Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Propuesta de urbanización sostenible para la reducción de la huella de carbono: caso de estudio de la urbanización Las Terrazas de Cayma, Arequipa - 2024

Tesis presentada por:

Nuñez Meza, Ana Sofia

ORCID: 0009-0007-5995-7084

Diaz Chavez, Mahily Patricia

ORCID: 0009-0002-6192-1789

para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesora:

Dra. Bejarano Meza, Maria Elizabeth

ORCID: 0000-0002-4943-6097

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Julio del 2026

Dictamen: 012563-C-EPIA-2026

Visto el borrador del expediente 012563, presentado por:

2019200142 - NUÑEZ MEZA ANA SOFIA
2019800032 - DIAZ CHAVEZ MAHILY PATRICIA

Titulado:

PROPUESTA DE URBANIZACIÓN SOSTENIBLE PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO: CASO DE ESTUDIO DE LA URBANIZACIÓN LAS TERRAZAS DE CAYMA, AREQUIPA - 2024

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

29727348 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR



43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR



72384055 - MEDINA RAMOS ROBERT JOAQUIN
DICTAMINADOR



PROPUESTA DE URBANIZACIÓN SOSTENIBLE PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO ESTUDIO DE LA URBANIZACIÓN LAS TERRAZAS DE CAYMA, AREQUIPA - 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	16%	11%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	Fuente de Internet
2	repositorio.ucsm.edu.pe	Fuente de Internet
3	repositorio.usil.edu.pe	Fuente de Internet
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María	Trabajo del estudiante
5	www.coursehero.com	Fuente de Internet
6	www.editorialfondo.com	Fuente de Internet
7	repositorio.upla.edu.pe	Fuente de Internet
8	Submitted to Universidad Politécnica del Perú	Trabajo del estudiante
9	repositorio.upt.edu.pe	Fuente de Internet
10	repositorio.unasam.edu.pe	Fuente de Internet
11	Quintanilla, William David Borja. "Estudio de Eficiencia Hídrica para un Edificio Residen en la Ciudad de Quito - Ecuador", Instituto Politecnico de Leiria (Portugal), 2024	Publicación
12	cybertesis.uni.edu.pe	Fuente de Internet
13	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja	Trabajo del estudiante
14	Submitted to uncedu	Trabajo del estudiante

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al desarrollo y culminación de la presente investigación.

A nuestra asesora, Dra. María Bejarano Meza, por su orientación, acompañamiento y valiosas recomendaciones, que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A nuestros jurados, Ing. Robert Medina, Ing. Rosario Benegas e Ing. Sonia Lazarte, por sus aportes, observaciones y diferentes perspectivas, que nos permitieron enriquecer y fortalecer nuestra investigación.

De manera especial, agradecemos a los habitantes de la Urbanización Las Terrazas de Cayma, por su participación voluntaria, disposición y apoyo durante el desarrollo de nuestra investigación.

Finalmente, agradecemos a nuestros familiares y amigos, por su apoyo, compañía y aliento a lo largo de este proceso, siendo parte importante de este camino.

Mahily y Ana Sofía

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la fortaleza y sabiduría necesaria para superar cada desafío en esta etapa importante de mi vida.
A mi madre, Patricia, por mostrarme con su ejemplo a luchar siempre por mis sueños; y a mi padre, Pablo, por inculcarme la importancia de mi formación profesional y transmitirme su pasión por la naturaleza. Por último, a mi familia y amigos, por su cariño y apoyo, gracias por compartir este logro conmigo.

Mahily Patricia Díaz Chávez

A mis padres, Juan y Karina, por ser mi apoyo y fortaleza, gracias por creer en mí, por acompañar cada uno de mis pasos y por brindarme todas las oportunidades para poder formarme profesionalmente, incluso cuando eso significó para ustedes grandes esfuerzos y sacrificios. Este logro también es suyo.
Y a Toby, mi pequeño compañero de noches largas de trabajo. Hoy que ya no estás, me gusta pensar que, de alguna manera, también llegaste conmigo hasta el final de este camino.

