios y secos. Son una alternativa sostenible ya que se utilizan para fabricar muebles modulares, espacios de jardín, paredes, etc.

Asimismo, el consumo de agua estuvo definida por la evaporación, la cual se generó por el secado de residuos. Para determinar el porcentaje de evaporación se empleó el software CropWat 8.0 (programa libre), el cual es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones, desarrollada por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

Cabe mencionar que se empleó la base de datos climática ClimWat 2.0 (libre de acceso), la cual se utiliza en combinación con el programa CropWat, y permite el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos, el suministro de riego y la programación de riego para varios cultivos para una variedad de estaciones climatológicas de todo el mundo (FAO, 2005).

En la Tabla 15 se muestran los datos de la Estación Lima. Asimismo, en la Figura 10 se muestran los datos de precipitación efectiva (mm/día) mensual, los cuales permiten determinar el volumen total de agua evaporada. Cabe mencionar que se consideró el mes de setiembre debido a que, el estudio de caracterización virtual fue realizado en dicho periodo.

En la Tabla 16 se muestra el cálculo del consumo de agua evaporada por el lavado de residuos inorgánicos, para el cual se consideraron los 33 hogares que participaron del estudio de caracterización virtual. Adicionalmente, se consideró el área referencial ocupada por persona (m²) de cada hogar para el lavado de residuos inorgánicos y la cantidad de días que desarrollaron el estudio.

Tabla 15. Estación Lima obtenida mediante el software *ClimWat 2.0 for CropWat*

| Estación | Altitud (m) | Latitud (°S) | Longitud (°W) |
|----------|-------------|--------------|---------------|
| Lima | 36 | 12.01 | 77.01 |

Nota. Programa de libre acceso. FAO, 2005

Figura 10. Precipitación efectiva (mm/día) mensual obtenida mediante el software *ClimWat 2.0 for CropWat*

| Month | Min Temp °C | Max Temp °C | Humidity % | Wind km/day | Sun hours | Rad MJ/m ² /day | ETo mm/day |
|-----------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-------------------------------|---------------|
| January | 18.9 | 27.8 | 90 | 233 | 5.1 | 18.1 | 3.43 |
| February | 19.4 | 28.3 | 86 | 199 | 6.0 | 19.4 | 3.90 |
| March | 18.9 | 28.3 | 85 | 199 | 6.2 | 19.0 | 3.85 |
| April | 17.2 | 26.7 | 88 | 199 | 5.8 | 16.9 | 3.23 |
| May | 15.6 | 23.3 | 97 | 173 | 3.9 | 12.7 | 2.09 |
| June | 13.3 | 20.0 | 99 | 138 | 1.4 | 8.8 | 1.42 |
| July | 12.2 | 19.4 | 97 | 173 | 1.0 | 8.5 | 1.37 |
| August | 11.1 | 18.9 | 100 | 199 | 0.9 | 9.3 | 1.34 |
| September | 12.2 | 20.0 | 97 | 199 | 1.4 | 11.1 | 1.70 |
| October | 12.2 | 21.7 | 97 | 199 | 2.5 | 13.6 | 2.12 |
| November | 13.3 | 23.3 | 97 | 233 | 3.7 | 15.8 | 2.48 |
| December | 13.3 | 25.5 | 100 | 233 | 4.8 | 17.6 | 2.72 |
| Average | 14.8 | 23.6 | 94 | 198 | 3.6 | 14.2 | 2.47 |

Nota. Programa de libre acceso. Adaptado de *ClimWat 2.0 for CropWat*, de FAO, 2005. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>.

Tabla 16. Cálculo de consumo de agua evaporada del estudio de caracterización virtual

| Actividad | Eto (mm/d) | Eto (m/d) | días | Área ocupada (m ²) | Evaporación (m ³) | N° de hogares | Evaporación total de agua (m ³) |
|---|---------------|--------------|------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------|---|
| ^a Lavado de residuos inorgánicos | 1.70 | 0.0017 | 7 | 5 | 0.0595 | 33 | 1.96 |

Nota. ^a Es realizado por cada uno de los participantes de diferentes viviendas del distrito.

De acuerdo con los cálculos del balance hídrico presentado en la Tabla 17, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización virtual es 0.0034 m³ de agua de uso directo.

Tabla 17. Balance hídrico del estudio de caracterización virtual

| | Flujos de entrada | = | Flujos de salida | |
|---|-----------------------------|---|-------------------------------|-------------|
| Nombre de Flujo | Red de agua potable pública | = | Vertimiento al alcantarillado | Evaporación |
| m ³ | 2.38 | = | 0.42 | 1.96 |
| Residuos caracterizados (kg) | | | 583.12 | |
| Agua movilizada (m³) | | | 2.38 | |
| Huella Hídrica directa (m³) | | | 1.96 | |
| Huella Hídrica directa (m³/Kg de residuo caracterizado) | | | 0.0034 | |

Nota. Elaboración propia.

6.1.2.2. Huella hídrica indirecta

Se calculó un estimado de la Huella Hídrica de los principales insumos y recursos utilizados por el estudio de caracterización virtual con la finalidad de mostrar la importancia de los impactos generados por los mismos.

La Tabla 18 muestra los insumos representativos (Anexo 2) de la cadena de suministro y la energía eléctrica utilizada en el estudio de caracterización virtual.

Además, la Tabla 19 muestra el consumo de bolsas de polietileno en el estudio de caracterización virtual.

Por otra parte, la Tabla 20 muestra el consumo de energía eléctrica en el estudio de caracterización virtual.

Tabla 18. Cadena de suministro y energía eléctrica utilizada en el estudio de caracterización virtual

| Insumo y recursos | ¿Para qué actividad se utiliza este insumo? |
|------------------------------|--|
| CADENA DE SUMINISTROS | |
| Bolsas plásticas | Utilizado para la segregación de residuos dentro de la vivienda. *Las bolsas se consiguen por parte de los participantes del distrito de Comas. |
| ENERGÍA ELÉCTRICA | |
| Energía eléctrica | Utilizado para el funcionamiento de equipos eléctricos para las capacitaciones virtuales a los voluntarios. |

Nota. ETRS FIA-UNI (2020)

Tabla 19. Consumo de bolsas de polietileno en el estudio de caracterización virtual

| | Tipo | N° de bolsas | Cantidad de voluntarios | N° total de bolsas |
|--|---------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|
| Bolsas de polietileno de baja densidad | Residuos orgánicos | 8 | 33 | 264 |
| | Residuos inorgánicos | 1 | 33 | 33 |
| | Residuos peligrosos | 1 | 33 | 33 |
| | Residuos sanitarios | 8 | 33 | 264 |
| | Residuos no aprovechables | 8 | 33 | 264 |
| | Total | | | |

Nota. Datos estimados provenientes del ETRS FIA-UNI (2020)

Tabla 20. Consumo de energía eléctrica en el estudio de caracterización virtual

| Actividad | Equipos empleados | Potencia (kW) | Tiempo (horas) | N° de veces realizada la actividad | N° de participantes | Consumo de energía (Kw.h) |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|----------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------|
| Capacitación al equipo técnico | laptop | 0.2 | 2 | 2 | 15 | 12.00 |
| Seguimiento de actividades | laptop | 0.2 | 1 | 10 | 2 | 4.00 |
| Elaboración de material publicitario | laptop | 0.2 | 6 | 2 | 2 | 4.80 |
| Elaboración de capacitación | laptop | 0.2 | 3 | 2 | 4 | 4.80 |
| Inscripción | laptop | 0.2 | 0.17 | 1 | 25 | 0.85 |
| | celular | 0.015 | 0.17 | 1 | 8 | 0.02 |
| Llenado de formulario digital 1 | laptop | 0.2 | 0.17 | 1 | 25 | 0.85 |
| | celular | 0.01 | 0.17 | 1 | 8 | 0.01 |
| Llenado de formulario digital 2 | laptop | 0.2 | 0.17 | 1 | 25 | 0.85 |
| | celular | 0.01 | 0.17 | 1 | 8 | 0.01 |
| Capacitaciones a los participantes | laptop | 0.2 | 2.00 | 3 | 15 | 18.00 |
| | celular | 0.01 | 2.00 | 2 | 12 | 0.48 |
| | PC escritorio | 0.4 | 2.00 | 2 | 7 | 11.20 |
| Lectura de correos | laptop | 0.2 | 0.08 | 4 | 15 | 0.96 |
| | celular | 0.01 | 0.08 | 4 | 12 | 0.38 |
| | PC escritorio | 0.4 | 0.08 | 4 | 7 | 0.90 |
| Total (Kw.h) | | | | | | 60.11 |

Nota. Datos estimados provenientes del ETRS FIA-UNI (2020)

La Tabla 21 muestra el cálculo del consumo de insumos de la cadena de suministro y de la energía eléctrica utilizado en el estudio de caracterización virtual.

Tabla 21. *Cálculo del consumo de insumos y de la energía eléctrica en el estudio de caracterización virtual*

| INSUMOS Y RECURSOS | D A T O S | | | | |
|---|---------------------|--|----------|-------|-------------------------------------|
| | | CONCEPTO | UNIDAD | VALOR | FUENTE DE INFORMACIÓN |
| Bolsas de polietileno de baja densidad | Dato | Consumo de bolsas por estudio | Unidades | 858 | ETRS-FIA-UNI <i>Ver Tabla 19</i> |
| | Dato | Peso de bolsa por unidad | Kg | 0.100 | Elaboración propia |
| | Resultado procesado | Consumo de bolsas por estudio | Kg | 85.8 | Elaboración propia |
| Energía eléctrica | Resultado procesado | Consumo de energía eléctrica por estudio | Kw.h | 60.11 | <i>Ver Tabla 20</i> |

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 22 muestra los volúmenes de agua consumidos de forma indirecta evidenciado a través del estudio de caracterización virtual.

Según los cálculos de consumo de agua indirecta, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización virtual es 0.00172 m³ de agua de uso indirecto.

Cabe mencionar que el cálculo de la Huella indirecta es referencial, ya que solo se han incluido los insumos considerados significativos para el estudio.

Tabla 22. *Inventario de la Huella Hídrica indirecta del estudio de caracterización virtual*

| Insumo | Cantidad de insumo | Unidad | Factor de caracterización (FC) | Unidad | Huella indirecta (m ³) |
|---|--------------------|--------|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Bolsas de polietileno | 858 | Unidad | 0.00003 ^a | m ³ /unidad | 0.03 |
| Energía eléctrica | 60.11 | Kw.h | 0.0163 ^b | m ³ /Kw.h | 0.98 |
| Total (m³) | | | | | 1.01 |
| Residuos caracterizados (kg) | | | | | 583.12 |
| Huella Hídrica indirecta (m³/Kg de residuo caracterizado) | | | | | 0.0017 |

Nota. ^a Chaffee & Yaros (s.f.). ^b Adaptado de Alfaro Flores (2018).

6.2. Resultados: Evaluación de impacto de la huella hídrica

6.2.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional

6.2.1.1. Categoría de Impacto de uso de agua

6.2.1.1.1. Huella de Escasez - Impacto de punto medio

a) Huella de Escasez de agua directa

Debido a que en el estudio de caracterización convencional la huella hídrica directa es cero (Ver Tabla 6), esta no presenta un impacto en la disponibilidad de agua y por ende la huella de escasez de agua directa es cero.

b) Huella de Escasez de agua indirecta

Para determinar la huella de escasez se utilizó el indicador AWARE (agua disponible restante) cuya unidad es m^3 de agua mundial-equivalente/ m^3 de un determinado consumo de agua.

En la Tabla 23 se muestra el valor promedio de nivel de subcuencas hidrográficas mensuales obtenidos del indicador AWARE en el departamento de Lima, lugar donde se realizó el estudio. Para ello se empleó Google Earth 2021 con la versión 1.2 AWARE (WULCA, 2016). Este valor promedio es empleado para los insumos y recursos de uso de agua indirecto (cadena de suministro y combustible) en el estudio de caracterización convencional.

Adicionalmente, en la Tabla 23 se muestra el valor a nivel de país (Perú) del indicador AWARE, el cual será empleado para hallar la escasez que genera el consumo de energía eléctrica en el estudio de caracterización convencional.

Tabla 23. Indicador AWARE (promedio anual) a nivel de Lima y Perú

| Lugar | AWARE (m^3 -eq/ m^3) |
|------------|----------------------------|
| Dpto. Lima | 16.41 |
| Perú | 27.79 |

Nota. Aware v1.2 (2016).

En la Tabla 24 se muestra la huella de escasez de agua indirecta evidenciada a través del estudio de caracterización convencional, la cual indica que quedan 3.181 m^3 -eq menos de agua disponible en la región de procedencia del insumo o recurso por un (01) Kilogramo de residuo sólido domiciliario caracterizado.

Tabla 24. Huella de escasez de agua indirecta del estudio de caracterización convencional

| Insumos y recursos | Consumo de agua (m ³) | AWARE (m ³ -eq/m ³) | IMPACTO POR DISPONIBILIDAD (m ³ -eq) |
|---|-----------------------------------|--|---|
| Arroz | 243.60 | 16.41 | 3997.48 |
| Pollo | 162.19 | 16.41 | 2661.50 |
| Pimiento | 0.93 | 16.41 | 15.32 |
| Queso | 47.67 | 16.41 | 782.26 |
| Bebidas de agua | 0.16 | 16.41 | 2.56 |
| Bolsas de polietileno | 0.06 | 16.41 | 1.02 |
| Diésel- recolector de residuos | 1.85 | 16.41 | 30.33 |
| Diésel- voluntarios y choferes | 0.99 | 16.41 | 16.25 |
| Energía eléctrica | 0.35 | 27.79 | 9.79 |
| Total (m³-eq) | | | 7516.50 |
| Residuos caracterizados (kg) | | | 2363.26 |
| Huella de escasez indirecta (m³-eq/Kg de residuo caracterizado) | | | 3.18 |

Nota. Elaboración propia.

6.2.1.1.2. Salud humana - Impacto de punto final

a) Impacto en la salud humana por el consumo de agua directa

Debido a que en el estudio de caracterización convencional el consumo de agua directa evidenciado es cero (Ver Tabla 6), no se generan impactos en la salud humana por dicho consumo.

b) Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta

En la Tabla 25 se muestra el impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta, el cual indica que por el consumo de insumos y recursos (combustible y energía eléctrica) se evidenciaron 4.32E-7 pérdidas de años de vida en las personas debido a la desnutrición por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 25. Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización convencional

| Insumos y recursos | Consumo de agua (m ³) | Impacto de punto final: Salud Humana | |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| | | ^a DALY/m ³ | DALY (años de vida ajustado por discapacidad) |
| Arroz | 243.60 | 2.22E-6 | 5.41E-4 |
| Pollo | 162.19 | 2.22E-6 | 3.60E-4 |
| Pimiento | 0.93 | 2.22E-6 | 2.07E-6 |
| Queso | 47.67 | 2.22E-6 | 1.06E-4 |
| Bebidas de agua | 0.16 | 2.22E-6 | 3.46E-7 |
| Bolsas de polietileno | 0.06 | 2.22E-6 | 1.39E-7 |
| Diésel- recolector de residuos | 1.85 | 2.22E-6 | 4.10E-6 |
| Diésel-voluntarios y choferes | 0.99 | 2.22E-6 | 2.20E-6 |
| Energía eléctrica | 0.35 | 2.22E-6 | 7.82E-7 |
| Total (DALY) | | | 1.02E-3 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 2363.26 |
| Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta (DALY/ Kg de residuo caracterizado) | | | 4.32E-7 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

6.2.1.1.3. Ecosistemas de agua dulce - Impacto de punto final

a) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa

Debido a que en el estudio de caracterización convencional el consumo de agua directa evidenciado es cero (Ver Tabla 6), no se generan impactos en los ecosistemas de agua dulce por dicho consumo.

b) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta

En la Tabla 26 se muestra el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta, el cual indica que por el consumo de insumos y recursos (combustible y energía eléctrica) se evidenciaron 1.17E-13 pérdidas relativas locales de especies por año para un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 26. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización convencional

| Insumos y recursos | Consumo de agua (m ³) | Impacto de punto final: Ecosistema de agua dulce | |
|--|-----------------------------------|--|--|
| | | ^a especies.año/m ³ | especies.año (pérdida de especies por año) |
| Arroz | 243.60 | 6.04E-13 | 1.47E-10 |
| Pollo | 162.19 | 6.04E-13 | 9.80E-11 |
| Pimiento | 0.93 | 6.04E-13 | 5.64E-13 |
| Queso | 47.67 | 6.04E-13 | 2.88E-11 |
| Bebidas de agua | 0.16 | 6.04E-13 | 9.40E-14 |
| Bolsas de polietileno | 0.06 | 6.04E-13 | 3.77E-14 |
| Diésel-recolector de residuos | 1.85 | 6.04E-13 | 1.12E-12 |
| Diésel-voluntarios y choferes | 0.99 | 6.04E-13 | 5.98E-13 |
| Energía eléctrica | 0.35 | 6.04E-13 | 2.13E-13 |
| Total (especies.año) | | | 2.77E-10 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 2363.26 |
| Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta (especies.año/ Kg de residuo caracterizado) | | | 1.17E-13 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

6.2.1.2. Categoría de Impacto de eutrofización de agua dulce

6.2.1.2.1. Huella de Eutrofización de agua dulce -Impacto de punto medio

a) Huella de eutrofización de agua directa

Para determinar el impacto de punto medio por eutrofización de agua directa se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Huella de eutrofización}_{directa} = m_{P\ total} * FC_{eutrofización} \quad (1)$$

Donde:

- **Huella de eutrofización_{directa}**: Huella de eutrofización de agua directa (Kg P eq)
- **m_{P total}**: Masa de fósforo total liberada en el volumen de las aguas residuales domésticas proveniente del estudio (Kg P total)
- **FC_{eutrofización}**: Factor de caracterización para eutrofización de agua dulce (Kg P eq/ Kg P total)

Asimismo, para calcular la cantidad de fósforo (Kg P total) a partir de las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se obtuvo según bibliografía (Alfaro Flores, 2018) que la relación de DBO₅/P es 100/1.

$$m_{P\ total} = DBO * \frac{1}{100} * V_{residuales} \quad (2)$$

Donde:

- $m_{P\ total}$: Masa de fósforo total liberada en el volumen de agua residual doméstica (Kg P total).
- DBO : Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el volumen de las aguas residuales domésticas (Kg/ m³)
- $V_{residuales}$: Volumen de las aguas residuales domésticas (m³)

Cabe mencionar que según revisión bibliográfica se compararon estudios para obtener la concentración de DBO, de la cual se escogió el estudio de Canales López & Sevilla Carpio, (2016) porque presentó mayor cantidad de puntos de monitoreo. Se obtuvo 0.12 Kg/m³ de concentración de DBO para el volumen de las aguas residuales domésticas proveniente del distrito de Pátapo, ubicado en la costa norte del Perú, en la parte sur este de la región Lambayeque. Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (2):

$$m_{P\ total} = DBO * \frac{1}{100} * V_{residual}$$

$$m_{P\ total} = 0.12 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1}{100} * 5.7m^3$$

$$m_{P\ total} = 0.00684\ Kg\ P\ total$$

En la Tabla 27 se muestra la huella de eutrofización en Kilogramos de fósforo equivalente (Kg P eq) obtenido por el vertimiento de las aguas residuales domésticas al alcantarillado (Ver Tabla 6). La huella de eutrofización de agua directa en dicho estudio por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado es de 2.9E-6 Kg P eq.