Ana Sofía Núñez Meza

RESUMEN

Frente al desafío global del cambio climático, la transición hacia urbanizaciones sostenibles requiere medidas concretas que permitan reducir la huella de carbono inicial de la población. Esta tesis evalúa el cálculo de la huella de carbono de la urbanización Las Terrazas de Cayma, antes y después de una serie de propuestas de medidas de reducción de emisiones de GEI, con el objetivo de reducir su huella de carbono anual. Para ello, se realizó un análisis cuantitativo de la huella de carbono, considerando las emisiones generadas por el consumo de energía, consumo de agua y la generación de residuos sólidos. Según los resultados obtenidos, se determinó que la huella de carbono total de la urbanización alcanzó un valor de 19.97 tCO_2e, siendo el consumo eléctrico el principal contribuyente en la generación de emisiones, con un 65.99 % de participación. Para reducir este valor se propuso un sistema fotovoltaico que cubra las necesidades energéticas de cada vivienda; así mismo, se propuso la implementación de un sistema de recirculación de agua con un filtro de tratamiento de las aguas residuales provenientes de la ducha y lavadora, permitiendo así la reducción del consumo de agua potable y de la huella hídrica de la urbanización. Finalmente, se plantea la instalación de contenedores soterrados con el fin de priorizar la adecuada segregación de residuos sólidos, en coordinación con la municipalidad Distrital de Cayma, mediante el envío de los residuos orgánicos a su planta mecanizada de compostaje, permitiendo la valorización de este residuo y su reincorporación al mercado.

Luego de implementar estas propuestas se estimó la reducción en cada aspecto y se realizó nuevamente el cálculo de la huella de carbono, resultando en un valor de 2.65 tCO_2e, habiendo reducido un 86.7% con respecto al valor inicial. De este modo, la investigación demostró que la implementación de estrategias sostenibles permite reducir significativamente los impactos negativos asociados a las urbanizaciones, aportando al desarrollo urbano sostenible.

Palabras Clave: Huella de carbono, emisiones GEI, urbanización sostenible.

ABSTRACT

Faced with the global challenge of climate change, the transition to sustainable urbanizations requires concrete measures to reduce the initial carbon footprint of the population. This thesis evaluates the carbon footprint of the Las Terrazas de Cayma urbanization before and after a series of proposed GHG emission reduction measures, with the aim of designing a sustainable urbanization focused on reducing its annual carbon footprint. To this end, a quantitative carbon footprint analysis was conducted, considering emissions generated by energy consumption, water consumption, and solid waste generation. The results showed that the total carbon footprint of the urbanization reached 19.97 tCO_2e, with electricity consumption being the main contributor to emissions, accounting for 65.99%. To reduce this value, a photovoltaic system was proposed to cover the energy needs of each dwelling. Likewise, the implementation of a water recirculation system with a wastewater treatment filter for the shower and washing machine was proposed, thus reducing potable water consumption and the water footprint of the development. Finally, the installation of underground containers is proposed to prioritize the proper segregation of solid waste, in coordination with the Cayma District Municipality, by sending organic waste to its mechanized composting plant, allowing for the valorization of this waste and its reintegration into the market.

After implementing these proposals, the reduction in each aspect was estimated, and the carbon footprint was recalculated, resulting in a value of 2.65 tCO_2e, an 86.7% reduction compared to the initial value. Thus, the research demonstrated that the implementation of sustainable strategies significantly reduces the negative impacts associated with urban developments, contributing to sustainable urban development.

Keywords: Carbon footprint, greenhouse gas emissions, sustainable urbanization.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 2

1.1. Problemática de la investigación 3

1.2. Justificación 4

1.3. Objetivo general y objetivos específicos 5

1.4. Hipótesis 6

CAPÍTULO II 7

FUNDAMENTO TEÓRICO 7

2.1 Antecedentes de la investigación 8

2.1.1. Urbanización Sostenible 8

2.1.1.1. Recirculación de agua: 8

2.1.1.2. Sistema fotovoltaico: 9

2.1.1.3 Sistema de segregación de residuos: 11

2.1.3 Huella de Carbono: 13

2.2 Marco teórico 16

2.2.1. Desarrollo urbano en el Perú y la ciudad de Arequipa 16

2.2.2. Cambio climático y huella de carbono 16

2.2.3. Consumo de recursos y generación de residuos en urbanizaciones residenciales 19

2.2.3.1. Consumo de agua 19

2.2.3.2. Consumo de energía eléctrica 19

2.2.3.3. Generación de Residuos Sólidos Municipales 20

2.2.4. Urbanización sostenible 22

2.2.5. Estrategias para la reducción de la huella de carbono 23

2.2.5.1. Sistemas de tratamiento de agua grises y huella hídrica: 23

2.2.5.2. Disponibilidad solar en el Perú y sistemas fotovoltaicos 25

2.2.4.3. Reciclaje y compostaje 26

2.3. Marco legal 27
CAPÍTULO III 31
METODOLOGÍA 31
3.1. Tipo y nivel de investigación 32
3.2. Unidad de estudio 32
3.3. Población y Muestra 32
3.4. Diseño de la investigación 33
3.4.1. Instrumentos 33
3.4.2. Descripción del diseño de Investigación 34
CAPÍTULO IV 57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 57
4.1. Antecedentes Zona de Estudio 58
4.1.1. Las Terrazas de Cayma 58
4.1.2. Generación de Residuos sólidos periodo 2024 59
4.2. Huella de carbono de la Urbanización las Terrazas de Cayma 63
4.2.1. Consumo de agua potable 63
4.2.2. Consumo de energía eléctrica. 67
4.2.3. Generación de residuos sólidos y composición porcentual según MINAM . 72
4.2.3.1. Generación de residuos sólidos de la Urbanización 72
4.2.3.2. Cálculo de la composición porcentual 78
4.2.4. Cálculo de la huella de carbono 81
4.3. Propuesta de una urbanización sostenible 83
4.3.1. Sistema de recirculación de agua: 83
4.3.1.1. Modelo matemático de regresión lineal para el consumo de agua 83
4.3.1.2. Cálculo de la huella hídrica 88
4.3.1.3. Tratamiento de aguas grises 94
4.3.2. Sistema fotovoltaico: 100
4.3.2.1. Resultados principales del sistema fotovoltaico 101
4.3.3. Propuesta implementación de contenedores. 105
4.3.3.1. Cálculo del volumen y densidad de los residuos muestreados. 105
4.3.3.2 Cantidad y tipos de contenedores a implementar. 110
4.4. Reevaluación de la huella de carbono 112
4.5. Estimación de costos de las propuestas 120

4.5.1. Presupuesto estimado del sistema fotovoltaico 121
4.5.2. Presupuesto del sistema de recirculación de agua con filtro de tratamiento.122
4.5.3. Presupuesto de la instalación de contenedores soterrados.....123
CAPÍTULO V.....127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 127
5.1. CONCLUSIONES 128
5.2. RECOMENDACIONES 129
CAPÍTULO VI 131
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Marco Legal *27*
Tabla 2. Tipo y nivel de investigación *32*
Tabla 3. Operacionalización de variables *32*
Tabla 4. Volumen y densidad de los residuos orgánicos *35*
Tabla 5. Promedio de densidades por tipo de residuos *37*
Tabla 6. Total de muestras de acuerdo a su representatividad *38*
Tabla 7. Ficha de Recolección de Datos de consumo eléctrico y de agua *40*
Tabla 8. Análisis Crítico de la utilización de la Calcualdora Pública de Huella de Carbono Perú del MINAM *43*
Tabla 9. Rutas de Recolección de Residuos Sólidos *59*
Tabla 10. Cantidad de Residuos Sólidos Dispuestos *61*
Tabla 11. Consumo mensual de agua potable por vivienda en el periodo 2024 ..... *63*
Tabla 12. Consumo de agua potable de la red pública en m³ en el periodo 2024 ..... *65*
Tabla 13. Emisiones de GEI por consumo de agua potable *66*
Tabla 14. Consumo de energía mensual durante el año 2024 ..... *67*
Tabla 15. Consumo de electricidad del SEIN en KWh *69*
Tabla 16. Emisiones de GEI en tCO_2e por consumo de energía *70*
Tabla 17. Generación de pulpa de papel, cartones y otros durante el año 2024 ..... *72*
Tabla 18. Generación de comida, residuos de comida, tabaco y otros durante el año 2024 ..... *73*
Tabla 19. Generación de plástico, metales y otros durante el año 2024 ..... *73*
Tabla 20. Generación de textiles durante el año 2024 ..... *74*
Tabla 21. Generación de residuos anual total *75*
Tabla 22. Generación de residuos sólidos en Kg *76*
Tabla 23. Emisión de GEI anual por residuos sólidos *77*
Tabla 24. Generación semanal de residuos sólidos aprovechables durante el año 2024 ..... *79*
Tabla 25. Generación total semanal de residuos aprovechables *80*
Tabla 26. Resumen de Emisiones de GEI durante el periodo 2024 ..... *81*
Tabla 27. Parámetros estadísticos para el modelo de regresión lineal para consumo de agua *84*
Tabla 28. Diferencia entre consumo de agua observado y estimado mediante regresión lineal *85*
Tabla 29. Caracterización de aguas grises de un efluente doméstico *90*
Tabla 30. Balance hídrico del sistema de recirculación antes y después de la implementación propuesta *92*
Tabla 31. Parámetros fundamentales del sistema fotovoltaico seleccionado *100*
Tabla 32. Resultados principales del sistema fotovoltaico *101*
Tabla 33. Volumen y densidad del papel blanco *106*
Tabla 34. Volumen y densidad del vidrio *106*
Tabla 35. Volumen y densidad del metal *106*
Tabla 36. Volumen y densidad del tetrabrick *107*
Tabla 37. Volumen y densidad de los textiles *107*