Tabla 27. Huella de eutrofización de agua directa del estudio de caracterización convencional

| Vertimiento al alcantarillado (m ³) (a) | DBO (Kg/m ³) (b) | DBO en vertimiento (Kg) (a)x(b) | P total (kg) | Factor de caracterización (kg P eq/kg P total) ^a | Huella de eutrofización directa (kg P eq) |
|---|------------------------------|---------------------------------|--------------|---|---|
| 5.7 | 0.12 | 0.684 | 0.00684 | 1 | 0.00684 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | | | 2363.26 |
| Huella de eutrofización directa (Kg P eq/ Kg de residuo caracterizado) | | | | | 2.9E-6 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

b) Huella de eutrofización de agua indirecta

Para determinar el impacto de punto medio por eutrofización de agua indirecta se empleó la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Huella\ de\ eutrofización}_{indirecta} = C_{insumo} * FC_{eutrofización} \quad (3)$$

Donde:

- **$Huella\ de\ eutrofización_{indirecta}$** : Huella de eutrofización de agua indirecta (Kg P eq)
- **C_{insumo}** : Consumo total en el estudio de caracterización por la Unidad funcional (UF) de cada insumo
- **$FC_{eutrofización}$** : Factor de caracterización para eutrofización de agua dulce por UF de cada insumo (Kg P eq/ UF)

En la Tabla 28 según los cálculos realizados se muestra que la huella de eutrofización de agua indirecta evidenciada en dicho estudio por un (01) kilogramo de residuo caracterizado es 3.99E-4 Kg P eq.

Tabla 28. Huella de eutrofización de agua indirecta en el estudio de caracterización convencional

| Insumos y recursos | Conversión a Kg P eq/ UF | Unidad | Insumo | | Kg P eq (por insumo) |
|---|--------------------------------|--------------------|----------|--------|-------------------------|
| | | | Cantidad | Unidad | |
| Arroz | 0.0012 ^a | Kg P eq/ Kg | 37.5 | Kg | 0.0458 |
| Pollo | 0.0084 ^b | kg P eq/Kg | 37.5 | Kg | 0.3143 |
| Pimiento | 0.0011 ^c | Kg P eq/ kg | 11.25 | Kg | 0.0126 |
| Queso | 0.0141 ^d | Kg P eq/Kg | 15 | Kg | 0.2115 |
| Bebidas de agua | 0.000063 ^e | Kg P eq/L | 90 | L | 0.0056 |
| Bolsas | 0.0000016 ^f | Kg P eq/ unidad | 2080 | Unidad | 0.0034 |
| Diésel- recolector de residuos | 0.000037 ^g | Kg P eq/ Km | 5600 | Km | 0.2055 |
| Diésel- voluntarios y choferes | 0.000037 ^g | Kg P eq/ Km | 3000 | Km | 0.1101 |
| Energía eléctrica | 0.0015 ^h | Kg P eq/ Kwh | 21.61 | Kwh | 0.0335 |
| Total (Kg P eq) | | | | | 0.94 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | | | 2363.26 |
| Huella de eutrofización indirecta (Kg P eq/ Kg de residuo caracterizado) | | | | | 3.99E-4 |

Nota. ^a Jimmy, Khan, Hossain, & Sujauddin (2017). ^b Skunca, Tomasevic, Nastasijevic, Tomovic, & Djekic (2018). ^c Cellura, Longo, & Mistretta (2012). ^d Soares Cabral, Elabras Veiga, Araújo, & Quiterio de Souza (2020). ^e Garcia-Suarez, et al. (2019). ^f (Rattana & Gheewala (2019). ^g Bicer & Dincer (2018). ^h Lechón, De La Rúa, & Cabal (2018)-COES (2020).

6.2.1.2.2. Ecosistemas de agua dulce -Impacto de punto final

a) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa

En la Tabla 29 se muestra el impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa, el cual indica que por el vertimiento de las aguas residuales al alcantarillado se evidenciaron 1.94E-12 pérdidas de especies al año por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 29. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa en el estudio de caracterización convencional

| Vertimiento al alcantarillado | Kg P eq total | Punto final: Eutrofización- ecosistema de agua dulce | |
|---|---------------|--|--|
| | | especies.año /kg P eq* | especies.año (pérdida de especies por año) |
| | 0.00684 | 6.71E-7 | 4.59E-9 |
| Total (especies.año) | | | 4.59E-9 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 2363.26 |
| Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa (especies.año/ Kg de residuo caracterizado) | | | 1.94E-12 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

b) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta

En la Tabla 30 se muestra el impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta, el cual indica que por el consumo de insumos, combustible y energía eléctrica se evidenciaron 2.67E-10 pérdidas de especies al año por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 30. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta del estudio de caracterización convencional

| Insumos y recursos | Punto medio: Eutrofización de agua dulce | Punto final: Eutrofización- ecosistema de agua dulce | |
|---|--|--|--|
| | Kg P eq total (por insumo) | ^a especies.año/kg P eq | especies.año (pérdida de especies por año) |
| Arroz | 0.0458 | 6.71E-7 | 3.07E-8 |
| Pollo | 0.3143 | 6.71E-7 | 2.11E-7 |
| Pimiento | 0.0126 | 6.71E-7 | 8.47E-9 |
| Queso | 0.2115 | 6.71E-7 | 1.42E-7 |
| Bebidas de agua | 0.0056 | 6.71E-7 | 3.77E-9 |
| Bolsas | 0.0034 | 6.71E-7 | 2.26E-9 |
| Diésel-recolector de residuos | 0.2055 | 6.71E-7 | 1.38E-7 |
| Diésel-voluntarios y choferes | 0.1101 | 6.71E-7 | 7.39E-8 |
| Energía eléctrica | 0.0335 | 6.71E-7 | 2.25E-8 |
| Total (especies.año) | | | 6.32E-7 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 2363.26 |
| Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta (especies.año/ Kg de residuo caracterizado) | | | 2.67E-10 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

6.2.2. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual

6.2.2.1. Categoría de Impacto de uso de agua

6.2.2.1.1. Huella de Escasez- Impacto de punto medio

a) Huella de Escasez de agua directa

Para determinar la huella de escasez se utilizó el indicador AWARE (agua disponible restante) cuya unidad es m^3 de agua mundial-equivalente/ m^3 de un determinado consumo de agua.

En la Tabla 23 se muestra el valor promedio de nivel de subcuencas hidrográficas mensuales obtenidos del indicador AWARE en el departamento de Lima, lugar donde se realizó el estudio. Para ello se empleó Google Earth 2021 con la versión 1.2 AWARE (WULCA, 2016). Se empleó el indicador AWARE promedio del mes de setiembre el cual es de $15.49 m^3\text{-eq}/m^3$, debido a que en este mes se realizó el estudio de caracterización virtual.

En la Tabla 31 se muestra la huella de escasez de agua directa evidenciada a través del estudio de caracterización virtual, la cual indica que quedan $0.052 m^3\text{-eq}$ menos de agua disponible a nivel del departamento de Lima por un (01) Kilogramo de residuo sólido domiciliario caracterizado. Cabe mencionar que el consumo por uso de agua directa es de $1.96 m^3$. (Ver Tabla 17)

Tabla 31. Huella de escasez de agua directa del estudio de caracterización virtual

| Mes | Consumo de agua (m^3) | AWARE ($m^3\text{-eq}/m^3$) | IMPACTO POR DISPONIBILIDAD ($m^3\text{-eq}$) |
|---|---------------------------|-------------------------------|--|
| Setiembre | 1.96 | 15.49 | 30.36 |
| Residuos caracterizados (kg) | | | 583.91 |
| Huella de escasez directa ($m^3\text{-eq}/Kg$ de residuo caracterizado) | | | 0.052 |

Nota. Elaboración propia.

b) Huella de Escasez de agua indirecta

Para determinar la huella de escasez se utilizó el indicador AWARE (agua disponible restante) cuya unidad es m^3 de agua mundial-equivalente/ m^3 de un determinado consumo de agua.

En la Tabla 23 se muestra el valor promedio de nivel de subcuencas hidrográficas mensuales obtenidos del indicador AWARE en el departamento de Lima, lugar donde se realizó el estudio. Para ello se empleó Google Earth 2021 con la versión 1.2 AWARE (WULCA, 2016). Estos valores serán empleados de manera anual para los insumos y recursos de consumo de agua indirecta (cadena de suministro y energía eléctrica) en el estudio de caracterización virtual.

Asimismo, en la Tabla 23 se muestra el valor a nivel de país (Perú) del indicador AWARE, el cual será empleado para el consumo de agua indirecto por energía eléctrica en el estudio de caracterización virtual.

En la Tabla 32 se muestra la huella de escasez de agua indirecta evidenciada a través del estudio de caracterización virtual, la cual indica que quedan 0.047 m³-eq menos de agua disponible en la región de procedencia del insumo o recurso por un (01) Kilogramo de residuo sólido domiciliario caracterizado.

Tabla 32. *Huella de escasez de agua indirecta del estudio de caracterización virtual*

| Insumo y recurso | Consumo de agua (m ³) | AWARE (m ³ -eq/m ³) | IMPACTO POR DISPONIBILIDAD (m ³ -eq) |
|---|-----------------------------------|--|---|
| Bolsas de polietileno | 0.03 | 16.41 | 0.42 |
| Energía eléctrica | 0.98 | 27.79 | 27.23 |
| Total (m³-eq/Kg) | | | 27.65 |
| Residuos caracterizados (kg) | | | 583.91 |
| Huella de escasez indirecta (m³-eq/Kg de residuo caracterizado) | | | 0.047 |

Nota. Elaboración propia.

6.2.2.1.2. Salud humana- Impacto de punto final

a) Impacto en la salud humana por el consumo de agua directa

En la Tabla 33 se muestra el impacto en la salud humana por el consumo de agua directa, el cual indica que por el consumo de agua evaporada (Ver Tabla 17) se evidenciaron 7.46E-9 pérdidas de años de vida en las personas ajustados por discapacidad por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 33. *Impacto en la salud humana por el consumo de agua directa en el estudio de caracterización virtual*

| Evaporación | Consumo de agua (m ³) | Impacto de punto final: Salud Humana | |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| | | ^a DALY/m ³ | DALY (años de vida ajustado por discapacidad) |
| | 1.96 | 2.22E-6 | 4.35E-6 |
| Total (DALY) | | | 4.35E-6 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 583.12 |
| Impacto en la salud humana por el consumo de agua directa (DALY/ Kg de residuo caracterizado) | | | 7.46E-9 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

b) Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta

En la Tabla 34 se muestra el impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta, el cual indica que por el consumo de bolsas de polietileno y energía eléctrica se evidenciaron 3.84E-9 pérdidas de años de vida en las personas ajustados por discapacidad por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 34. Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización virtual

| Insumo y recurso | Consumo de agua (m ³) | Impacto de punto final: Salud Humana | |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| | | ^a DALY/m ³ | DALY (años de vida ajustado por discapacidad) |
| Bolsas de polietileno | 0.03 | 2.22E-6 | 6.66E-8 |
| Energía eléctrica | 0.98 | 2.22E-6 | 2.18E-6 |
| Total (DALY) | | | 2.24E-6 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 583.12 |
| Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta (DALY/ Kg de residuo caracterizado) | | | 3.84E-9 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

6.2.2.1.3. Ecosistemas de agua dulce - Impacto de punto final

a) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa

En la Tabla 35 se muestra el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa, el cual indica que por el consumo de agua evaporada (Ver Tabla 17) se evidenciaron 2.02E-15 pérdidas de especies por año para un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 35. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa en el estudio de caracterización virtual

| Evaporación | Consumo de agua (m ³) | Impacto de punto final: Ecosistema de agua dulce | |
|--|-----------------------------------|--|--|
| | | ^a especies.año/m ³ | especies.año (pérdida de especies por año) |
| | 1.96 | 6.04E-13 | 1.18E-12 |
| Total (especies.año) | | | 1.18E-12 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 583.12 |
| Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa (especies.año/ Kg de residuo caracterizado) | | | 2.02E-15 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

b) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta

En la Tabla 36 se muestra el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta, el cual indica que por el consumo de bolsas de polietileno y energía eléctrica se evidenciaron 1.05E-15 pérdidas de especies por año para un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 36. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta en el estudio de caracterización virtual

| Insumo y recurso | Consumo de agua (m ³) | Impacto de punto final: Ecosistema de agua dulce | |
|--|-----------------------------------|--|--|
| | | ^a especies.año/m ³ | especies.año (pérdida de especies por año) |
| Bolsas de polietileno | 0.03 | 6.04E-13 | 1.81E-14 |
| Energía eléctrica | 0.98 | 6.04E-13 | 5.92E-13 |
| Total (especies.año) | | | 6.10E-13 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 583.12 |
| Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta (especies.año/ Kg de residuo caracterizado) | | | 1.05E-15 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

6.2.2.2. Categoría de Impacto de eutrofización de agua dulce

6.2.2.2.1. Huella de Eutrofización de agua dulce -Impacto de punto medio

a) Huella de eutrofización de agua directa

Para determinar la masa de fósforo total liberada en el volumen de agua residual doméstica, se reemplaza los datos obtenidos en la ecuación (2) la cual es mencionada anteriormente:

$$m_{P\ total} = DBO * \frac{1}{100} * V_{residual}$$

$$m_{P\ total} = 0.12 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1}{100} * 0.42m^3$$

$$m_{P\ total} = 0.000504 Kg\ P\ total$$

En la Tabla 37 se muestra la huella de eutrofización en Kilogramos de fósforo equivalente (Kg P eq) obtenido por el vertimiento de aguas residuales domésticas al alcantarillado (Ver Tabla 17). La huella de eutrofización de agua directa en dicho estudio por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado es de 8.6E-7 Kg P eq.

Tabla 37. Huella de eutrofización de agua directa del estudio de caracterización virtual

| Vertimiento al alcantarillado (m ³) (a) | DBO (Kg/m ³) (b) | DBO en vertimiento (Kg) (a)x(b) | P total (kg) | Factor de caracterización (kg P eq/kg P total) ^a | Huella de eutrofización directa (kg P eq) |
|---|------------------------------|---------------------------------|--------------|---|---|
| 0.42 | 0.12 | 0.0504 | 0.000504 | 1 | 0.000504 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | | | 583.12 |
| Huella de eutrofización directa (Kg P eq/ Kg de residuo caracterizado) | | | | | 8.6E-7 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

b) Huella de eutrofización de agua indirecta

En la Tabla 38 según los cálculos realizados se muestra que la huella de eutrofización de agua indirecta evidenciada en dicho estudio por un (01) kilogramo de residuo caracterizado es de 5.9E-5 Kg P equivalente.

Tabla 38. Huella de eutrofización de agua indirecta en el estudio de caracterización virtual

| Insumo y recurso | Conversión a Kg P eq /UF | Unidad | Insumo | | Kg P eq (por insumo) |
|---|--------------------------|-----------------|----------|--------|----------------------|
| | | | Cantidad | Unidad | |
| Bolsas | 0.0000016 ^a | Kg P eq/ unidad | 2080 | Unidad | 0.0034 |
| Energía eléctrica | 0.0014 ^b | Kg P eq/ Kwh | 21.61 | Kwh | 0.0311 |
| Total (Kg P eq) | | | | | 0.0344 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | | | 583.12 |
| Huella de eutrofización indirecta (Kg P eq/ Kg de residuo caracterizado) | | | | | 5.9E-5 |

Nota. ^a Rattana & Gheewala (2019). ^b Lechón, De La Rúa, & Cabal (2018)- COES (2021).

6.2.2.2. Ecosistemas de agua dulce -Impacto de punto final

a) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa

En la Tabla 39 se muestra el impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa, la cual indica que por el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado se evidenciaron 5.8E-13 pérdidas de especies al año por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 39. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa del estudio de caracterización virtual

| Vertimiento al alcantarillado | Kg P eq total | Punto final: Eutrofización- ecosistema de agua dulce | |
|---|---------------|--|--|
| | | especies.año /kg P eq ^a | especies.año (pérdida de especies por año) |
| | 0.000504 | 6.71E-7 | 3.38E-10 |
| Total (especies.año) | | | 3.38E-10 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 583.12 |
| Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa (especies.año/ Kg de residuo caracterizado) | | | 5.8E-13 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

b) Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta

En la Tabla 40 se muestra el impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta, el cual indica que por el consumo de bolsas de polietileno y energía eléctrica se evidenciaron 3.96E-11 pérdidas de especies al año por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Tabla 40. Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta del estudio de caracterización virtual

| Insumo y recurso | Punto medio: Eutrofización de agua dulce | Punto final: Eutrofización- ecosistema de agua dulce | |
|---|---|--|--|
| | Kg P eq total (por insumo) | especies.año / kg P eq ^a | especies.año (pérdida de especies por año) |
| Bolsas | 0.00337 | 6.71E-7 | 2.26E-9 |
| Energía eléctrica | 0.03108 | 6.71E-7 | 2.09E-8 |
| Total (especies.año) | | | 2.31E-8 |
| Residuos caracterizados (Kg) | | | 583.12 |
| Impacto en ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta (especies.año/ Kg de residuo caracterizado) | | | 3.96E-11 |

Nota. ^a Huijbregts, et al. (2016). ReCiPe 2016 V1.1.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Análisis de inventario

Se presenta la interpretación de resultados del análisis de inventario realizado para los estudios de caracterización convencional y virtual. Se identificaron y cuantificaron los flujos de agua consumidos de forma directa e indirecta.

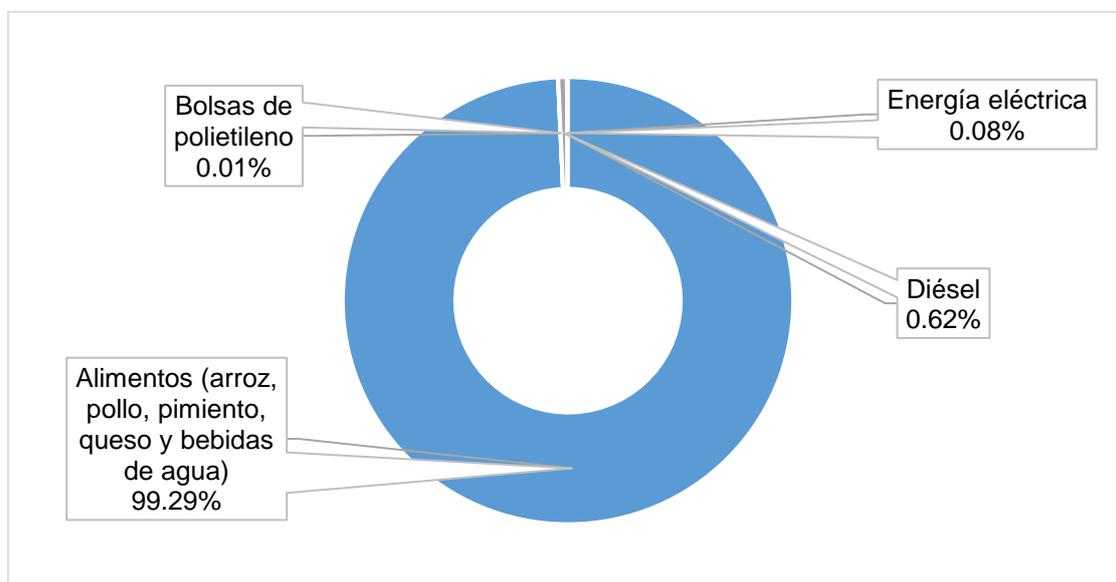
7.1.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional

De acuerdo a los datos recopilados, el volumen de agua consumida evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue de 457.80 m³, el cual fue realizado en el mes de julio del 2019. El consumo en su totalidad corresponde a la huella indirecta.

Adicionalmente, no se evidenció consumo de agua directa a través de este estudio ya que solo hay movilización de agua, es decir, el volumen de agua descargada es devuelto a la misma cuenca y está disponible para otras actividades.

Por otro lado, en la Figura 11 se muestra que el principal consumo de agua indirecta corresponde al uso de alimentos (arroz, pollo, pimienta, queso y bebidas de agua) con el 99.29%, el segundo lugar lo ocupa el diésel con el 0.62% y el tercer lugar, la energía eléctrica con el 0.08%, mientras que el monto restante es el 0.01% correspondiente a las bolsas de polietileno.