Tabla 38. Volumen y densidad del papel mixto *107*
Tabla 39. Volumen y densidad del plástico *108*
Tabla 40. Volumen y densidad del cartón *108*
Tabla 41. Volumen y densidad de los residuos orgánicos *109*
Tabla 42. Promedio de densidades por tipo de residuos *109*
Tabla 43. Cantidad y volumen de contenedores a implementar *110*
Tabla 44. Reevaluación de Emisiones de GEI *112*
Tabla 45. Estimación del costo total del sistema fotovoltaico *121*
Tabla 46. Costo total del medio filtrante *122*
Tabla 47. Movimiento de tierras *124*
Tabla 48. Estructuras *124*
Tabla 49. Suministro e instalación del sistema *124*
Tabla 50. Relleno y compactación *125*
Tabla 51. Reposición de pavimento *125*
Tabla 52. Resumen *125*
Tabla 53. Costo Total *125*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de viviendas cuantificadas *35*
Figura 2. Diagrama de flujo para la recirculación de agua *49*
Figura 3. Plano de ubicación del sistema de recirculación de agua *50*
Figura 4. Preparación de muestras de agua residual para el análisis de laboratorio *52*
Figura 5. Área de estudio *58*
Figura 6. Mapa de ubicación de viviendas seleccionadas por zonificación *59*
Figura 7. Variación mensual de Residuos Sólidos Dispuestos *62*
Figura 8. Variación mensual de consumo de agua potable *66*
Figura 9. Variación mensual del consumo de electricidad del SEIN *70*
Figura 10. Composición porcentual de residuos orgánicos e inorgánicos, periodo 2024. *80*
Figura 11. Composición porcentual de residuos inorgánicos, periodo 2024 ..... *81*
Figura 12. Modelo de regresión lineal entre el número de habitantes por vivienda y su consumo mensual promedio *87*
Figura 13. Reducción del consumo de agua por tipología de vivienda *89*
Figura 14. Comparación del consumo de agua de las casas *90*
Figura 15. Comparación del consumo de agua de los edificios *90*
Figura 16. Sistema de filtración en columna *96*
Figura 17. Balance energético mensual del sistema fotovoltaico *102*
Figura 18. Eficiencia del sistema fotovoltaico *104*
Figura 19. Sistema fotovoltaico instalado en una vivienda. *105*
Figura 20. Contenedores Soterrados *111*
Figura 21. Diseño final propuesto *112*
Figura 22. Reducción de emisiones de GEI *113*
Figura 23. Partes de un contenedor soterrado *123*

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ruta de Recolección de Residuos Sólidos RC-257-05.....*150*
Anexo 2. Requerimiento de información sobre consumo de agua potable. *151*
Anexo 3. Requerimiento de información sobre consumo de energía. *155*
Anexo 4. Registro de viviendas participantes en el estudio. *158*
Anexo 5. Ficha de registro de pesos de muestreo para el análisis de composición de residuos sólidos. *162*
Anexo 6. Uso de la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.....*163*
Anexo 7. Modelamiento Fotovoltaico.....*165*
Anexo 8. Cálculo huella hídrica......*169*
Anexo 9. Panel Fotográfico......*184*
Anexo 10. Fórmula eficiencia de paneles solares. *193*
Anexo 11. Análisis estadístico proyección futura.....*193*

ABREVIATURAS

GEI	Gases de Efecto Invernadero
CO_2	Dióxido de Carbono
CO_2e	Dióxido de Carbono Equivalente
tCO_2e	Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
CH_4	Metano
N_2O	Óxido Nitroso
SF_6	Hexafluoruro de Azufre
Kg_{WD}	Kilogramos de residuos dispuestos por año
MCF	Factor de corrección para el metano
DOC	Carbono Orgánico Degradable
Kg_C/Kg_{WD}	Kilogramos de carbono degradable por kilogramo de residuo dispuesto
DOC_f	Carbono Orgánico Realmente Degradado
GWP	Potencial de Calentamiento Global
kWp	Kilovatio Pico
kWh	Kilovatio por hora
MWh	Megavatio por hora
TJ	Terajulio
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
INACAL	Instituto Nacional de Calidad
MINAM	Ministerio del Ambiente
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
SEAL	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
SEDAPAR	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa
ECA	Estándar de Calidad Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno

tn	Tonelada Métrica
m^3	Metro cúbico

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento urbano ha traído consigo una serie de consecuencias ambientales, una de ellas el aumento significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), responsables del cambio climático. En este sentido, las ciudades juegan un rol sumamente determinante, puesto que concentran una alta demanda energética, un elevado consumo de recursos hídricos y una considerable generación de residuos sólidos. Es por ello que, frente a esta problemática, surge la necesidad de replantear los modelos de desarrollo urbano implementando propuestas sostenibles que permitan mitigar su impacto ambiental, especialmente su huella de carbono.

En el Perú, la urbanización ha experimentado un notable crecimiento, más aún en ciudades intermedias como Arequipa, pues es una de las ciudades más atractivas en términos migratorios debido a su alta concentración de recursos y oportunidades; sin embargo, su expansión urbana no siempre ha ido de la mano con criterios de sostenibilidad ambiental. Bajo este contexto, la urbanización "Las Terrazas de Cayma", al ser una zona en crecimiento, representa una oportunidad para evaluar y rediseñar la forma en que se desarrollan y planifican los espacios urbanos.

La presente investigación tiene como finalidad diseñar una urbanización sostenible enfocada en la reducción de la huella de carbono, tomando como caso de estudio la urbanización "Las Terrazas de Cayma". Para ello, se calculan las emisiones de GEI generadas por las viviendas durante el periodo 2024 mediante la Calculadora Pública de Huella de Carbono del Ministerio del Ambiente (MINAM), tomando en consideración datos reales sobre el consumo de energía eléctrica, agua potable y generación de residuos sólidos. Con base en los resultados, se plantea desarrollar propuestas de infraestructura sostenible incorporando criterios de eficiencia energética e hídrica, gestión de residuos y mejora del entorno natural. Por último, se realiza una re-evaluación de la huella de carbono a partir del nuevo diseño propuesto, con el objetivo de comparar y evidenciar la reducción de emisiones de modo que sea un modelo replicable en otras áreas urbanizables. Este estudio busca aportar al desarrollo de ciudades más sostenibles y resilientes, en dirección con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) fomentando una planificación urbana consciente y comprometida con la lucha contra el cambio climático.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

La expansión urbana ha llevado al diseño de viviendas convencionales a adoptar modelos repetitivos, que, en muchos casos, desaprovechan los recursos naturales disponibles y generan impactos ambientales negativos. Actualmente, las ciudades concentran a más de la mitad de la población mundial y se caracterizan por presentar elevados niveles de consumo de recursos, convirtiéndose en focos de emisión de gases de efecto invernadero (Zhong et al., 2023).

En cuanto al recurso hídrico, los patrones de consumo doméstico han incrementado la demanda de agua potable, generando presión sobre las fuentes hídricas disponibles. En el Perú, ciudades como Lima y Arequipa presentan elevados niveles de consumo debido a su densidad poblacional. Además, los procesos de captación, tratamiento y distribución del agua requieren un considerable consumo energético, vinculando el uso del recurso hídrico con la generación de emisiones de dióxido de carbono (Murgui Mezquita, Cabrera Marcet, Pardo Picazo y Cabrera, 2009).

Respecto al consumo energético, el uso de electricidad representa una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en urbanizaciones convencionales donde no se implementan estrategias de eficiencia energética ni el aprovechamiento de energías renovables. Esta situación incrementa la huella de carbono del sector residencial y contribuye al agravamiento del cambio climático.

Por otro lado, los residuos sólidos urbanos no reciben un tratamiento adecuado, favoreciendo la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente metano, durante su disposición final (World Bank Group, 2024). En el Perú, la limitada valorización y aprovechamiento de los residuos sólidos municipales continúa siendo un problema persistente, contribuyendo al incremento de los impactos asociados al cambio climático (MINAM, 2024).

Sin embargo, pese a la importancia del sector residencial en el consumo de recursos y en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero, aún existe información limitada a escala local sobre la huella de carbono asociada a urbanizaciones convencionales en la ciudad de Arequipa. En ese contexto, resulta necesario medir la huella de carbono de la urbanización Las Terrazas de Cayma, a fin de establecer una línea base que permita identificar oportunidades de reducción de emisiones y orientar el diseño de propuestas de urbanización sostenible, contribuyendo a la mitigación del cambio climático a nivel local.

1.2. Justificación

A. Justificación ambiental:

Desarrollar propuestas de infraestructura sostenible orientadas a los espacios urbanos permitirá reducir el impacto negativo que generan las actividades humanas sobre el medio ambiente. Al integrar tecnologías sostenibles, como sistemas de reciclaje de agua, se fomentará el uso eficiente del agua, lo que ayudará a disminuir la cantidad de materia orgánica que se vierten a los cuerpos de agua y promoverá una gestión más responsable del recurso en el ámbito residencial. Por otro lado, instalar paneles solares en las viviendas permitirá incrementar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía proveniente de fuentes tradicionales, lo que contribuirá a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Además, la instalación de un sistema de separación de residuos sólidos permitirá aprovechar y dar valor a los desechos generados en las viviendas, lo que reducirá la cantidad de residuos enviados a vertederos y minimizará las emisiones asociadas.

De este modo, con esta propuesta se estaría cumpliendo con el ODS 13, el cual menciona la necesidad de adoptar medidas urgentes para reducir los efectos del cambio climático; mediante el diseño de urbanizaciones auto-sustentables se lograría

"fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima" (ONU, s.f.) una de las metas de este ODS.