Figura 11. Consumo de agua indirecta del estudio de caracterización convencional



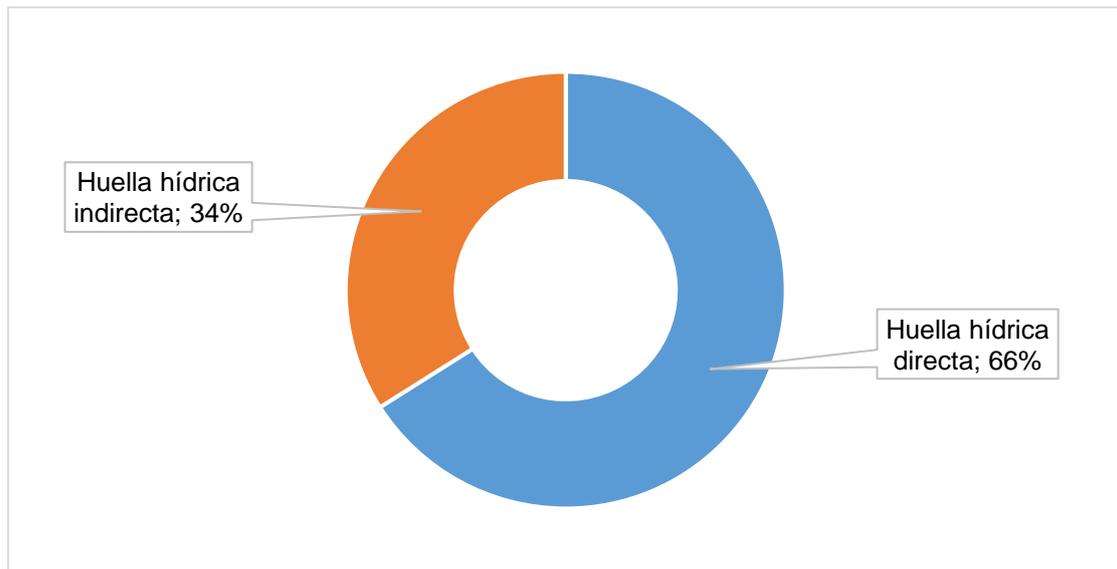
Nota. Elaboración propia

Asimismo, se puede concluir que, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de 190 litros de agua de uso directo e indirecto.

7.1.2. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual

De acuerdo a los datos recopilados, el volumen de agua consumida evidenciada a través del estudio de caracterización virtual fue de 2.97 m³, el cual fue realizado en el mes de setiembre del 2020. El 34% del consumo total, es decir 1.96 m³, fueron destinados al consumo de agua directa, mientras que el 66%, 1.01 m³, se emplearon en el consumo de agua indirecta. En la Figura 12 se muestra dicha relación.

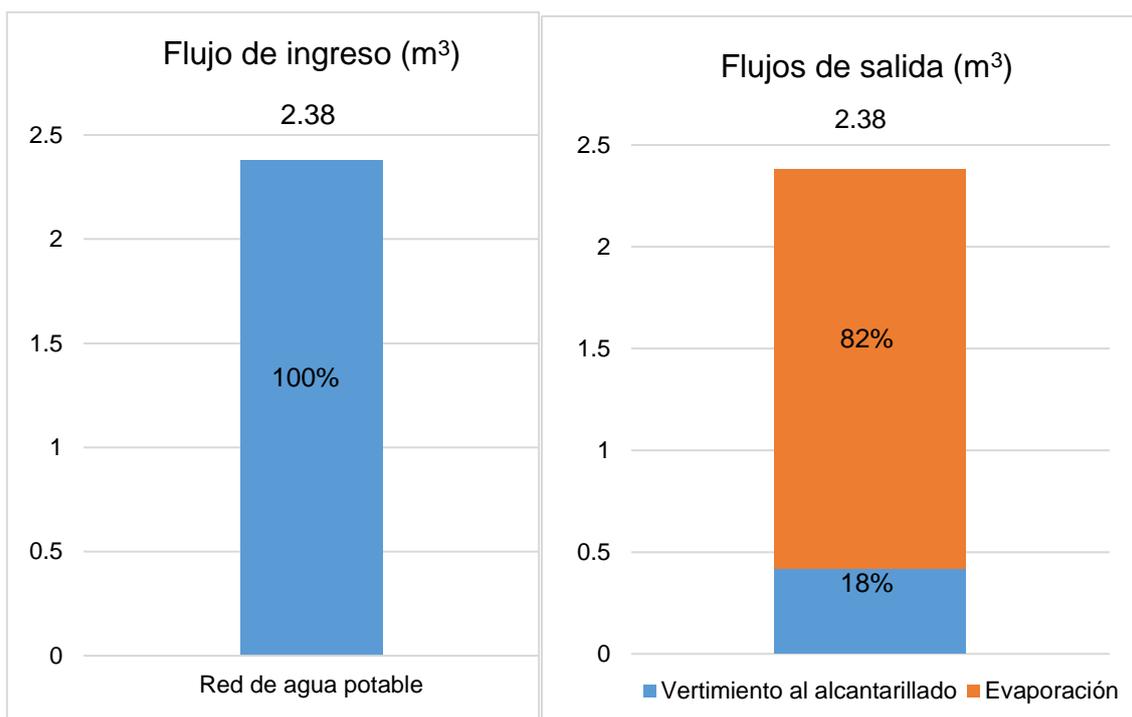
Figura 12. Consumo de agua directa e indirecta del estudio de caracterización virtual



Nota. Elaboración propia

Por otro lado, de acuerdo a la Figura 13, se observa que la totalidad del volumen de ingreso de agua proviene de la Red de agua potable pública, mientras que del volumen de salida de agua, el 82% se vierte al alcantarillado y el 18% se evapora.

Figura 13. Flujo de ingreso y salida de agua directa en el estudio de caracterización virtual

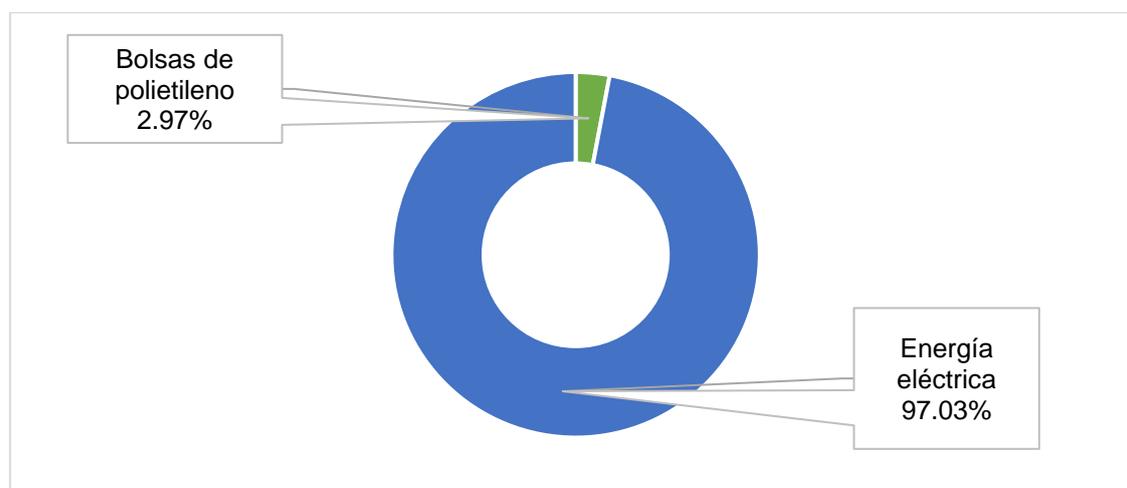


Nota. Elaboración propia

Asimismo, se puede concluir que, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue de 3.4 litros de agua de uso directo.

Por otro lado, en la Figura 14 se muestra que el principal consumo de agua indirecta corresponde al uso de energía eléctrica, el cual es el 97.03 %, mientras que las bolsas de polietileno son el monto restante con el 2.97%.

Figura 14. Consumo de agua indirecta del estudio de caracterización virtual



Nota. Elaboración propia

Asimismo, se puede concluir que, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue de 1.7 litros de agua de uso directo e indirecto.

7.1.3. Estudios de caracterización convencional y virtual basados en la huella hídrica

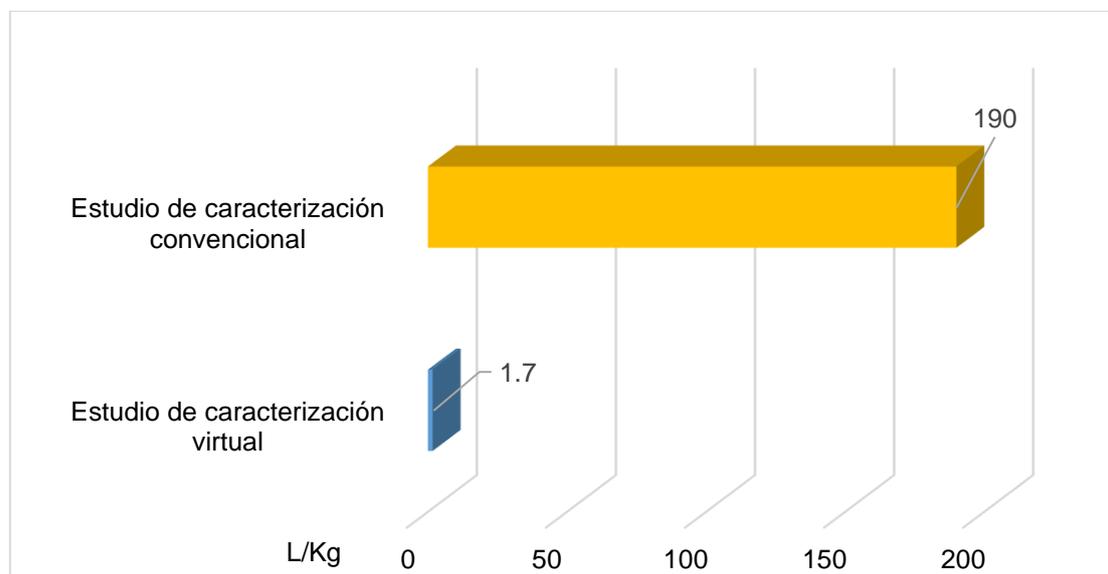
a) Huella directa

Debido a que en el estudio de caracterización convencional la huella hídrica directa fue cero, se puede concluir que, el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue 3.4 L más de agua directa por cada Kg de residuo caracterizado.

b) Huella indirecta

En la Figura 15 se muestra que el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue 188.3 litros más por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado que en el estudio de caracterización virtual, con lo que se concluye que el consumo evidenciado en el estudio de caracterización convencional fue 111 veces mayor que el consumo evidenciado en el estudio de caracterización virtual por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Figura 15. *Huella hídrica indirecta entre el Estudio de caracterización convencional y virtual*

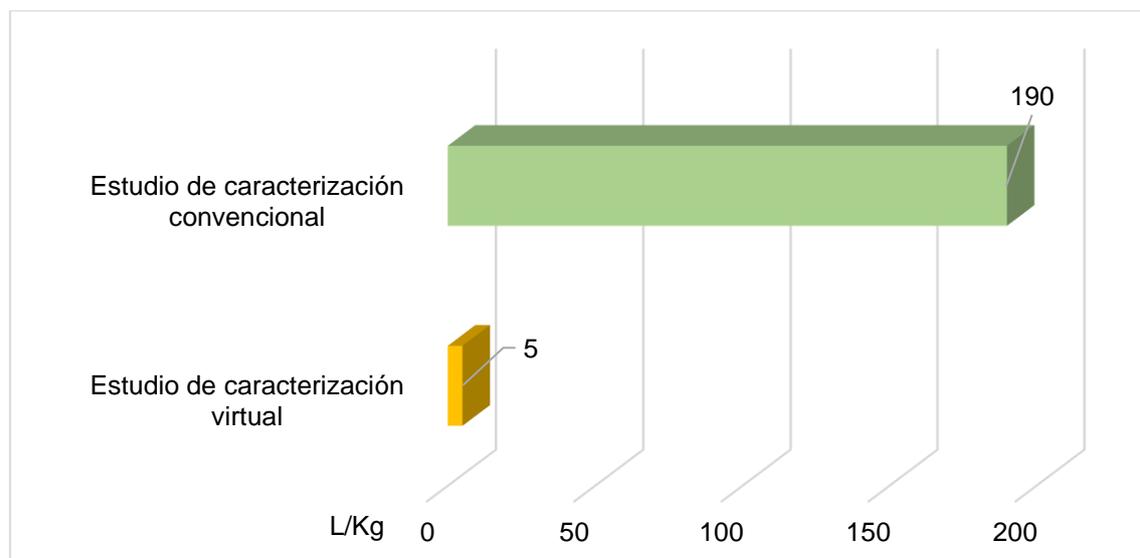


Nota. Elaboración propia

c) Huella hídrica total

En la Figura 16, se muestra que el consumo evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue 184.9 litros más por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado que en el estudio de caracterización virtual, con lo que se concluye que el consumo evidenciado en el estudio de caracterización convencional fue 36 veces mayor que el consumo evidenciado en el estudio de caracterización virtual por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Figura 16. Huella hídrica entre el Estudio de caracterización convencional y virtual



Nota. Elaboración propia

7.1.4. Discusión de resultados de análisis de inventario

- El resultado obtenido de la huella hídrica evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue 97.31% más que el evidenciado en el estudio de caracterización virtual, siendo un valor mayor al 75% como se menciona en la hipótesis.
- En el estudio de caracterización convencional, la huella hídrica directa evidenciada fue cero debido a que solo existe movilización de agua, sin embargo, en el estudio de caracterización virtual la huella hídrica directa estuvo determinada por la evaporación del agua cuyos datos fueron provenientes de fuentes secundarias (FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- En el estudio de caracterización convencional, la huella hídrica indirecta evidenciada estuvo determinada por el consumo de alimentos, bebida de agua, bolsas, combustible y electricidad cuyos factores de conversión provienen de fuentes secundarias de Perú (ANA-Autoridad Nacional del Agua), EEUU, España y a nivel global (WFN- Water Footprint Network). Asimismo, se consideró como regla de corte a los insumos cuya representación sea mayor al 3% de la cantidad total, debido a que es complejo cuantificarlos todos y no agrega un valor significativo realizarlo detalladamente, por tanto, de los 42 tipos de insumos solo se consideraron el 14% de los insumos como significativos que cumplieron dicha regla, lo que justifica que la mayoría de los insumos restantes pueden ser utilizados nuevamente en más de un estudio de caracterización.
- En el estudio de caracterización virtual, la huella hídrica indirecta evidenciada estuvo determinada por el consumo de bolsas y electricidad cuyos factores de conversión proceden de fuentes secundarias de Perú (ANA-Autoridad Nacional del Agua) y EEUU. Además, por la regla de corte, de los 9 tipos de insumos solo se consideraron el 22% debido a que fueron los más significativos.
- El consumo de alimentos y de energía eléctrica en los estudios de caracterización convencional y virtual, respectivamente, fueron los que ocuparon el primer lugar. Cabe

mencionar que se consideraron datos de fuentes secundarias proveniente de la INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) y propios del estudio, respectivamente.

- Las principales limitaciones del estudio virtual se debe a que no se cuenta con un reporte estandarizado referente al volumen de agua que utilizó cada voluntario para el lavado de los residuos inorgánicos, por tanto, los datos fueron estimados por el número de repeticiones en la medición de los volúmenes de agua consumida. En el caso del estudio convencional, la principal limitación fue que no se cuenta con un registro de uso de los servicios higiénicos de los participantes de dicho estudio. Además, los factores de conversión utilizados provienen de fuentes nacionales y extranjeras, teniendo en cuenta que es importante que los factores sean propios del país debido a que la cobertura geográfica (Comas-Lima) se considera posteriormente para evaluar los impactos ambientales generados.
- Si bien, según la metodología de la ISO 14046:2014, la evaluación integral de huella hídrica abarca determinar el consumo y los impactos ambientales, en su mayoría es aplicada para medir el consumo de agua (directo e indirecto) debido a que es un requisito para la obtención del certificado azul emitido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) a las organizaciones, el cual, es de carácter voluntario.

7.2. Evaluación de impacto de huella hídrica

7.2.1. Categoría de Impacto de uso de agua

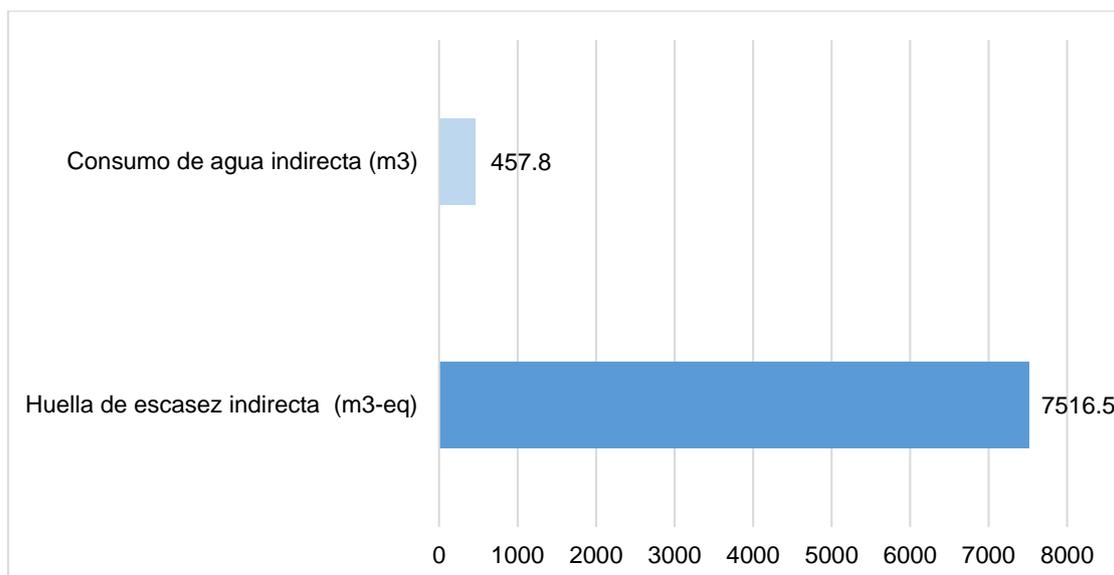
Se presenta la interpretación de resultados de la evaluación de huella hídrica evidenciada a través de los estudios de caracterización convencional y virtual. Se identificaron y cuantificaron los flujos de agua consumidos de forma directa e indirecta.

7.2.1.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional

a) Huella de escasez- Impacto de punto medio

Como se muestra en la Figura 17, la huella de escasez evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue de 7516.5 m³-eq, en el cual, la totalidad del volumen de agua consumida proviene de manera indirecta.

Figura 17. *Huella de escasez indirecta del estudio de caracterización convencional*



Nota. Elaboración propia

Luego de este análisis, se concluye que la huella de escasez evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue totalmente indirecta. Adicionalmente, respecto al consumo indirecto, la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo reduce la disponibilidad de agua dulce en la región de procedencia del insumo o recurso, en 3 181 litros.

b) Salud humana- Impacto de punto final

De acuerdo a los datos obtenidos, el impacto en la salud humana por el consumo de agua evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de $1.02E-3$ DALY (reducción de vida en años de una persona debido a la desnutrición), en el cual, la totalidad del volumen de agua consumida proviene de manera indirecta.

Se concluye que el impacto en la salud humana evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de $4.32E-7$ DALY por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

c) Ecosistemas de agua dulce- Impacto de punto final

De acuerdo a los datos obtenidos, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de $2.77E-10$ especies.año (pérdida relativa local de especies por año), en el cual, la totalidad del volumen de agua consumida proviene de manera indirecta.

Se concluye que el impacto en los ecosistemas de agua dulce evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de $1.17E-13$ especies.año por un (01) kilogramo de residuo caracterizado.