B. Justificación social:

La propuesta de urbanización sostenible permitirá mejorar la calidad de vida de los habitantes mediante el uso eficiente de los recursos hídricos y energéticos. La implementación de tecnologías sostenibles como el sistema de recirculación de agua de flujo vertical contribuye a la seguridad hídrica tanto local como global; por otro lado, los paneles fotovoltaicos permiten la generación de energía limpia y renovable, lo que contribuye a reducir la dependencia de combustibles fósiles e incluso permite proporcionar un mejor acceso de energía a las comunidades aisladas. Estas propuestas promueven la generación de empleos locales en cuanto a la instalación y mantenimiento tanto de los sistemas fotovoltaicos como de la red hídrica implementada.

La segregación de residuos sólidos mediante los tanques soterrados reduce las enfermedades relacionadas con la exposición a sustancias tóxicas y patógenos presentes en los desechos. Estas alternativas permiten mejorar la calidad del aire y contribuir a la salud pública a largo plazo.

Cabe resaltar que la adopción de prácticas sostenibles fomenta la conciencia ambiental, educación y participación ciudadana sobre la importancia de la energía renovable, la gestión sostenible del recurso hídrico y la correcta segregación de los RR.SS. Esto puede inspirar a las generaciones futuras a adoptar prácticas sostenibles y a valorar la conservación de recursos naturales.

Dentro de este propósito nos enfocamos en contribuir con el ODS 3, pues mejorará significativamente la salud de los residentes en la urbanización "Las terrazas de Cayma". Por último, también cumplimos con el ODS 11, ya que al tener comunidades inclusivas y sostenibles se garantiza la calidad de vida de las personas.

C. Justificación económica:

Con la implementación de sistemas de recirculación de agua y paneles fotovoltaicos, se tendrá una reducción de los costos operativos mediante la conservación de agua y energía; no obstante, si bien es cierto que el gasto de implementación es significativo, la evaluación costo-beneficio muestra una recuperación de la inversión y un ahorro futuro. Por otro lado, la segregación de residuos sólidos es un componente clave de la economía circular, lo cual fomenta la eficiencia en el uso de recursos y reduce la dependencia de materias primas vírgenes, contribuyendo a la economía futura.

Es por ello que con este proyecto también se contribuirá con el ODS 12, producción y consumo responsable, ya que con las medidas propuestas se realizará el uso y consumo responsable de los recursos naturales.

1.3. Objetivo general y objetivos específicos

Objetivo General:

Proponer una urbanización sostenible orientada a la reducción de la huella de carbono, tomando como caso de estudio a la Urbanización Las Terrazas de Cayma, Arequipa.

Objetivos específicos:

- Calcular las emisiones de CO_2 de la urbanización "Las Terrazas de Cayma" mediante Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.
- Desarrollar propuestas de infraestructura sostenible orientadas a la reducción de la huella de carbono de la urbanización "Las Terrazas de Cayma".
- Comparar los resultados en base a la re-evaluación de la huella de carbono, una vez aplicado el diseño.

1.4. Hipótesis

Dado que el consumo de energía eléctrica, de agua y la generación de residuos sólidos en las viviendas de la Urbanización Las Terrazas de Cayma liberan emisiones indirectas de dióxido de carbono y metano, es probable que la desarrollar propuestas de infraestructura de urbanización sostenible permita reducir estos Gases de Efecto Invernadero.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1. Urbanización Sostenible

2.1.1.1. Recirculación de agua:

La recirculación de agua es un sistema que no se ha visto implementado regularmente en viviendas arequipeñas, sin embargo, al ser una propuesta que contribuye significativamente en la conservación del agua y la reducción de la demanda del servicio de agua potable, merece el análisis de diversos estudios que permitan obtener un panorama claro sobre sus implicancias y, sobre todo, limitaciones.

Los estudios revisados coinciden en que la reutilización de aguas grises constituye una estrategia eficaz para reducir el consumo de agua potable en zonas urbanas

El aspecto que se analiza a nivel general es el ahorro de agua, de este modo, Mandal et al., 2011, diseñaron e implementaron un sistema residencial de recolección, tratamiento y reutilización de aguas grises en India, con un requerimiento hídrico de 165 L por persona al día, de los cuales 80 L corresponden a aguas grises provenientes de baño, lavandería, y el lavabo. Asimismo, del total generado, 25 L fueron utilizados para la descarga de inodoros y 55 L para riego, destacándose que aun en los meses más calurosos (mayo y junio) es suficiente este volumen de aguas grises para regar un jardín pequeño. Este estudio indica que es posible ahorrar el 48% del suministro municipal, determinando que el reuso de aguas grises en entornos urbanos constituye una estrategia eficaz para la conservación del recurso hídrico, especialmente en países en desarrollo, donde la presión sobre dicho recurso es mayor. No obstante, los autores centran su análisis únicamente en los beneficios hídricos, por lo que los impactos ambientales del tratamiento, consumo energético y evaluación económica no fueron profundizados dentro del estudio.