7.2.1.2. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual

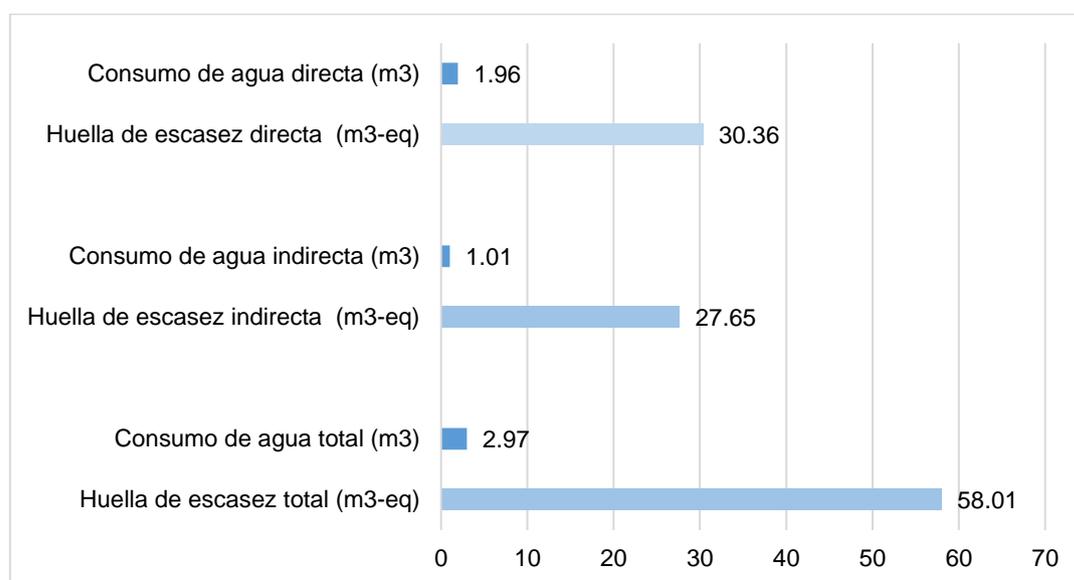
a) Huella de escasez- Impacto de punto medio

De acuerdo a los datos obtenidos, como se muestra en la Figura 18, la huella de escasez evidenciada a través del estudio de caracterización virtual fue de 58.01 m³-eq, en el cual, el 52.34% proviene de manera directa, mientras que, el 47.66% de manera indirecta.

Asimismo, la huella de escasez directa es generada en su totalidad por el consumo de agua evaporada (30.36 m³-eq). El estudio de caracterización virtual, por consumo directo, reduce la disponibilidad de agua dulce en la región de procedencia en 52 litros por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Por otro lado, la huella de escasez indirecta (27.65 m³-eq) evidenciada a través del estudio de caracterización virtual reduce la disponibilidad de agua dulce en la región de procedencia del insumo o recurso en 47 litros por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Figura 18. *Huella de escasez del estudio de caracterización virtual*



Nota. Elaboración propia

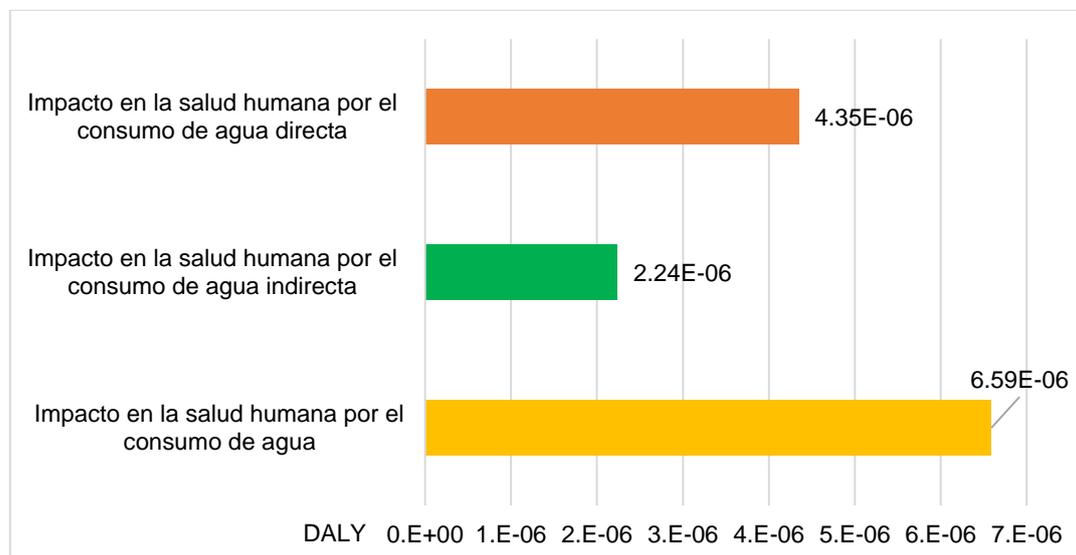
b) Salud humana- Impacto de punto final

De acuerdo a los datos obtenidos, como se muestra en la Figura 19 el impacto en la salud humana por el consumo de agua evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue 6.59E-6 DALY (reducción de vida en años de una persona debido a la desnutrición), en el cual, el 66% proviene de manera directa y el 34% de manera indirecta.

Con respecto al consumo de agua directa, el impacto en la salud humana (4.35E-6 DALY) es generado en su totalidad por el consumo de agua evaporada. Se concluye que mediante el estudio de caracterización virtual se evidenció 7.46E-9 DALY/Kg de residuo caracterizado.

Por otro lado, con respecto al impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta ($2.24\text{E-}6$ DALY) evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue de $3.84\text{E-}9$ DALY/Kg de residuo caracterizado.

Figura 19. Impacto en la salud humana por el consumo del agua del estudio de caracterización virtual



Nota. Elaboración propia

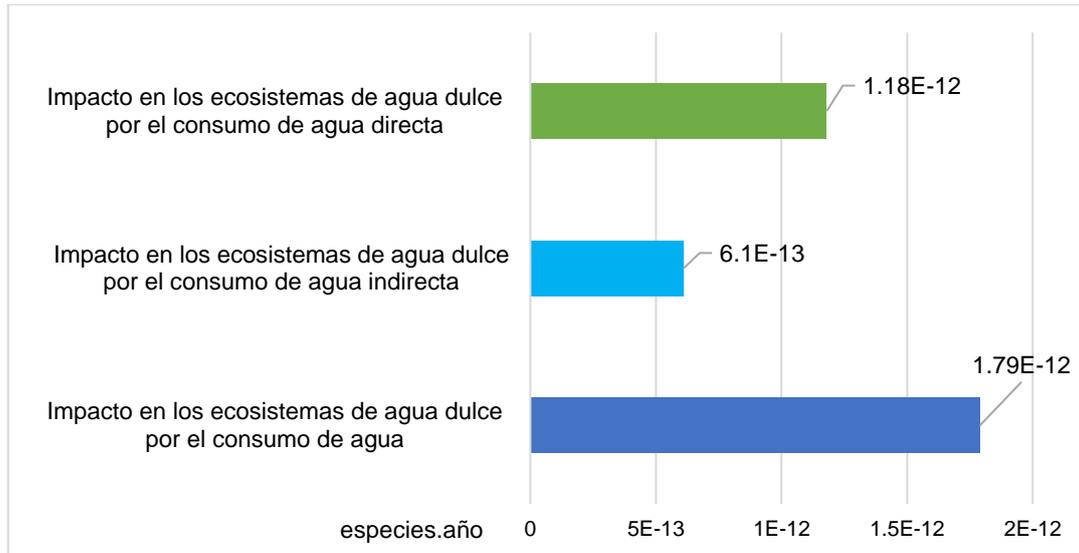
c) Ecosistemas de agua dulce- Impacto de punto final

De acuerdo a los datos obtenidos, como se muestra en Figura 20, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue de $1.79\text{E-}12$ especies.año (pérdida relativa local de especies por año), en el cual, el 65.92% proviene de manera directa y el 34.08% de manera indirecta.

Con respecto al consumo de agua directa, el impacto en los ecosistemas de agua dulce ($1.18\text{E-}12$ especies.año) es generado en su totalidad por el consumo de agua evaporada. Se concluye que mediante el estudio de caracterización virtual se evidenció $2.02\text{E-}15$ especies.año/Kg de residuo caracterizado.

Por otro lado, con respecto al impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta ($6.10\text{E-}13$ especies.año) se evidenció a través del estudio de caracterización virtual $1.05\text{E-}15$ especies.año/Kg de residuo caracterizado.

Figura 20. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el uso del agua del estudio de caracterización virtual



Nota. Elaboración propia

7.2.1.2. Estudios de caracterización convencional y virtual basados en el impacto de uso de agua

a) Huella de escasez- Impacto de punto medio

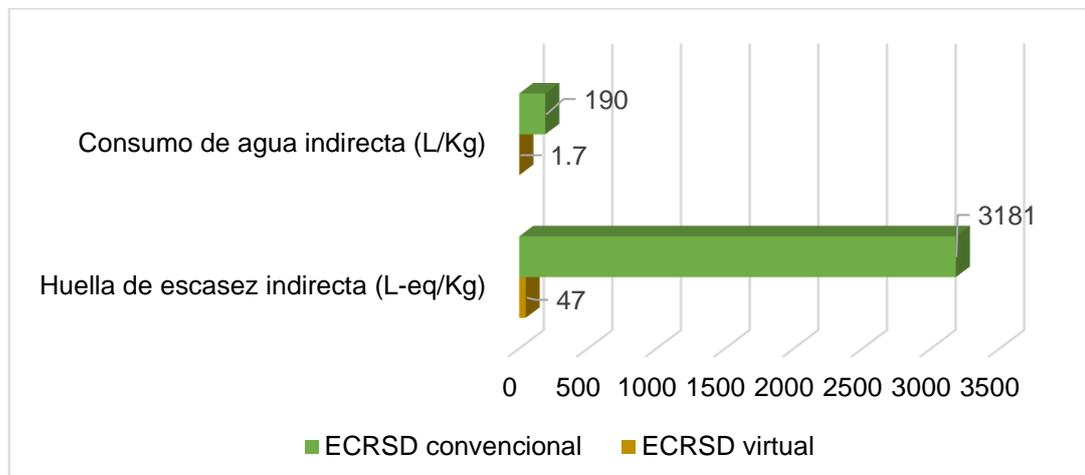
- **Huella de escasez directa**

Debido a que en el estudio de caracterización convencional la huella de escasez directa es cero, se puede concluir que, el estudio de caracterización virtual reduce la disponibilidad hídrica en 52 litros más de agua directa por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

- **Huella de escasez indirecta**

De acuerdo a la Figura 21, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el estudio de caracterización convencional reduce la disponibilidad de agua dulce en la zona en 3134 litros más de agua indirecta que estudio de caracterización virtual, siendo el primero 67 veces mayor.

Figura 21. Huella de escasez indirecta entre el Estudio de caracterización convencional y virtual

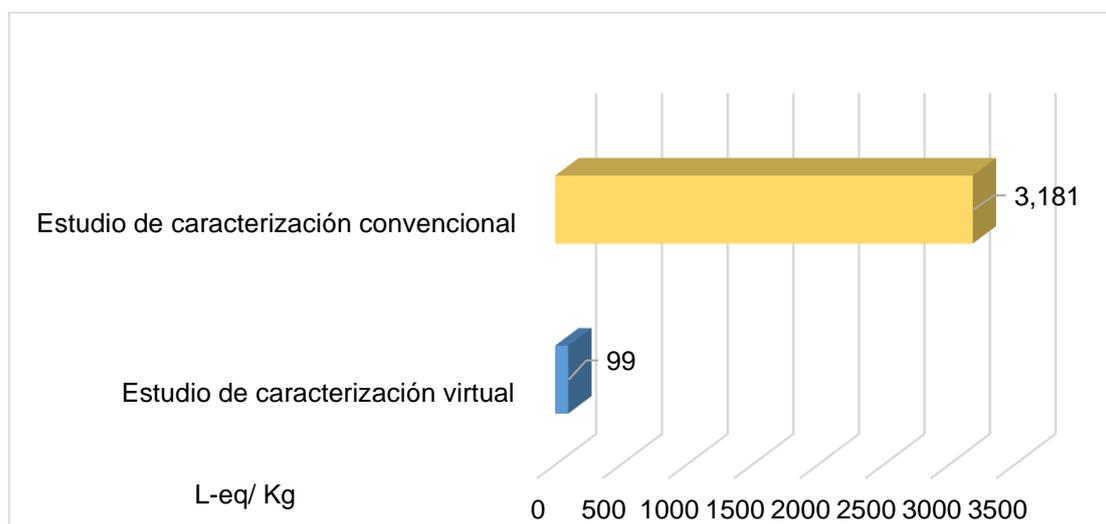


Nota. Elaboración propia

- **Huella de escasez**

De acuerdo a la Figura 22, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el estudio de caracterización convencional reduce la disponibilidad de agua dulce en la zona en 3082 litros más que el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 32 veces mayor.

Figura 22. Huella de escasez entre el Estudio de caracterización convencional y virtual



Nota. Elaboración propia

b) Salud humana- Impacto de punto final

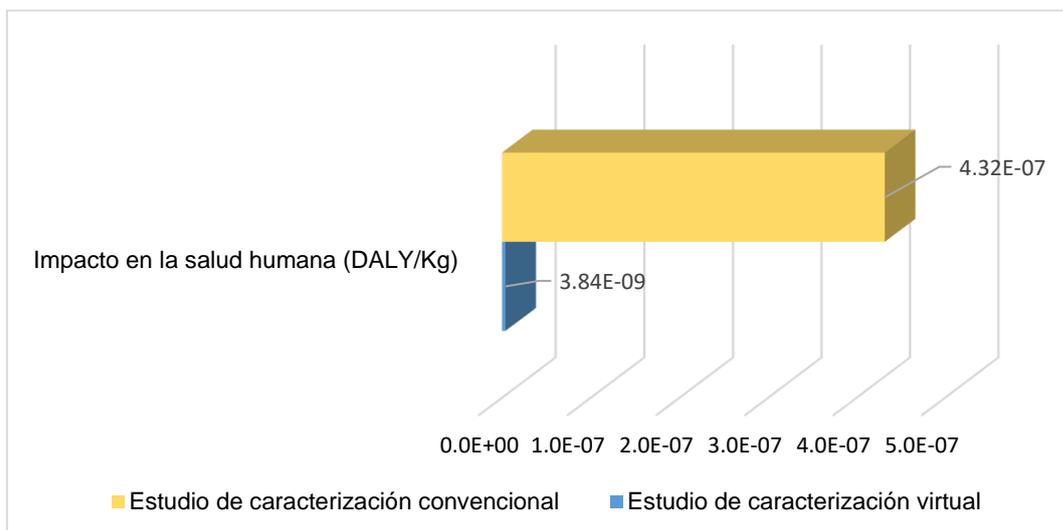
- **Impacto en la salud humana por el consumo de agua directa**

Debido a que en el estudio de caracterización convencional se evidencia que el consumo de agua directa es cero, se puede concluir que, el impacto en la salud humana por el consumo de agua directa evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue $7.46E-9$ DALY más por un (01) Kg de residuo caracterizado.

- **Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta**

De acuerdo a la Figura 23, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue $4.28\text{E-}7$ DALY más que el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 112 veces mayor.

Figura 23. Impacto en la salud humana por el consumo de agua indirecta

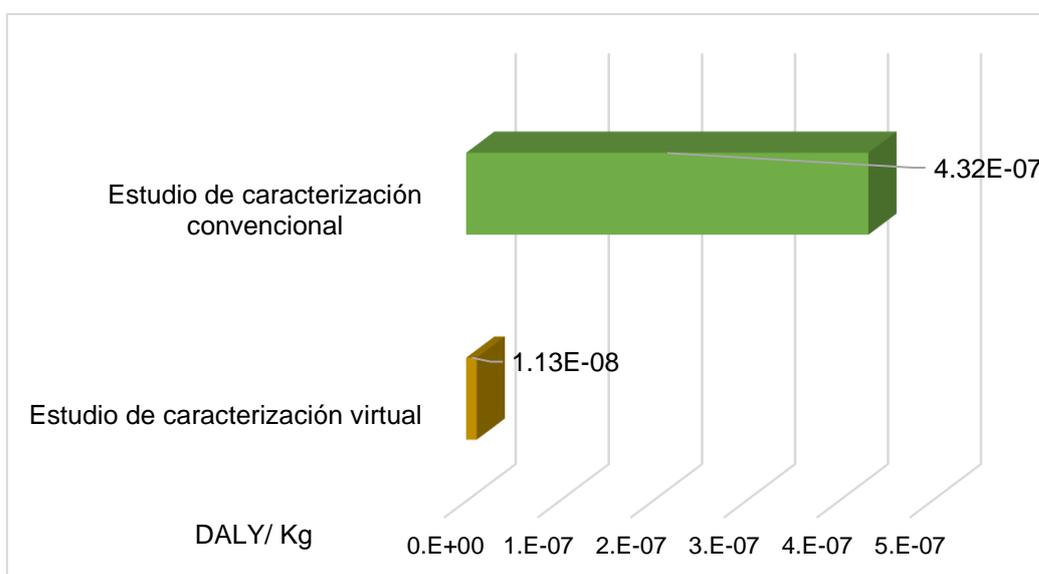


Nota. Elaboración propia

- **Impacto en la salud humana por el consumo de agua**

De acuerdo a la Figura 24, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el impacto en la salud humana por el consumo de agua evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue $4.21\text{E-}7$ DALY más que el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 38 veces mayor.

Figura 24. Impacto en la salud humana por el consumo del agua



Nota. Elaboración propia

c) Ecosistemas de agua dulce- Impacto de punto final

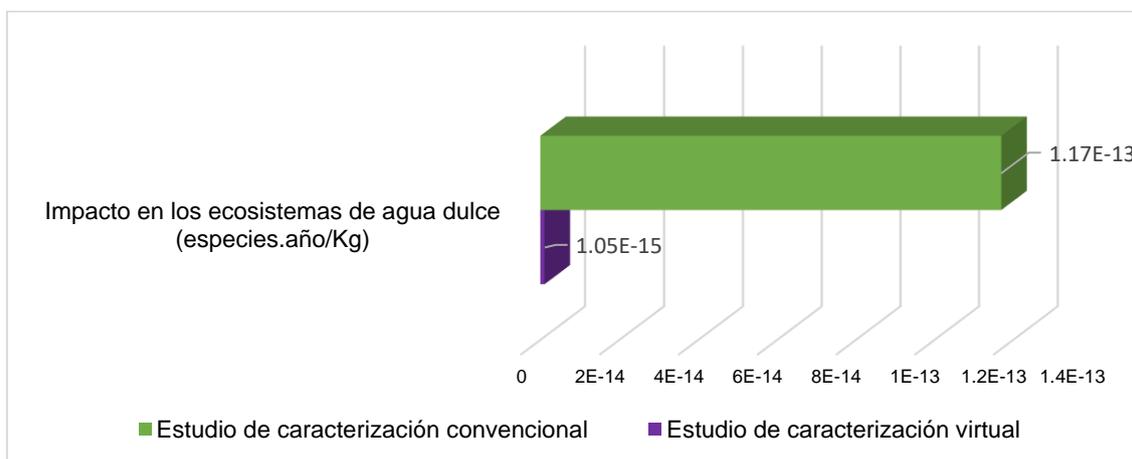
- **Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa**

Debido a que mediante el estudio de caracterización convencional se evidenció que el consumo de agua directa es cero, se puede concluir que, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa evidenciado a través del estudio de caracterización virtual fue $2.02E-15$ especies.año más por un (01) Kg de residuo caracterizado.

- **Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta**

De acuerdo a la Figura 25, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue $1.16E-13$ especies.año más que el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 110 veces mayor.

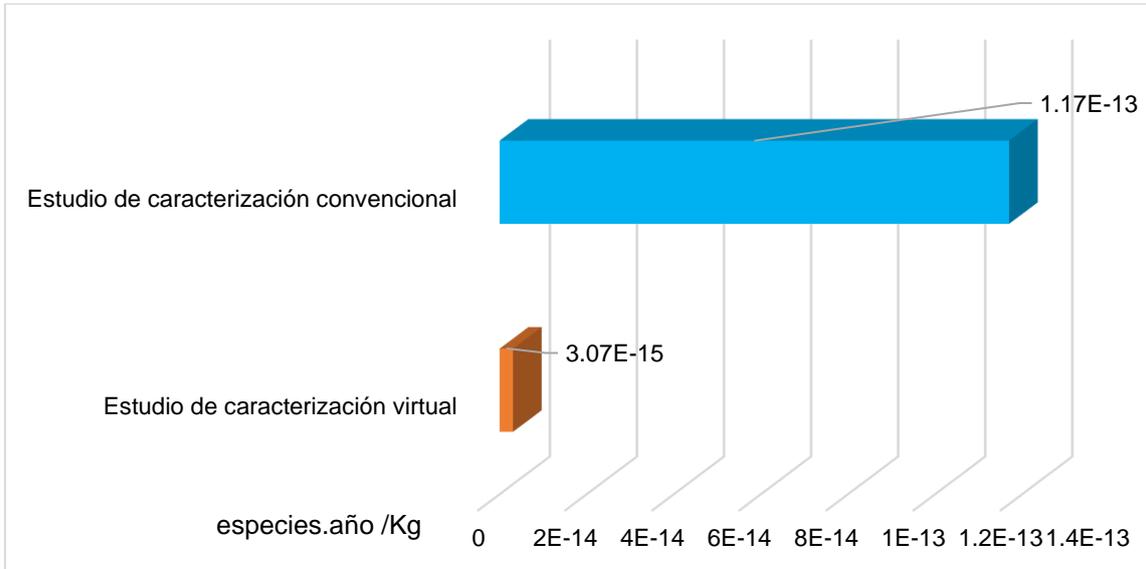
Figura 25. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta



Nota. Elaboración propia

- **Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el uso de agua**

De acuerdo a la Figura 26, por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue $1.14E-13$ especies.año más que el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 37 veces mayor.

Figura 26. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua

Nota. Elaboración propia

7.2.2. Categoría de Impacto de eutrofización de agua dulce

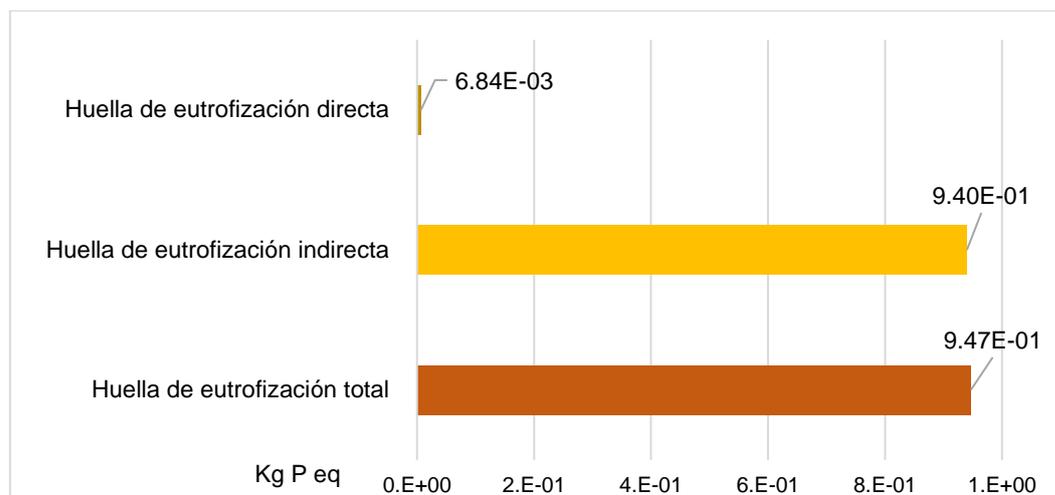
7.2.2.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios convencional

a) Huella de eutrofización- Impacto de punto medio

De acuerdo a los datos obtenidos, como se muestra en la Figura 27, la huella de eutrofización evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue de 9.47 E-1 Kg P eq , en el cual, el 99.28% proviene de manera indirecta, mientras que, el 0.72% de manera directa.

Asimismo, la huella de eutrofización directa es generada en su totalidad por el agua vertida al alcantarillado (6.84E-3 Kg P eq). A través del estudio de caracterización convencional se evidenció 2.9E-6 Kg P eq por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Por otro lado, la huella de eutrofización indirecta (9.4E-1 Kg P eq) evidenciada en el estudio de caracterización convencional fue de 3.98E-4 Kg P eq por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Figura 27. Huella de eutrofización del estudio de caracterización convencional

Nota. Elaboración propia

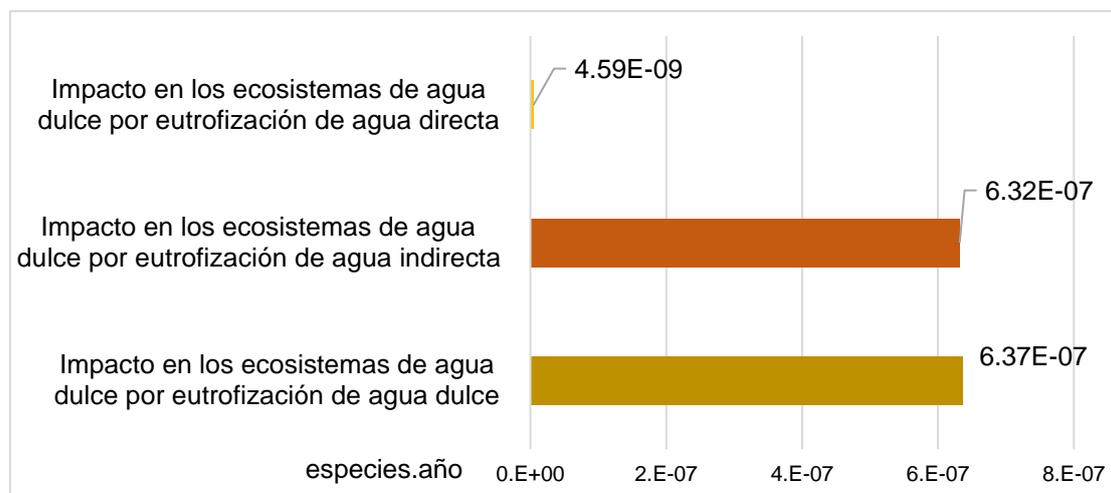
b) Ecosistemas de agua dulce- Impacto de punto final

De acuerdo a los datos obtenidos, como se muestra en la Figura 28, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue de $6.37E-7$ especies.año (pérdida relativa local de especies por año), en el cual, el 99.28% proviene de manera indirecta, mientras que, el 0.72% de manera directa.

Con respecto al impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa ($4.59E-9$ especies.año) es generada en su totalidad por el agua vertida al alcantarillado. Se concluye que mediante el estudio de caracterización convencional se evidenció $1.94E-12$ especies.año/Kg de residuo caracterizado.

Por otro lado, con respecto al impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta ($6.32E-7$ especies.año) a través del estudio de caracterización convencional se evidenció $2.67E-10$ especies.año/ Kg de residuo caracterizado.

Figura 28. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización del estudio de caracterización convencional



Nota. Elaboración propia

7.2.2.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios virtual

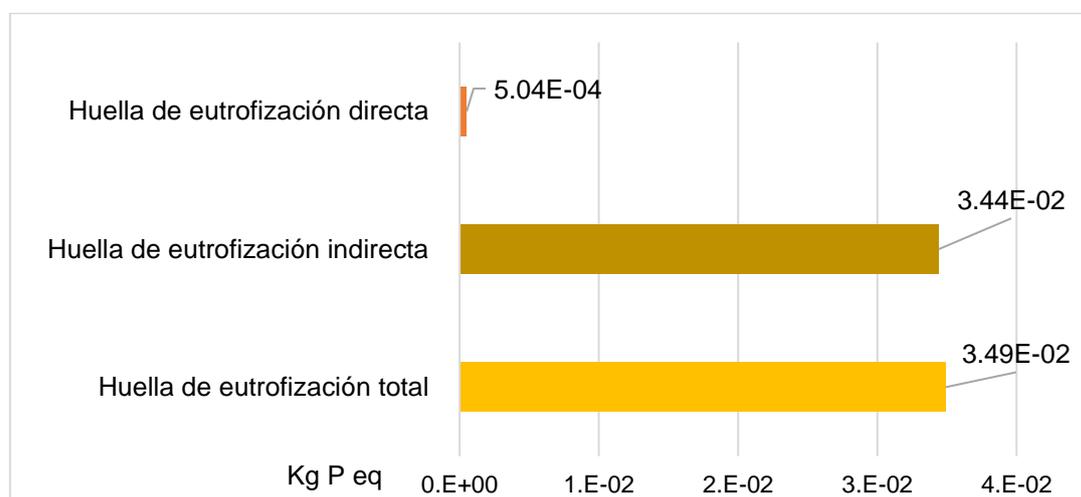
a) Huella de eutrofización- Impacto de punto medio

De acuerdo a los datos obtenidos, como se muestra en la Figura 29, la huella de eutrofización evidenciada a través del estudio de caracterización virtual fue de $3.49 \text{ E-}2 \text{ Kg P eq}$, en el cual, el 99.56% proviene de manera indirecta, mientras que, el 1.44% de manera directa.

Asimismo, la huella de eutrofización directa es generada en su totalidad por el agua vertida al alcantarillado ($5.04 \text{ E-}4 \text{ Kg P eq}$). A través del estudio de caracterización virtual se evidenció $8.64 \text{ E-}7 \text{ Kg P eq}$ por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Por otro lado, la huella de eutrofización indirecta ($3.44 \text{ E-}2 \text{ Kg P eq}$) evidenciada a través del estudio de caracterización virtual fue de $5.9 \text{ E-}5 \text{ Kg P eq}$ por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado.

Figura 29. Huella de eutrofización del estudio de caracterización virtual



Nota. Elaboración propia

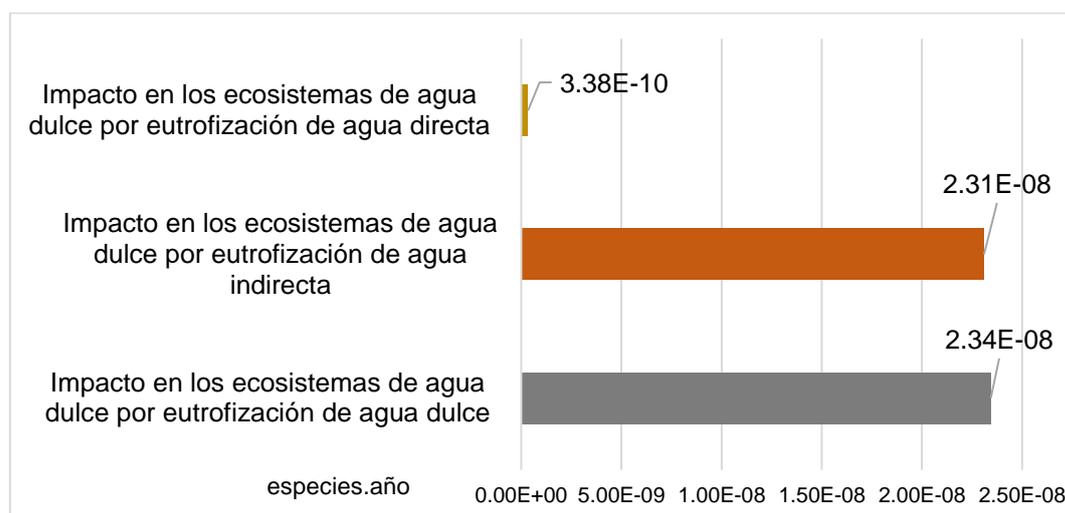
b) Ecosistemas de agua dulce- Impacto de punto final

De acuerdo a los datos obtenidos, como se muestra en la Figura 30, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización evidenciada a través del estudio de caracterización virtual fue de $2.34E-8$ especies.año (pérdida relativa local de especies por año), en el cual, el 98.56% proviene de manera indirecta, mientras que, el 1.44% de manera directa.

Con respecto al impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua directa ($3.38E-10$ especies.año) es generada en su totalidad por el agua vertida al alcantarillado. Se concluye que mediante el estudio de caracterización virtual se evidenció $5.8E-13$ especies.año/Kg de residuo caracterizado.

Por otro lado, con respecto al impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua indirecta ($2.31E-8$ especies.año) se evidenció a través del estudio de caracterización virtual $3.96E-11$ especies.año/ Kg de residuo caracterizado.

Figura 30. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización del estudio de caracterización virtual



Nota. Elaboración propia

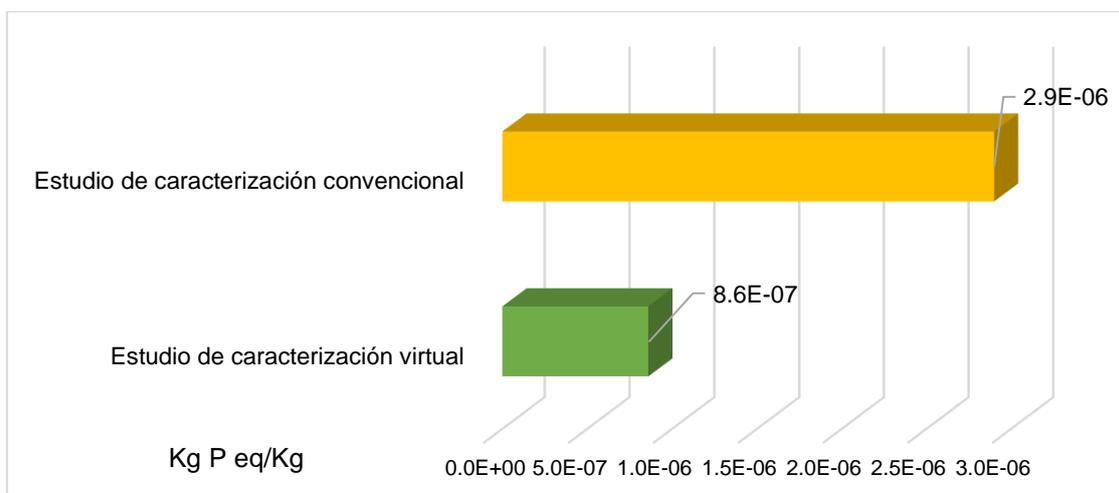
7.2.2.1. Estudios de caracterización convencional y virtual basados en el impacto de eutrofización de agua dulce

a) Huella de eutrofización- Impacto de punto medio

- **Huella de eutrofización directa**

En la Figura 31 se muestra que por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, la huella de eutrofización directa evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue $2.04E-6$ Kg P eq más que en el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 3 veces mayor.

Figura 31. Huella de eutrofización directa entre el Estudio de caracterización convencional y virtual

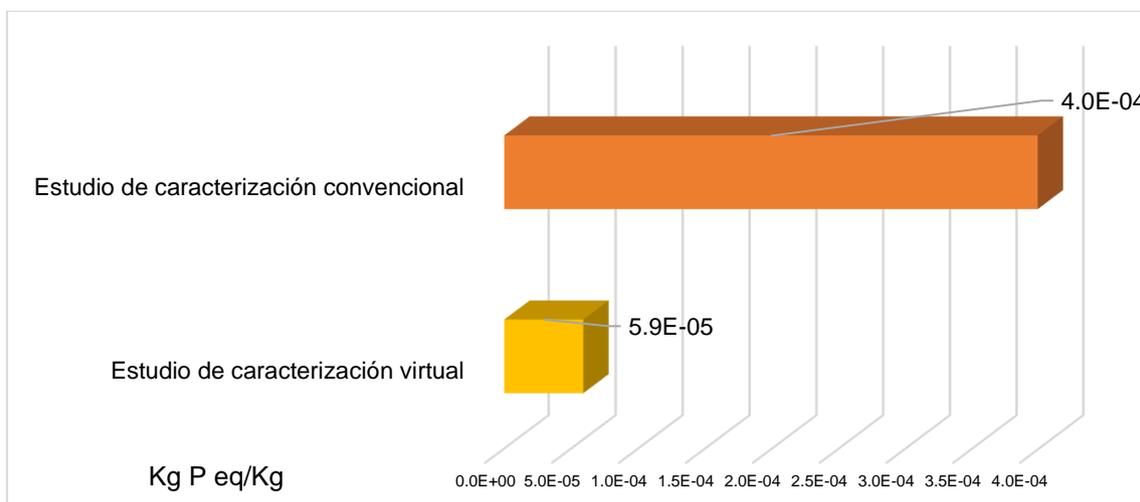


Nota. Elaboración propia

- **Huella de eutrofización indirecta**

En la Figura 32 se muestra que por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, la huella de eutrofización indirecta evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue 3.41E-4 Kg P eq más que en el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 6 veces mayor.

Figura 32. Huella de eutrofización indirecta entre el Estudio de caracterización convencional y virtual

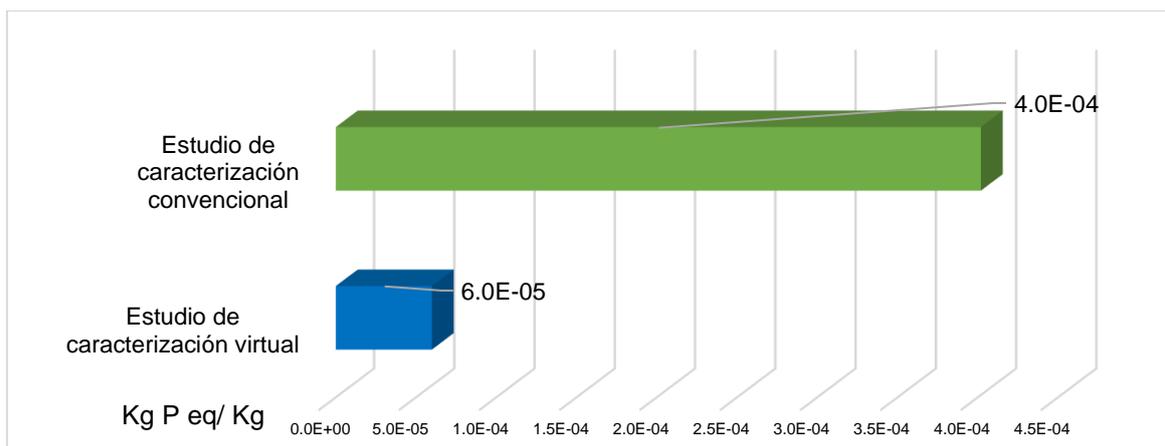


Nota. Elaboración propia

- **Huella de eutrofización de agua dulce**

En la Figura 33 se muestra que por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, la huella de eutrofización de agua dulce evidenciada a través del estudio de caracterización convencional fue 3.4E-4 Kg P eq más que en el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 6 veces mayor.

Figura 33. Huella de eutrofización entre el Estudio de caracterización convencional y virtual



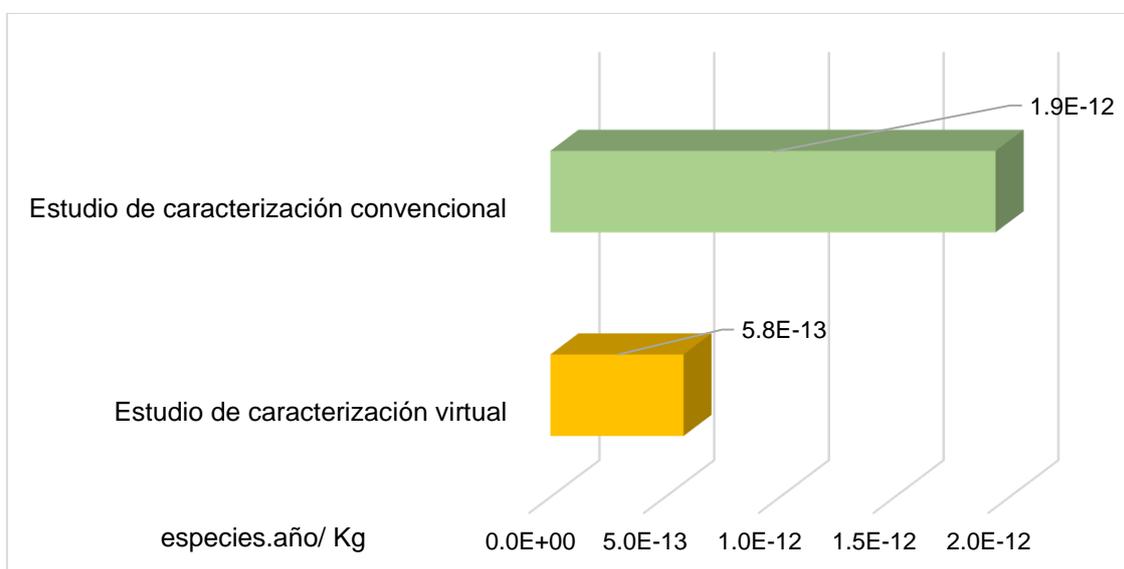
Nota. Elaboración propia

b) Ecosistemas de agua dulce- Impacto de punto final

- Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización directa

En la Figura 34 se muestra que por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización directa evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de $1.36\text{E-}12$ especies.año más que en el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 2 veces mayor.