El estudio realizado por Wanjiru & Xia (2018) en Sudáfrica, adopta un enfoque más integral, proponiendo un sistema que acopla la reutilización de aguas grises y la captación de agua de lluvia, el cual, incrementa la confiabilidad en el suministro de agua y reduce la demanda del agua potable, suponiendo un gran impacto positivo para el ambiente. Los autores no solo resaltan el ahorro potencial del recurso hídrico, sino que, a diferencia del estudio anterior, consideran la eficiencia energética y exploran el ámbito económico. Si bien se destaca que el sistema propuesto podría reducir el costo mensual por el servicio de agua hasta en un 32.3% y, 35.7% en términos de costos energéticos, reconocen que la adopción de esta

tecnología supone una inversión inicial elevada y que su rentabilidad depende mucho de las condiciones climáticas de cada zona de estudio y de las tarifas de los servicios básicos, lo que constituye una serie de brechas para su implementación y para la generalización de sus resultados.

Es importante mencionar que, la decadencia de la seguridad hídrica por su demanda y el cambio climático, vuelven de estas tecnologías una necesidad futura, por lo que los autores destacan la importancia de la participación de los gobiernos, especialmente de ciudades con sistemas centralizados de suministro de agua poco eficientes, como el caso de Arequipa, y los invitan a crear políticas, subsidios e incentivos para fomentar su adopción.

Por otro lado, un estudio realizado en un proyecto residencial llamado "East Village at Knutsford" (Australia), amplía más la perspectiva del tema al analizar la reutilización del agua como uno de los componentes dentro de un modelo integral de urbanismo sostenible. Este se basa principalmente en suministrar energía a 36 casas adosadas utilizando únicamente fuentes renovables, así como en implementar sistemas de reutilización de agua y en transformar el paisaje industrial de la zona de estudio, en uno verde, que provea sombra, hábitat y pueda ser una fuente de producción de alimentos locales.

Para este caso se instalaron tanques de captación de agua de lluvia para cada vivienda, con el fin de abastecer a los baños y lavadoras, dicho principio es similar al del estudio anterior, sin embargo, en este caso este sistema no se evalúa de forma aislada, sino que también incluye otras estrategias ambientales como el diseño urbano, energías renovables e incluso, la gestión de recursos naturales (Byrne et al., 2020). Esta aproximación se relaciona mucho mejor con el presente estudio ya que evidencia que la sostenibilidad urbana se alcanza mediante la integración de múltiples propuestas que se complementen una a la otra. No obstante, al ser un proyecto específico, los resultados siempre van a depender de la geografía, clima y contexto económico de la zona de estudio, para poder evaluar si replicarlo resulta viable.

2.1.1.2. Sistema fotovoltaico:

La instalación de paneles solares es una excelente forma de reducir el consumo de energía eléctrica convencional, además de los costos asociados a dicho consumo, pues las viviendas utilizan energía para diferentes fines como la calefacción, refrigeración, iluminación y electrodomésticos; por ello, se revisaron estudios donde se implementan sistemas

fotovoltaicos en diversas edificaciones, los cuales coinciden en que esto constituye una de las principales estrategias no solo para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales, sino también para disminuir la huella de carbono en zonas urbanas.

Alghamdi & Alviz-Meza, (2023), propusieron una estrategia para convertir edificaciones ya existentes en unas que contengan un consumo energético neto cero; esta propuesta se basa en instalar sistemas fotovoltaicos en las paredes y en los techos de los edificios, además de la instalación de termas solares con la finalidad de evitar la demolición de este tipo de viviendas convencionales, pero aun así migrar al urbanismo sostenible. El estudio evidenció una reducción considerable en el consumo de energía y gas, no obstante, no profundizó su viabilidad a gran escala ni las restricciones constructivas que puedan tener las edificaciones.

De este modo, la investigación realizada por Altarawneh & Murtadha, (2023), resulta complementaria, pues no se centra en evaluar el impacto ambiental de estos sistemas ni la reducción cuantitativa de las emisiones de GEI, sino que aborda los retos ingenieriles asociados al diseño e implementación de urbanizaciones sostenibles. El estudio aplica un rediseño en la infraestructura; es decir, identificaron que el uso de iluminación LED y el cambio de puertas y ventanas por unas energéticamente eficientes con revestimientos de baja emisividad reducen la transferencia de calor mediante la ventana, brindando un conocimiento más integral sobre las alteraciones que se tendrían que tomar en cuenta para que una vivienda sea construida, pensada en alcanzar la mayor eficiencia energética posible.