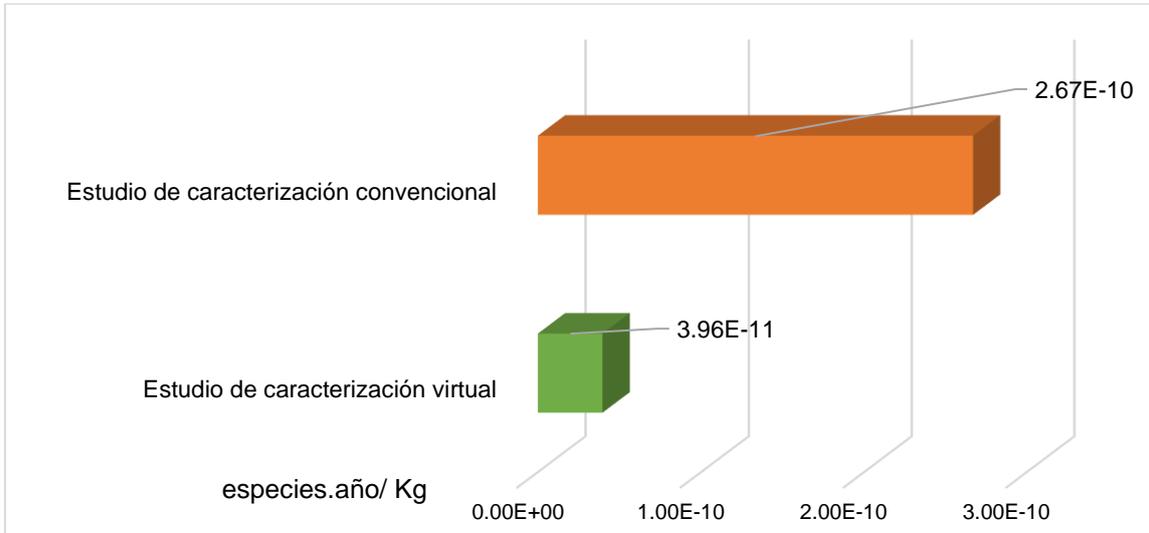
Figura 34. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización directa



Nota. Elaboración propia

- Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización indirecta

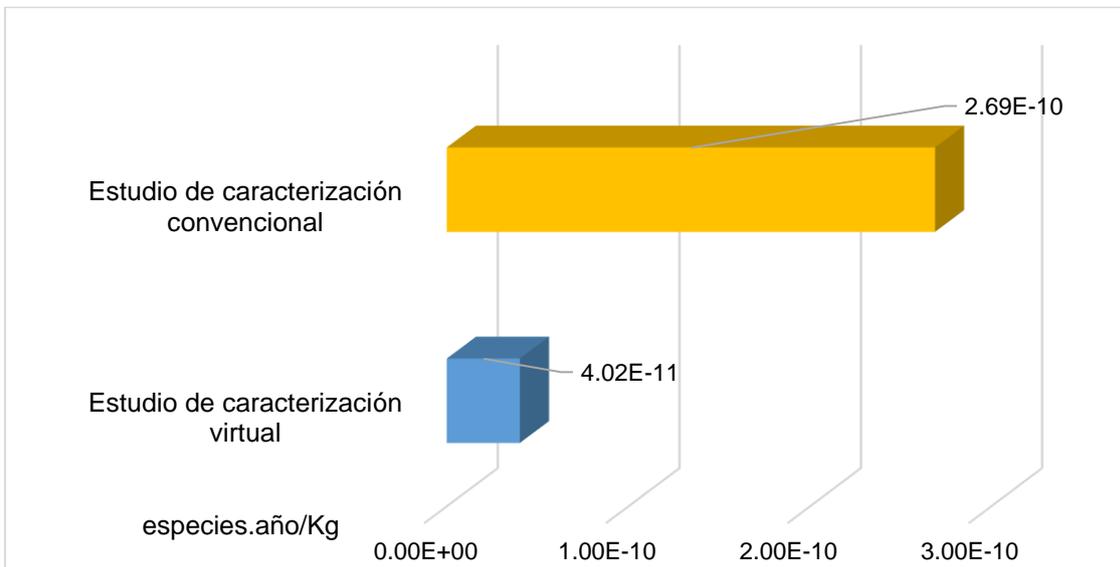
En la Figura 35 se muestra que por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización indirecta evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de $2.27\text{E-}10$ especies.año más que en el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 6 veces mayor.

Figura 35. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización indirecta

Nota. Elaboración propia

- **Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua dulce**

En la Figura 36 se muestra que por un (01) Kilogramo de residuo caracterizado, el impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización evidenciado a través del estudio de caracterización convencional fue de 2.29E-10 especies.año más que en el estudio de caracterización virtual, siendo el primero 6 veces mayor.

Figura 36. Impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización de agua dulce

Nota. Elaboración propia

7.2.3. Discusión de resultados de evaluación de impactos de huella hídrica

- Categoría de uso de agua: huella de escasez
 - No hubo huella de escasez directa evidenciada a través del estudio convencional debido a que el consumo de agua directa fue cero, por otro lado, en el estudio virtual se utilizaron datos provenientes del indicador AWARE empleando Google Earth en el departamento de Lima, considerando el indicador promedio del mes de setiembre (mes en el cual se realizó el estudio).
 - En la huella de escasez indirecta evidenciada a través del estudio convencional y virtual se utilizaron datos provenientes del indicador mencionado anteriormente, sin embargo, se consideraron promedios anuales a nivel de Lima y Perú debido a la procedencia de los insumos y recursos del estudio. La principal limitación es que no se cuenta con un reporte de la procedencia de los insumos y recursos empleados para el desarrollo de dichos estudios, por lo cual, se asumió que los insumos y el recurso como el combustible provienen del mercado local. Además, para la energía eléctrica se consideró el promedio a nivel nacional.
 - La huella de escasez evidenciada en el estudio de caracterización convencional fue 32 veces mayor debido al elevado consumo de agua (directo e indirecto). No obstante, en el mes en el que se realizó el estudio virtual (setiembre) se presenta un índice mayor de estrés hídrico respecto al mes que se realizó el estudio convencional (julio) debido a que es época de sequía en la región de Lima, por ello la disponibilidad de agua disminuye, ocasionando un mayor impacto.
- Categoría de uso de agua: impacto en la salud humana y ecosistemas de agua dulce
 - Para determinar el impacto en la salud humana y ecosistemas de agua dulce se utilizaron los factores de conversión provenientes del indicador ReCiPe (a nivel global), debido a que no se cuentan con factores propios a nivel nacional (estudios de análisis de ciclo de vida de producto o proceso), la cual es la principal limitación.
 - El impacto en la salud humana y ecosistemas de agua dulce por el uso de agua indirecta es 112 veces mayor el estudio de caracterización convencional que el virtual, reflejado en la reducción de años de vida en la persona, debido a la desnutrición como consecuencia de la escasez de agua en los países de bajo desarrollo y en la pérdida relativa de local especies por año, respectivamente.
- Categoría de eutrofización de agua dulce: huella de eutrofización
 - En la huella de eutrofización evidenciada a través del estudio convencional y virtual se utilizaron datos provienen del indicador ReCiPe (a nivel global). Además, para esta categoría se considera el volumen de agua vertida al alcantarillado, es por ello que en el estudio de caracterización convencional se utilizaron datos de fuentes secundarias provenientes del ANA (Autoridad Nacional del Agua) y MINAM (Ministerio del Ambiente). Por otro lado, para el estudio de caracterización virtual fueron datos propios. Asimismo,

- para la obtención del factor de concentración de DBO del volumen de aguas residuales domésticas, se compararon estudios en base a revisión bibliográfica.
- La huella de eutrofización directa evidenciada en el estudio de caracterización convencional fue dos veces mayor debido a la descarga de agua por el uso de servicios higiénicos, sin embargo, en el estudio de caracterización virtual se debió a la descarga por el uso del agua en el lavado de los residuos inorgánicos.
 - La huella de eutrofización indirecta evidenciada en el estudio de caracterización convencional fue seis veces más debido a que el consumo de insumos y recursos fue mayor respecto del estudio de caracterización virtual. Además, los factores de conversión utilizados se emplearon de fuentes extranjeras, siendo el principal limitante.
- Categoría de uso de agua: impacto en los ecosistemas de agua dulce
 - Para determinar en los ecosistemas de agua dulce se utilizaron los factores de conversión provenientes del indicador ReCiPe (a nivel global), debido a que no se cuentan con factores propios a nivel nacional (estudios de análisis de ciclo de vida de producto o proceso), la cual fue la principal limitación.
 - El impacto en los ecosistemas de agua dulce por la huella de eutrofización directa fue 2 veces mayor en el estudio de caracterización convencional que el virtual, reflejado en la pérdida relativa de local especies por año, esto debido a que en el estudio de caracterización convencional la descarga de agua fue mayor que en el estudio de caracterización virtual.
 - El impacto en los ecosistemas de agua dulce por la huella de eutrofización indirecta fue 6 veces mayor en el estudio de caracterización convencional que el virtual, reflejado en la pérdida relativa de local especies por año, esto debido a que en el estudio de caracterización convencional se utilizaron mayores insumos y recursos.
 - Los alcances de mi investigación no son concluyentes respecto a los aportes diferenciados entre ambas metodologías aplicadas a los Estudios de caracterización (convencional y virtual), sin embargo, sirve como base para desarrollar a futuro estudios de mayor nivel y de esta manera se pueda resaltar con investigaciones posteriores de forma más evidente las ventajas de utilizar la metodología innovadora (virtual), debido a que se requiere aplicar ambas metodologías (convencional y virtual) de manera paralela (mismo tiempo y espacio) controlando las mismas variables.

CONCLUSIONES

Huella Hídrica

- En el estudio de caracterización convencional (con evaluación en campo), el cual fue realizado en un periodo de 10 días en julio del 2019, la huella hídrica total fue 457.8 m³, el cual corresponde a la huella hídrica indirecta debido a que, en el uso directo solo existe movilización de un volumen de agua que posteriormente regresa a la misma cuenca de la cual se extrajo. Con lo se concluye que por un (01) Kg de residuo caracterizado se evidenció a través del estudio de caracterización convencional el consumo de 190 litros de agua.
- En el estudio de caracterización virtual (en el marco de la Pandemia Covid-19), el cual fue realizado en un periodo de 10 días en setiembre del 2020, la huella hídrica total fue 2.97 m³, del cual el 34% corresponde a la huella hídrica directa y el 66% a la huella hídrica indirecta. Con lo se concluye que por un (01) Kg de residuo caracterizado se evidenció a través del estudio de caracterización virtual el consumo de 5.1 litros de agua.
- Con respecto a la huella hídrica, mediante el estudio de caracterización convencional (190 L/Kg de residuo caracterizado) se evidenció que se consume 37 veces más de agua que en el estudio de caracterización virtual (5.1 L/Kg de residuo caracterizado), lo que equivale a que es mayor en 97.31% el estudio de caracterización convencional con respecto al virtual.

Evaluación de impactos de huella hídrica

- Categoría de uso de agua: Huella de escasez
 - De acuerdo a la evaluación de la huella de escasez, el estudio de caracterización convencional evidenció una huella de 7516.5 m³ equivalentes, con lo que se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo, reduce la disponibilidad de agua dulce en 3 180 litros de agua en la zona de evaluación.
 - De acuerdo a la evaluación de la huella de escasez, el estudio de caracterización virtual evidenció una huella de 58.01 m³ equivalentes, con lo que se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo, reduce la disponibilidad de agua dulce en 99 litros de agua en la zona de evaluación.
 - La huella de escasez evidenciada en el Estudio de caracterización convencional fue mayor en 96.89% que el Estudio de caracterización virtual.
- Categoría de uso de agua: Impacto en la salud humana
 - De acuerdo a la evaluación de impacto en la salud humana por el consumo de agua, a través del estudio de caracterización convencional se evidenció 1.02E-3 DALY, lo cual se traduce en una reducción de los años de vida de una persona, debido a la desnutrición como consecuencia de la escasez de agua en los países de bajo desarrollo. Con ello se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo se evidenció 4.32E-7 DALY.

- De acuerdo a la evaluación de impacto en la salud humana por el consumo de agua, a través del estudio de caracterización virtual se evidenció $6.59E-6$ DALY, lo cual se traduce en una reducción de los años de vida de una persona, debido a la desnutrición como consecuencia de la escasez de agua en los países de bajo desarrollo. Con ello se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo se evidenció $1.13E-8$ DALY.
- El impacto en la salud humana por el consumo de agua evidenciado en el Estudio de caracterización convencional fue mayor en 97.38% que el Estudio de caracterización virtual.
- Categoría de uso de agua: Impacto en los ecosistemas de agua dulce
 - De acuerdo a la evaluación de impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua, el estudio de caracterización convencional evidenció la pérdida relativa local de $2.77E-10$ especies.año. Con ello se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo se evidenció la pérdida relativa local de $1.17E-13$ especies.año.
 - De acuerdo a la evaluación de impacto en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua, el estudio de caracterización virtual evidenció la pérdida relativa local de $1.79E-12$ especies.año. Con ello se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo se evidenció la pérdida de $3.07E-15$ especies.año.
 - El impacto en los ecosistemas de agua dulce evidenciado en el Estudio de caracterización convencional fue mayor en 97.38% que el Estudio de caracterización virtual.
- Categoría de eutrofización de agua dulce: Huella de eutrofización
 - De acuerdo a la evaluación de la huella de eutrofización, el estudio de caracterización convencional evidenció una huella de 0.95 Kilogramos de fósforo equivalentes (P eq) con lo que se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo, se descargan 0.0004 Kilogramos de fósforo equivalentes (P eq) a un cuerpo de agua dulce.
 - De acuerdo a la evaluación de la huella de eutrofización, el estudio de caracterización virtual evidenció una huella de 0.035 Kilogramos de fósforo equivalente (P eq) con lo que se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo, se descargan 0.00006 Kilogramos de fósforo equivalentes (P eq) a un cuerpo de agua dulce.
 - La huella de eutrofización de agua dulce en el Estudio de caracterización convencional fue mayor en 85% que el Estudio de caracterización virtual.
- Categoría de eutrofización de agua dulce: Impacto en los ecosistemas de agua dulce
 - De acuerdo a la evaluación de impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización, el estudio de caracterización convencional evidenció la pérdida relativa local de $6.37E-7$ especies.año. Con ello se concluye que para la caracterización de

un (01) Kilogramo de residuo se evidenció la pérdida relativa local de $2.69E-10$ especies.año.

- De acuerdo a la evaluación de impacto en los ecosistemas de agua dulce por eutrofización, el estudio de caracterización virtual evidenció la pérdida relativa local de $2.34E-8$ especies.año. Con ello se concluye que para la caracterización de un (01) Kilogramo de residuo se evidenció la pérdida de $4.02E-11$ especies.año.
 - El impacto en los ecosistemas de agua dulce en el Estudio de caracterización convencional fue mayor en 85.1% que el Estudio de caracterización virtual.
-
- En términos generales, la huella hídrica evidenciada a través del estudio de caracterización convencional en términos de consumo de agua y evaluación de impactos ambientales fue mayor que el 75% respecto al estudio de caracterización virtual.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda promover estudios de análisis de ciclo de vida de producto o proceso a nivel nacional para la obtención de factores de conversión y factores de caracterización los cuales son empleados en la fase de análisis del inventario y evaluación de impactos ambientales, debido a que no existen suficientes investigaciones que puedan proporcionar factores de conversión y modelados a un nivel nacional, que permitan la comparación con otros factores extranjeros.
- Se recomienda realizar un proceso de inducción destinado a los voluntarios que participan en el Estudio de caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios virtual, durante la Pandemia Covid-19, sobre el cuidado del recurso hídrico, para evitar el uso excesivo del agua durante el lavado de los residuos inorgánicos que posteriormente son introducidos al ecoladrillo.
- La Región de Lima se encuentra en una zona donde el stress hídrico es más alto, por ello se debe tener en cuenta el cuidado del agua durante el desarrollo de los estudios de caracterización de residuos.
- Promover el estudio de caracterización virtual bajo las mismas condiciones que fue desarrollado durante la Pandemia Covid-19 debido a que evidenció una menor huella hídrica. Cabe resaltar que se requiere de una mayor logística y apoyo para la captación de voluntarios que puedan culminar el estudio durante los 10 días que corresponde. Asimismo, se pueden caracterizar todo tipo de residuos que se requieran.
- Fomentar a que se realicen los Estudios de caracterización convencional y virtual de manera paralela (al mismo tiempo y espacio), controlando las mismas variables, para que de esta manera sea validada la metodología virtual con la convencional, y sea como base para futuras investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hanafiah, M., Xenopoulos, M., Pfister, S., Leuven, R., & Huijbregts, M. (2011). Characterization factors for water consumption and greenhouse gas emissions based on freshwater fish species extinction. *Environ Sci Technol*, 45(12), 5572–5278. doi:10.1021/es1039634
- 20 minutos Editora, S.L. (2020). *Diario20minutos*. (J. Lane, Editor, & Henneo) Obtenido de <https://www.20minutos.es/noticia/4503839/0/el-agua-comienza-cotizar-en-el-mercado-de-futuros-de-wall-street/>
- Alfaro Flores, Y. M. (2018). *Determinación de la Huella Hídrica para la producción de cola industrial en Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6576/AMalflym.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ANA, Fonseca Salazar, S. E., Verano Zelada, C., & Mariluz Silva, J. P. (2012). *Huella Hídrica del arroz en el Perú*. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/546>
- AQUAFONDO. (2018). *Huella hídrica de los usuarios de agua de Lima Metropolitana*. Obtenido de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2871>
- AQUAFONDO. (2020). *Estudio Crisis de agua: una amenaza silenciosa para el desarrollo económico*. Lima, Perú. Obtenido de <https://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2020/06/Estudio-Crisis-de-Agua-una-amenaza-silenciosa-para-el-desarrollo-econ%C3%B3mico.pdf>
- Aquino Espinoza, P. (2017). *Calidad de Agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales*. Lima-Perú: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR). Obtenido de http://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/176_aguasresiduales.pdf
- Araneda, R., Álvarez, J., & Argudo, G. (2013). Huella Hídrica (water footprint). *Galileo*(23). Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29999>
- Azevedo, L., Henderson, A., Van Zelm, R., Jolliet, O., & Huijbregts, M. (2013b). Assessing the importance of spatial variability versus model choices in Life Cycle Impact Assessment: the case of freshwater eutrophication in Europe. *Environ Sci Technol*, 47(23), 13565–13570. doi:10.1021/es403422a
- Azevedo, L., Van Zelm, R., Elshout, P., Hendriks, A., Leuven, R., Struijs, J., . . . Huijbregts, M. (2013c). Species richness–phosphorus relationships for lakes and streams worldwide. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 1304-1314. doi:<https://doi.org/10.1111/geb.12080>
- Banco Interamericano de Desarrollo; Centro del Agua para América Latina y Caribe; Instituto Tecnológico de Monterrey. (2018). *Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible*. doi:<http://dx.doi.org/10.18235/0001107>
- Banco Mundial & Grupo de Análisis para el desarrollo. (2012). *Midiendo y entendiendo la evolución de las oportunidades para los niños en el Perú*.
- BBC. (16 de marzo de 2020). Coronavirus: Perú decreta cuarentena general en el país y el cierre de fronteras durante 15 días ante la pandemia de covid-19. *BBC News Mundo*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-51902989>

- Bicer, Y., & Dincer, I. (2018). Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 141-157. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.036>
- Boulay, A.-M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuilière, M. J., Manzardo, A., . . . Pfister, S. (2017). The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*(23), 368–378. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- Cantanhede, A., Sandoval Alvarado, L., Monge, G., & Caycho Chumpitaz, C. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *Hojas de divulgación técnica- CEPIS N° 97*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39488>
- Carbonel Ramos, D. E., & Requena Sanchez, N. P. (2021). Cambios en la generación y composición de residuos domiciliarios durante la pandemia del Covid-19, estudio de caso en 8 distritos de la provincia de Arequipa, Perú. *Tecnia*, 31(2). doi:<https://doi.org/10.21754/tecnica.v21i2.1035>
- Cárdenas de la Cruz, C. E., & Salazar Manuyama, F. M. (2019). *La importación de papel y el efecto de las políticas de desarrollo sostenible aplicados en el Perú*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/627803>
- Castillo Valencia, M. (2016). *Huella Hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7633>
- Cellura, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2012). Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 28, Pages 56-62. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.021>
- Chaffee, C., & Yaros, B. R. (s.f.). *Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags - Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper*. Obtenido de https://www.heartland.org/_template-assets/documents/publications/threetypeofgrocerybags.pdf
- Clarke, R., & King, J. (2004). *The atlas of water: Mapping the world's most critical resource*. Londres, Earthscan. doi:<https://doi.org/10.4000/belgeo.12237>
- COES. (2020). *Informe de la operación anual del SEIN 2019*. Obtenido de <https://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Informes/EvaluacionAnual>
- COES. (2021). *Informe de la operación anual del SEIN 2020*. Obtenido de <https://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Informes/EvaluacionAnual>
- Congreso de la República del Perú. (30 de Enero de 2020). Resolución Jefatural N° 023-2020-ANA. *Norma que promueve la Medición y Reducción Voluntaria de la Huella Hídrica y el Valor compartido en las Cuencas Hidrográficas*. Lima, Perú.
- Ediciones El País. (2020). *El País*. (C. Álvarez, Editor, & Prisa) Obtenido de <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2020-12-08/que-significa-que-el-agua-empece-a-cotizar-en-el-mercado-de-futuros-de-wall-street.html>
- FAO. (2002). *Tierra y Población: FAOSTAT: Oficina del Censo de Estados Unidos*. AQUATAST.
- FAO. (2005). *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Land & Water*. Obtenido de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>

- Fundación Chile y ONG Agualimpia. (2017). *Manual de aplicación de evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046*. Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3829?show=full>
- Garcia-Suarez, T., Kulak, M., King, H., Chatterton, J., Gupta, A., & Saksena, S. (2019). Life Cycle Assessment of Three Safe Drinking-Water Options in India: Boiled Water, Bottled Water, and Water Purified with a Domestic Reverse-Osmosis Device. *Sustainability*, 22(11), 6233. doi:<https://doi.org/10.3390/su11226233>
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & Van Zelm, R. (2009). *ReCiPe 2008: A life cycle assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First Edition. Report I: Characterisation*. Retrieved from <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads>
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & Van Zelm, R. (2013). *ReCiPe 2008: A life cycle assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First Edition (version 1.08). Report I: Characterisation*. Retrieved from <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads>
- Harapan, H., Itoh, N., Yufika, A., Winardi, W., Keam, S., Te, H., . . . Mudatsir, M. (2019). *Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review*. *Journal of Infection and Public Health*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.03.019>
- Helmes, R. J., Huijbregts, M. A., Henderson, A. D., & Jolliet, O. (2012). Spatially explicit fate factors of phosphorous emissions to freshwater at the global scale. *The international Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 646-654. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-012-0382-2>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Washington, DC: Water Footprint Network.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2010). *Manual de Evaluación de la huella hídrica*.
- Huijbregts, M., Van Zelm, R., Steinmann, Z., Stam, G., Elshout, P., Vieira, M., . . . Hollander, A. (2016). *ReCiPe2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization*. Department of Environmental Science, Radboud University Nijmegen. Retrieved from ReCiPe 2016 v1.1: <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads>
- INACAL. (27 de 12 de 2017). NTP-ISO 14046 (2017). *Gestión Ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices*. Lima, Perú.
- INEI. (2015). *Encuesta para medir la composición nutricional de los principales*. Lima.
- IPCC. (2021). *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- ISO. (2006). ISO 14040: 2006. *Gestión medioambiental- Evaluación del ciclo de vida- Principios y marco*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- ISO. (2014). *ISO 14046:2014. Gestión Ambiental. Huella hídrica. Principios, requisitos y directrices*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/43263.html>
- Jimmy, A. N., Khan, N. A., Hossain, M. N., & Sujauddin, M. (2017). Evaluation of the environmental impacts of rice paddy production using life cycle assessment: case study

- in Bangladesh. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3, 1691–1705. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-017-0368-y>
- King, C. W., & Webber, M. E. (2008). Water Intensity of transportation. *Environmental Science & technological*, 42(21), 7866-7872. doi:<https://doi.org/10.1021/es800367m>
- Lechón, Y., De La Rúa, C., & Cabal, H. (2018). Impacts of Decarbonisation on the Water-Energy-Land (WEL) Nexus: A Case Study of the Spanish Electricity Sector. *Energies*, 11(5), 1203. doi:<https://doi.org/10.3390/en11051203>
- López, N. (2008). *Metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades*. España: Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Luo, T., Young, R., & Reig, P. (2015). Aqueduct Projected water stress. *Technical Note*. Washington, D.C.: World Resources Institute. Obtenido de www.wri.org/publication/aqueduct-projected-water-stresscountry-rankings
- McCloskey, B., & Heymann, D. (2020). *SARS to novel coronavirus – old lessons and new lessons*. Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/S0950268820000254>
- Mendoza Rojas, A., & Conza Salas, A. (2016). *Análisis de Huella Hídrica en la Facultad de Ingeniería Ambiental*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú. Obtenido de <http://fiauni.pe/sitio/wp-content/uploads/2017/04/INFORME-FINAL-DE-HH-UNI-FIA-REV.pdf>
- Mendoza, M. F., Núñez, L., & Pacheco, D. (2014). *Cálculo del consumo de agua virtual y su impacto en la huella hídrica de los estudiantes de la preparatoria federal por cooperación "Lic. Andrés Quintana Roo"*. Resumen Académico. Academia de Ciencias de Morelos, Cuernavaca.
- MINAGRI, ANA, WWF. (2015). *Huella hídrica del Perú: Sector Agropecuario*. Obtenido de https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/huella_hidrica_final.pdf
- MINAM. (2014). *Revista MINAM 5ta Edición*.
- MINAM. (2019). *Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales*. Viceministerio de Gestión Ambiental. Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos., Lima-Perú. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/279521-guia-para-elaborar-la-caracterizacion-de-residuos-solidos>
- MINEM. (s.f.). *Guía de orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético. Sector transporte*.
- Ministerio de Producción. (2016). *Estadística Sectorial. PRODUCE*.
- Municipalidad Distrital de Comas. (2019). *Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de Comas*. Lima.
- Municipalidad Distrital de Comas. (2022). *Municipalidad Distrital de Comas*. Obtenido de <https://municomas.gob.pe/>
- National Institute for Public Health and the Environment. Netherlands. (2018). *RIVM Committed to health and sustainability*. . Obtenido de <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>
- Naughton, C. (2020). Will the COVID-19 pandemic change waste generation and composition?: The need for more real-time waste management data and systems thinking. *Resources, Conservation and Recycling*, 162(105050). doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105050>

- OCDE; Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos. (2012). *Perspectivas Ambientales de la OCDE hacia 2050. Consecuencias de la inacción*.
- ONU. (2015). ONU. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2012). *Education for Sustainable Development Sourcebook*. París, Francia. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216756>
- Parada Puig, G. (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Redalyc- Red de Revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 16(1), 69-76. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/896/89625076001.pdf>
- Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environ Sci Technol*, 43(11), 4098–4104. doi:10.1021/es802423e
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, GEO 6: Planeta Sano, personas sanas, Nairobi*.
- Rattana, S., & Gheewala, S. (2019). Environment impacts assessment of petroleum plastic and bioplastic carrier bags in Thailand. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 10(1), 9-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105451>
- Rendón, E. (2015). La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú. *Saber y Hacer, Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(1), 34-47.
- Requena Sanchez, N. P., Carbonel Ramos, D., & Diaz Campodónico, L. F. (2021). A novel methodology for household waste characterization during the COVID-19 pandemic: case study results. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10163-021-01309-1>
- Requena Sanchez, N., Carbonel Ramos, D., & Vallester, E. (2021). Generación y segregación de residuos sólidos domiciliarios durante la cuarentena por Covid-19 en Panamá, estudio de caso. *Investigación y Pensamiento Crítico*, 9(2). doi:<https://doi.org/10.37387/ipc.v9i2.232>
- Requena Sánchez, N., Carbonel Ramos, D., & Vallester, E. (2021). Generación y segregación de residuos sólidos domiciliarios durante la cuarentena por Covid-19 en Panamá, estudio de caso. *Revista Académica USMA*, 9(2). doi:<https://doi.org/10.37387/ipc.v9i2.232>
- Requena-Sanchez, N., Carbonel-Ramos, D., & Diaz-Campodónico, L. F. (2022). A novel methodology for household waste characterization during the COVID-19 pandemic: case study results. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 200-209. doi:<https://doi.org/10.1007/s10163-021-01309-1>
- Requena-Sanchez, N., Carbonel-Ramos, D., Moonsammy, S., Klaus, R., Sicha Punil, L., & Tsun Wai Ng, K. (2022). Virtual Methodology for Household Waste Characterization During The Pandemic in An Urban District of Peru: Citizen Science for Waste Management. *Environmental Management*(69), 1078-1090. doi:<https://doi.org/10.1007/s00267-022-01610-1>
- Riveros, J. C., Germaná, C., & Alvarez, C. (2014). *Un frágil ciclo. Agua, energía y población en Lima*. Lima-Perú: WWF Perú. Obtenido de http://awsassets.panda.org/downloads/publicacion_un_fragil_ciclo_agua_energia_y_poblacion_en_lima.pdf
- RIVM. Committed to health and sustainability. (2018). *National Institute for Public Health and The Environment*. Obtenido de <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/what-is-lca>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Vida útil de bolsas de plásticos*. Obtenido de México: <https://eldiariodeleon.com.mx/bolsas-de-plastico-su-vida-util-es-de-15-minutos-y-tardan-en-degradarse-hasta-200-anos-reportaje/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Huella ecológica, datos y rostros*. México. Obtenido de http://www.sema.gob.mx/descargas/manuales/HuellaEcologica_SEMARNAT.pdf
- Skunca, D., Tomasevic, I., Nastasijevic, I., Tomovic, V., & Djekic, I. (2018). Life cycle assessment of the chicken meat chain. *Journal of Cleaner Production*, 184, 440-450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.274>
- Soares Cabral, C. F., Elabras Veiga, L. B., Araújo, M. G., & Quiterio de Souza, S. L. (2020). Environmental life cycle assessment of goat cheese production in Brazil: A path towards sustainability. *LWT*, 129(109550). doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109550>
- Vallejo-Chaverri, A. L. (2015). *Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en plantas empacadoras de banano en Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6305>
- Water Footprint Network. (2017). *Water Footprint Network*. Obtenido de Product gallery: <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>
- Water Footprint Network. (2020). *Water Footprint Network. Fair & smart use of the world's fresh water*. Obtenido de <https://waterfootprint.org/en/>
- Wise Irrisystem & La Revolución azul. (2017). *Cálculo de la Huella Hídrica en cultivo de pimiento-Finca Almerimar*. Obtenido de <http://www.esagua.es/wp-content/uploads/2017/05/Calculo-de-la-Huella-H%C3%ADdrica-en-cultivo-de-Pimiento-Finca-Almerimar.pdf>
- World Wide Fund for Nature- WWF. (2012). *Planeta vivo. Informes del 2004, 2006, 2008, 2010, 2012*.
- WULCA. (2016). *AWARE*. Obtenido de Factores AWARE: <https://wulca-waterlca.org/aware/download-aware-factors/>
- Zevallos Santillan, E., Cruzado Burga, J., & Avalos Rivera, R. (2020). COVID-19; Perú a los 100 días, breve observación de una pandemia que pone en serios aprietos a la salud pública mundial. *Revista Médica Herediana*, 31(4). doi:<http://dx.doi.org/10.20453/rmh.v31i4.3865>

ANEXOS

Anexo 1: Regla de corte para la exclusión de insumos ⁶ mayores al 3% del total utilizados en el estudio de caracterización convencional

| N° | TIPO DE INSUMO (CONSUMIBLE ^a /FIJO ^b) | INSUMO | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO (S/) | TOTAL (S/) | Vida útil (horas) por insumo | Vida útil total (horas) | Precio/hora | % |
|----|--|---|------------|----------|------------|------------|------------------------------|-------------------------|-------------|-------|
| 1 | CONSUMIBLE | Papel bond A4 80 gramos | Unidad | 1000 | 0.025 | 25 | 2 | 66 | 0.38 | 0.07 |
| 2 | CONSUMIBLE | Arroz | Kilogramos | 37.5 | 3.5 | 131.25 | 0.133 | 5.00 | 26.25 | 5.03 |
| 3 | CONSUMIBLE | Pollo | Kilogramos | 37.5 | 10 | 375 | 0.133 | 5.00 | 75.00 | 14.38 |
| 4 | CONSUMIBLE | Zanahoria | Kilogramos | 2.25 | 2 | 4.5 | 2.222 | 5.00 | 0.90 | 0.17 |
| 5 | CONSUMIBLE | Pimiento | Kilogramos | 11.25 | 9 | 101.25 | 0.444 | 5.00 | 20.25 | 3.88 |
| 6 | CONSUMIBLE | Alverja | Kilogramos | 2.25 | 8 | 18 | 2.222 | 5.00 | 3.60 | 0.69 |
| 7 | CONSUMIBLE | Choclo | Kilogramos | 7.5 | 8 | 60 | 0.667 | 5.00 | 12.00 | 2.30 |
| 8 | CONSUMIBLE | Cebolla | Kilogramos | 7.5 | 2 | 15 | 0.667 | 5.00 | 3.00 | 0.58 |
| 9 | CONSUMIBLE | Ajos | Kilogramos | 3.75 | 13 | 48.75 | 1.333 | 5.00 | 9.75 | 1.87 |
| 10 | CONSUMIBLE | Papa | Kilogramos | 37.5 | 2 | 75 | 0.133 | 5.00 | 15.00 | 2.88 |
| 11 | CONSUMIBLE | Queso | Kilogramos | 15 | 20 | 300 | 0.333 | 5.00 | 60.00 | 11.50 |
| 12 | CONSUMIBLE | Lechuga | Kilogramos | 2.25 | 10 | 22.5 | 2.222 | 5.00 | 4.50 | 0.86 |
| 13 | CONSUMIBLE | Ají amarillo | Kilogramos | 3 | 7 | 21 | 1.667 | 5.00 | 4.20 | 0.81 |
| 14 | CONSUMIBLE | Huevo | Kilogramos | 0.75 | 5 | 3.75 | 6.667 | 5.00 | 0.75 | 0.14 |
| 15 | CONSUMIBLE | Aceituna | Kilogramos | 0.6 | 35 | 21 | 8.333 | 5.00 | 4.20 | 0.81 |
| 16 | CONSUMIBLE | Leche | Litros | 15 | 5 | 75 | 0.5 | 5.00 | 15.00 | 2.88 |
| 17 | CONSUMIBLE | Bebidas de agua de 600 ml | Unidades | 150 | 2 | 300 | 1 | 10 | 30.00 | 5.75 |
| 18 | CONSUMIBLE | Bolsas de polietileno de baja densidad de 75 litros | Unidad | 2080 | 0.22 | 457.6 | 0.25 | 2 | 228.80 | 43.86 |

⁶ Insumos mayores al 3%: arroz, pollo, pimiento, queso, bebidas de agua de 600 ml y bolsas de polietileno de baja densidad de 75 litros

| | | | | | | | | | | |
|----|------------|---|--------|-----|------|------|------|-------|------|------|
| 19 | CONSUMIBLE | Polos de algodón personalizados | Unidad | 15 | 15 | 225 | 80 | 80 | 2.81 | 0.54 |
| 20 | CONSUMIBLE | Gorras de algodón personalizados | Unidad | 15 | 10 | 150 | 80 | 80 | 1.88 | 0.36 |
| 21 | FIJO | Cilindros de metal de 220 litros | Unidad | 3 | 100 | 300 | 2080 | 6240 | 0.05 | 0.01 |
| 22 | FIJO | Wincha de 5 metros | Unidad | 1 | 12 | 12 | 1040 | 1040 | 0.01 | 0.00 |
| 23 | FIJO | Balanza electrónica de plataforma de 50 Kg y 5 gramos como mínimo | Unidad | 1 | 500 | 500 | 4160 | 4160 | 0.12 | 0.02 |
| 24 | FIJO | Escoba + Recogedor | Unidad | 3 | 17 | 51 | 1040 | 3120 | 0.02 | 0.00 |
| 25 | FIJO | Manta plástica de polietileno de 5m x 10m | Unidad | 3 | 25 | 75 | 2080 | 6240 | 0.01 | 0.00 |
| 26 | FIJO | Mandil de plástico | Unidad | 15 | 6 | 90 | 2080 | 31200 | 0.00 | 0.00 |
| 27 | FIJO | Protector blanco | Unidad | 15 | 15 | 225 | 2080 | 31200 | 0.01 | 0.00 |
| 28 | FIJO | Par de Botas de caña alta | Unidad | 15 | 100 | 1500 | 692 | 10380 | 0.14 | 0.03 |
| 29 | CONSUMIBLE | Guantes | Unidad | 240 | 0.35 | 84 | 8 | 64 | 1.31 | 0.25 |
| 30 | CONSUMIBLE | Mascarillas | Unidad | 120 | 0.2 | 24 | 8 | 64 | 0.38 | 0.07 |
| 31 | CONSUMIBLE | Jabón carbólico paquetes de 3 unidades | Unidad | 3 | 1 | 3 | 4 | 32 | 0.09 | 0.02 |
| 32 | CONSUMIBLE | Detergente en polvo | Unidad | 1 | 9 | 9 | 4 | 32 | 0.28 | 0.05 |
| 33 | FIJO | Botiquín | Unidad | 1 | 100 | 100 | 1384 | 1384 | 0.07 | 0.01 |
| 34 | FIJO | Lapiceros Azul | Unidad | 15 | 3 | 45 | 1040 | 15600 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | FIJO | Plumones gruesos negro | Unidad | 15 | 1.4 | 21 | 1040 | 15600 | 0.00 | 0.00 |
| 36 | FIJO | Cinta masking tape | Unidad | 15 | 4 | 60 | 2080 | 31200 | 0.00 | 0.00 |
| 37 | FIJO | Tijera Oficina 17 cm x 1 unidad | Unidad | 15 | 3.7 | 55.5 | 1040 | 15600 | 0.00 | 0.00 |
| 38 | FIJO | Tablero de madera A4 | Unidad | 15 | 4.5 | 67.5 | 1040 | 15600 | 0.00 | 0.00 |
| 39 | FIJO | Computadora de escritorio | Unidad | 3 | 3000 | 9000 | 6240 | 18720 | 0.48 | 0.09 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|--------|---|-------|---------|-------|--------|--------|------|
| 40 | FIJO | CPU | Unidad | 3 | 1000 | 3000 | 6240 | 18720 | 0.16 | 0.03 |
| 41 | FIJO | Impresora | Unidad | 1 | 400 | 400 | 10400 | 10400 | 0.04 | 0.01 |
| 42 | FIJO | Proyector | Unidad | 1 | 500 | 500 | 6240 | 2000 | 0.25 | 0.05 |
| | | | | | TOTAL | 18551.6 | | 238909 | 521.71 | 100 |

Nota. a. Se consideran consumibles los insumos que se utilizan en un (01) estudio de caracterización. b. Se consideran fijos los insumos que se utilizan en más de un (> 01) estudio de caracterización.

Anexo 2: Regla de corte para la exclusión de insumos ⁷ mayores al 3% del total utilizados en el estudio de caracterización virtual

| N° | TIPO DE INSUMO (CONSUMIBLE ^a /FIJO ^b) | INSUMO | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO (S/) | TOTAL (S/) | Vida útil (horas) por insumo | Vida útil total (horas) | Precio/hora | % |
|----|--|--|--------|----------|------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------|-------|
| 1 | CONSUMIBLE | Papel bond A4 80 gramos | Unidad | 300 | 0.023 | 6.9 | 2 | 60 | 0.12 | 0.42 |
| 2 | CONSUMIBLE | Bolsas de polietileno de baja densidad de 75 litros | Unidad | 780 | 0.22 | 171.6 | 0.25 | 6.5 | 26.40 | 97.16 |
| 3 | FIJO | Balanza de 5Kg | Unidad | 1 | 20 | 20 | 4160 | 4160 | 0.00 | 0.02 |
| 4 | FIJO | Lapiceros Azul | Unidad | 30 | 3 | 90 | 1040 | 31200 | 0.00 | 0.01 |
| 5 | FIJO | Plumones gruesos negro | Unidad | 30 | 1.4 | 42 | 1040 | 31200 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | FIJO | Cinta masking tape | Unidad | 30 | 4 | 120 | 2080 | 62400 | 0.00 | 0.01 |
| 7 | FIJO | Tijera Oficina 17 cm x 1 unidad | Unidad | 30 | 3.7 | 111 | 1040 | 31200 | 0.00 | 0.01 |
| 8 | FIJO | Computadora de escritorio | Unidad | 30 | 3000 | 90000 | 6240 | 187200 | 0.48 | 1.77 |
| 9 | FIJO | CPU | Unidad | 30 | 1000 | 30000 | 6240 | 187200 | 0.16 | 0.59 |
| | | | | | | TOTAL | | 534626.50 | 27.17 | 100 |

Nota. a. Se consideran consumibles los insumos que se utilizan en un (01) estudio de caracterización. b. Se consideran fijos los insumos que se utilizan en más de un (> 01) estudio de caracterización.

⁷ Insumos mayores al 3%: bolsas de polietileno de baja densidad de 75 litros

Anexo 3: Fotografías tomadas durante la medición del volumen de agua de ingreso en el estudio de caracterización virtual

Pesaje de residuos previo lavado



Lavado de residuos inorgánicos



Medición de volumen de agua



Medición de volumen de agua



Nota. Fuente propia.

Anexo 4: Análisis de Incertidumbre

Tabla 41. Datos utilizados para determinar los volúmenes de flujos del balance de agua de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Estudio de caracterización convencional | | | |
|--|---|--|--|
| Descripción del flujo | Fuente | Recopilación de datos | Cálculo |
| Red de agua potable pública | ANA, MINAM (2014) | Datos de cantidad de días, número de veces al día y número de personas que usan agua doméstica en los servicios higiénicos e investigación bibliográfica | Se calculó el volumen de agua vertida al alcantarillado, con los datos de cantidad de días, número de veces al día y número de personas que usan de agua doméstica. Se consideró para el lavado de manos (20 L/min por caño abierto) y para la descarga de inodoro común (18 L por cada vez que se jala la palanca del inodoro). |
| Vertimiento al alcantarillado | ANA, MINAM (2014) | Datos de cantidad de días, número de veces al día y número de personas que usan agua doméstica en los servicios higiénicos e investigación bibliográfica | Se calculó el volumen de agua vertida al alcantarillado, con los datos de cantidad de días, número de veces al día y número de personas que usan de agua doméstica. Se consideró para el lavado de manos (20 L/min por caño abierto) y para la descarga de inodoro común (18 L por cada vez que se jala la palanca del inodoro). |
| Estudio de caracterización virtual | | | |
| Red de agua potable pública | Datos propios | Kg de residuos sólidos inorgánicos previo lavado, volumen de uso de agua doméstica empleada para el lavado de residuos, Kg de residuos sólidos inorgánicos lavados por estudio de caracterización. | Se realizaron cinco repeticiones para determinar el volumen de uso de agua doméstica por kilogramo de residuo. El ratio determinado fue de 0.0815 m ³ /Kg de residuo. Se calculó el volumen de uso de agua doméstica para el estudio de caracterización mediante el ratio y la cantidad total de Kg de residuos sólidos inorgánicos lavados por estudio de caracterización. |
| Vertimiento al alcantarillado | Datos propios | Volumen de agua de red de agua potable pública y volumen de agua evaporada para el estudio de caracterización. | Se calculó por la diferencia del volumen de agua de red de agua potable pública-volumen de agua evaporada. |
| Evaporación | Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006 | Datos de número de días, número de hogares y área utilizada por persona en el lavado de residuos e investigación bibliográfica. | Se utilizaron los datos de evapotranspiración de referencia (Eto) según CLIMWAT 2.0 for CROPWAT en mm/día para la estación más cercana (Lima). Se calculó el volumen de agua evaporada con los datos de número de días, número de hogares, área utilizada por persona y evapotranspiración de referencia. |

Nota. Elaboración propia

Tabla 42. Factores de conversión para la Huella Hídrica Indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Insumo | Factor de conversión | Unidad | Fuente | Cálculo |
|-------------------------------|----------------------|---|--|--|
| Arroz | 6.496 | m ³ /Kg | Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2012. | Producto del factor de conversión y el consumo de arroz. |
| Pollo | 4.325 | m ³ /Kg | Product gallery of Water Footprint Network (WFN), 2012 | Producto del factor de conversión y el consumo de pollo. |
| Pimiento | 0.083 | m ³ /Kg | Wise Irrisystem, 2017. | Producto del factor de conversión y el consumo de pimiento. |
| Queso | 3.178 | m ³ /Kg | Product gallery of Water Footprint Network (WFN), 2012 | Producto del factor de conversión y el consumo de queso. |
| Bebidas de agua | 0.00173 | m ³ /litro de bebida de agua | polyvinylidenchloride, granulate, at plant/RER U | Producto del factor de conversión y el consumo de bebidas de agua. |
| Bolsas de polietileno | 0.00003 | m ³ /unidad | Chet Chaffee and Bernard R. Yaros, 2007. | Producto del factor de conversión y el consumo de bolsas de polietileno. |
| Diésel-recolector de residuos | 0.00033 | m ³ /Km | S. Mahdi Hosseinian, Reza Nezamoleslami, 2017. | Producto del factor de conversión y el consumo de combustible. |
| Diésel-voluntarios y choferes | 0.00033 | m ³ /Km | S. Mahdi Hosseinian, Reza Nezamoleslami, 2017. | Producto del factor de conversión y el consumo de combustible. |
| Electricidad | 0.0163 | m ³ /Kw.h | electricity, medium voltage, production PE, at grid/PE | Producto del factor de conversión y el consumo de electricidad. |

Nota. Elaboración propia

Tabla 43. Factores de conversión para la Huella de escasez de agua directa de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Descripción del flujo | Factor AWARE | Unidad | Descripción del factor AWARE | Fuente | Cálculo |
|-----------------------|--------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Evaporación | 15.49 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio del mes de Setiembre | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio AWARE del mes de setiembre de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el volumen de consumo de agua evaporada. |

Nota. Elaboración propia

Tabla 44. Factores de conversión para la Huella de escasez de agua indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Insumo | Factor AWARE | Unidad | Descripción del factor AWARE | Fuente | Cálculo |
|-----------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Arroz | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio anual | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de arroz. |
| Pollo | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio anual | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de pollo. |
| Pimiento | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio anual | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de pimiento. |
| Queso | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio anual | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de queso. |
| Bebidas de agua | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio anual | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de bebidas de agua. |
| Bolsas de polietileno | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio anual | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de bolsas de polietileno. |
| Diésel-recolector de | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, | Google Earth, Aware v1.2, | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, |

| | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-----------------------------------|---|--|---|
| residuos | | | promedio anual | abril 2016 | 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de combustible. |
| Diésel- voluntarios y choferes | 16.41 | m ³ -eq/m ³ | Departamento de Lima, promedio anual | Google Earth, Aware v1.2, abril 2016 | Se calculó el promedio anual AWARE de las celdas 9812, 9800, 9774, 9775, 9750, 9734, 9714 y 9691, provenientes de Google Earth, Aware v1.2. Se realizó el producto del dato promedio AWARE obtenido con el consumo de combustible. |
| Energía eléctrica | 27.79 | m ³ -eq/m ³ | Perú, promedio anual | Promedio anual de países y regiones. Aware v1.2, abril 2016 | Producto del promedio AWARE obtenido y el consumo de electricidad. |

Nota. Elaboración propia

Tabla 45. Factores de conversión para la evaluación de la Huella de eutrofización de agua directa de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Descripción del flujo | Factor de conversión | Unidad | Fuente | Cálculo |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------|--|
| Vertimiento al alcantarillado | 1 | kg P-eq. to freshwater/kg P total | ReCiPe 2016 v.1.1 | Producto del factor de conversión y Kg P total obtenido de la DBO. |

Nota. Elaboración propia

Tabla 46. Factores de conversión para la evaluación de la Huella de eutrofización de agua indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Insumo | Factor de conversión | Unidad | Fuente | Cálculo |
|-------------------------------|----------------------|----------------|---|--|
| Arroz | 0.00122 | Kg P eq/Kg | Jimmy, A.N., Khan, N.A., Hossain, M.N. et al. (2017). | Producto del factor de conversión y el consumo de arroz. |
| Pollo | 0.0084 | Kg P eq/Kg | Skunca, Dubravka; Tomasevic, Igor; Nastasijevic, Ivan; Tomovic, Vladimir; Djekic, Ilija (2016). | Producto del factor de conversión y el consumo de pollo. |
| Pimiento | 0.0011 | Kg P eq/Kg | Maurizio Cellura; Sonia Longo; Marina Mistretta (2012). | Producto del factor de conversión y el consumo de pimiento. |
| Queso | 0.0141 | Kg P eq/Kg | Soares, C. F. V., Elabras Veiga, L. B., Araújo, M. G., & de Souza, S. L. Q. (2020). | Producto del factor de conversión y el consumo de queso. |
| Bebidas de agua | 0.000063 | Kg P eq/L | Garcia-Suarez, Tirma; Kulak, Michal; King, Henry; Chatterton, Julia; Gupta, Arunima; Saksena, Skand (2019). | Producto del factor de conversión y el consumo de bebidas de agua. |
| Bolsas de polietileno | 0.0000016 | Kg P eq/unidad | Sudarat Rattana and Shabbir H. Gheewala (2019). | Producto del factor de conversión y el consumo de bolsas de polietileno. |
| Diésel-recolector de residuos | 0.000037 | Kg P eq/Km | Bicer, Yusuf; Dincer, Ibrahim (2018). | Producto del factor de conversión y el consumo de combustible. |
| Diésel-voluntarios y choferes | 0.000037 | Kg P eq/Km | Bicer, Yusuf; Dincer, Ibrahim (2018). | Producto del factor de conversión y el consumo de combustible. |
| Electricidad | 0.0015 | Kg P eq/Kwh | Lechón, Yolanda; De La Rúa, Cristina; Cabal, Helena (2018). | Producto del factor de conversión y el consumo de electricidad. |

Nota. Elaboración propia

Tabla 47. Factores de conversión para la evaluación del impacto en la salud humana y en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua directa de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Descripción del flujo | Factor de conversión | de | Unidad | Impacto ambiental de punto final | Fuente | Cálculo |
|-----------------------|----------------------|----|--|----------------------------------|---|---|
| Evaporación | 2.22E-6 | | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua evaporada. |
| | 6.04E-13 | | especies.año/m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |

Nota. Elaboración propia

Tabla 48. Factores de conversión para la evaluación del impacto en la salud humana y en los ecosistemas de agua dulce por el consumo de agua indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Insumo | Factor de conversión | | Unidad | Impacto ambiental de punto final | Fuente | Cálculo |
|-----------------|----------------------|--|--|----------------------------------|---|--|
| Arroz | 2.22E-6 | | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para el arroz. |
| | 6.04E-13 | | especies.año/m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |
| Pollo | 2.22E-6 | | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para el pollo. |
| | 6.04E-13 | | especies.año/m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |
| Pimiento | 2.22E-6 | | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para el pimiento. |
| | 6.04E-13 | | especies.año/m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |
| Queso | 2.22E-6 | | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para el queso. |
| | 6.04E-13 | | especies.año/m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |
| Bebidas de agua | 2.22E-6 | | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para |
| | 6.04E-13 | | especies.año | Ecosistema | | |

| | | | | | |
|-------------------------------|----------|---|--------------------------|---|--|
| | | /m ³ consumidos | de agua dulce | punto final. | las bebidas de agua. |
| Bolsas de polietileno | 2.22E-6 | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para las bolsas de polietileno. |
| | 6.04E-13 | especies.año /m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |
| Diésel-recolector de residuos | 2.22E-6 | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para el combustible. |
| | 6.04E-13 | especies.año /m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |
| Diésel-voluntarios y choferes | 2.22E-6 | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para el combustible. |
| | 6.04E-13 | especies.año /m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |
| Electricidad | 2.22E-6 | DALY/m ³ consumidos | Salud humana | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y el volumen de agua consumida para la electricidad. |
| | 6.04E-13 | especies.año /m ³ consumidos | Ecosistema de agua dulce | | |

Nota. Elaboración propia

Tabla 49. Factores de conversión para la evaluación del impacto en los ecosistemas de agua dulce por la huella de eutrofización directa de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Descripción del flujo | Factor de conversión | Unidad | Impacto ambiental de punto final | Fuente | Cálculo |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Vertimiento al alcantarillado | 6.71E-7 | especies.año /kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total del agua vertida al alcantarillado. |

Nota. Elaboración propia

Tabla 50. Factores de conversión para la evaluación del impacto en los ecosistemas de agua dulce por la huella de eutrofización indirecta de los estudios de caracterización convencional y virtual

| Insumo | Factor de conversión | Unidad | Impacto ambiental de punto final | Fuente | Cálculo |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|--|
| Arroz | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce del arroz). |
| Pollo | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce del pollo). |
| Pimiento | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce del pimiento). |
| Queso | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce del queso). |
| Bebidas de agua | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce de bebidas de agua). |
| Bolsas de polietileno | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce de bolsas de polietileno). |
| Diésel-recolector de residuos | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de |

| | | | | | |
|-------------------------------|---------|---------------------------------------|--------------------------|--|---|
| | | | | | agua dulce de combustible). |
| Diésel-voluntarios y choferes | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce de combustible). |
| Electricidad | 6.71E-7 | especies.año/ kg P equivalentes | Ecosistema de agua dulce | ReCiPe 2016 v.1.1. Factor de conversión de punto medio a punto final. | Producto del factor de conversión y Kg P eq total (impacto ambiental de eutrofización de agua dulce de electricidad). |

Nota. Elaboración propia

Tabla 51. Descripción de criterios para el análisis de calidad de datos

| Criterio | Descripción |
|--------------------------|---|
| Precisión | Hace referencia a la fuente de los datos, métodos de adquisición y métodos de verificación. Los datos fiables son aquellos que se han verificado y medido directamente en terreno. |
| Integridad | Representa la exhaustividad de los datos recolectados. Los datos son completos cuando todos los elementos necesarios para realizar una actividad son cuantificados. |
| Representatividad | Evalúa la correlación geográfica y tecnológica de los datos. Los datos son representativos cuando la tecnología está directamente relacionada con la utilizada en terreno. |
| Consistencia | Evalúa si la metodología del estudio se aplica de la misma manera para todos los datos. Define cómo los valores son uniformes y libres de contradicciones. |
| Reproductibilidad | Es la variación causada por el sistema de medición. Evalúa si la información acerca de los datos y el método utilizado permiten reproducir los resultados del estudio. |

Nota. Fundación Chile y ONG Aqualimpia, 2017

Tabla 52. *Análisis de calidad de datos*

| Criterio | Resultado | Sustento |
|--------------------------|------------------|---|
| Precisión | Media | Los datos de flujo de ingreso fueron datos propios obtenidos de campo, sin embargo, los de flujo de salida fueron estimados con apoyo de investigación bibliográfica, por lo que se considera que tienen una precisión media. Es recomendable tener registros del volumen de agua de uso doméstico por parte de cada participante para obtener resultados más precisos en los flujos de ingresos y salidas. |
| Integridad | Media | En algunos casos se han tenido que estimar datos para los flujos por falta de información y así lograr la integridad del sistema. |
| Representatividad | Media | La representatividad es media en los flujos, debido a que algunos flujos de salida fueron determinados por una estimación apoyada de una investigación bibliográfica. |
| Consistencia | Alta | La metodología del estudio es aplicada de la misma manera para todos los datos. |
| Reproductibilidad | Alta | Los datos y el método utilizado en el estudio permiten reproducir los resultados del estudio. |

Nota. Elaboración propia

Asimismo, se realiza un análisis cualitativo de la incertidumbre de los resultados del presente estudio.

Tabla 53. Análisis de incertidumbre de datos, según el flujo del sistema

| Estudio de caracterización convencional | | | |
|--|---|--|----------------------|
| Nombre del flujo | Fuente de información | Supuestos utilizados | Incertidumbre |
| Red de agua potable pública | ANA, MINAM (2014) | Datos de cantidad de días, número de veces al día y número de personas que usan agua doméstica en los servicios higiénicos. Se consideró para el lavado de manos (20 L/min por caño abierto) y para la descarga de inodoro común (18 L por cada vez que se jala la palanca del inodoro). | Media |
| Vertimiento al alcantarillado | ANA, MINAM (2014) | Datos de cantidad de días, número de veces al día y número de personas que usan agua doméstica en los servicios higiénicos. Se consideró para el lavado de manos (20 L/min por caño abierto) y para la descarga de inodoro común (18 L por cada vez que se jala la palanca del inodoro). | Media |
| Estudio de caracterización virtual | | | |
| Red de agua potable pública | Datos propios | Ninguno | Baja |
| Vertimiento al alcantarillado | Datos propios | Ninguno | Baja |
| Evaporación | Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006 | Datos de número de días, número de hogares y área utilizada por persona en el lavado de residuos. Se consideraron datos teóricos de precipitación de la estación más cercana (Lima). | Media |

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 53 se observa que se han tomado algunos supuestos para la obtención de los flujos finales, por ello la incertidumbre está relacionado al nivel medio.

Tabla 54. Análisis de incertidumbre de otros datos

| Estudios de caracterización convencional y virtual | | | |
|---|--|--------------------|----------------------|
| Insumo | Fuente de información | Procedencia | Incertidumbre |
| Arroz | Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2012. | Perú | Baja |
| Pollo | Product gallery of Water Footprint Network (WFN), 2012 | Extranjera | Media |
| Pimiento | Wise Irrisystem, 2017. | España | Media |
| Queso | Product gallery of Water Footprint Network (WFN), 2012 | Global | Media |
| Bebidas de agua | polyvinylidenechloride, granulate, at plant/RER U | Sin datos | Media |
| Bolsas de polietileno | Chet Chaffee and Bernard R. Yaros, 2007. | Estados Unidos | Media |
| Diésel-recolector de residuos | S. Mahdi Hosseinian, Reza Nezamoleslami, 2017. | Estados Unidos | Media |
| Diésel-voluntarios y choferes | S. Mahdi Hosseinian, Reza Nezamoleslami, 2017. | Estados Unidos | Media |
| Electricidad | electricity, medium voltage, production PE, at grid/PE | Perú | Baja |

Nota. Elaboración propia

Observando la Tabla 53 y Tabla 54, se sabe que hay en mayor medida incertidumbre de nivel medio, y teniendo en cuenta que gran parte de los factores de conversión y de caracterización utilizados proceden de fuentes extranjeras, se considera que los resultados del estudio presentan una incertidumbre de nivel medio.