Por otro lado, Walichnowska et al. (2025) evaluó el desempeño de un sistema fotovoltaico residencial de 4,4 kWp desarrollado mediante el software PVSyst versión 7.4, mostrando una producción anual de 4822,3 kWh, con un coeficiente de rendimiento (PR) promedio de 81,9%, evidenciando una alta eficiencia del sistema. Asimismo, del total de la energía generada, 2020 kWh fueron consumidos directamente por los habitantes y almacenados en el banco de baterías, mientras que 2802 kWh fueron inyectados a la red eléctrica, evidenciando la viabilidad técnica y energética de los sistemas residenciales con almacenamiento. Este estudio evidencia que la eficiencia de un sistema fotovoltaico puede ser potenciada de aplicarse baterías como herramienta de almacenamiento de energía; incluso, los autores van más allá del análisis y comparan la huella de carbono de hogares que utilizan diversas fuentes de electricidad, permitiéndoles llegar a la conclusión que, estos sistemas no solo son eficientes energéticamente, sino que también presentan los menores niveles de emisiones de GEI.

Finalmente, a nivel nacional, Bazán et al., (2018) evaluaron el potencial de autosuficiencia en la producción de electricidad y mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) en tres ciudades del Perú, mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos en azoteas. A diferencia de los estudios previos, esta investigación ofrece un enfoque del contexto nacional, considerando condiciones reales de irradiación solar en ciudades del Perú, para ello utilizaron el software ArcGIS para determinar el área total utilizable, así como factores de inclinación, orientación y otras características estructurales de los techos, llegando a la conclusión que, entre el 16% y el 38% de las azoteas pueden ser utilizadas para la instalación de paneles. Más aún, los autores consideraron la metodología de Evaluación de Ciclo de Vida (LCA) para cuantificar la reducción de emisiones de tCO_2e producto de la instalación de paneles fotovoltaicos; en Ayacucho, se estimó una reducción de 112 tCO_2e por año, mientras que en Pucallpa se alcanzan valores mayores a 523 kilotoneladas de CO_2e anuales, representando una diferencia importante de mitigación, lo cual demuestra que las regiones amazónicas presentan mayor potencial de reducción de emisiones debido a su dependencia de fuentes energéticas basadas en combustibles fósiles, así como su elevado potencial solar.

Estas investigaciones evidencian un amplio conocimiento sobre la instalación de paneles solares como energía renovable, al brindar diferentes enfoques y análisis centrados, desde cuantificar el ahorro en el consumo del recurso, hasta innovar nuevas formas de alcanzar la mayor eficiencia energética posible. Sin embargo, se puede evidenciar que todos los estudios dependen mucho de las condiciones climáticas y nivel socioeconómico de cada lugar, por lo que se vuelve imprescindible realizar una investigación propia, evaluando las características propias de la zona de estudio.

2.1.1.3 Sistema de segregación de residuos:

En países subdesarrollados, el concepto de reciclaje y segregación de residuos no se encuentra bien desarrollado, debido a la falta de educación y sensibilización de la población. No obstante, la problemática de residuos actual y la falta de lugares de disposición final han generado la necesidad de introducir este tema con mayor profundidad dentro de los ámbitos político, social y económico.

Existen estudios que se enfocan en la importancia del diseño e implementación de un buen sistema de segregación en zonas residenciales para prevenir la acumulación de residuos en las calles, especialmente de materia orgánica; Noborikawa Gushiken (2020) propuso un módulo doméstico de residuos orgánicos basado en el diseño Cradle to Cradle y en el

principio de la técnica de fermentación Bokashi, el cual permitiría un cambio en el comportamiento poblacional frente a la disposición de este tipo de residuos. Dicha investigación obtuvo críticas positivas de la comunidad, no obstante, se destaca la necesidad de proponer sistemas de fácil utilización que no supongan mucho tiempo dentro de la cotidianeidad de la población. De manera similar, Hernández González (2021), propuso un plan de manejo integral de residuos sólidos para un conjunto residencial en la ciudad de Córdoba, considerando la separación en la fuente, almacenamiento, recolección efectiva y sobre todo, educación ambiental, ya que el resultado de las encuestas realizadas para dicha investigación, reflejaron que más del 50% de la población total desconoce los tipos de residuos que generan, evidenciando la falta de sensibilización sobre temas ambientales.

Si bien ambos estudios coinciden en la importancia de la participación ciudadana para la implementación de sistemas de segregación de residuos, su principal limitante es que únicamente evalúan los aspectos operativos y/o administrativos de estos sistemas y no cuantifican realmente los beneficios ambientales de los mismos.

Un segundo enfoque a tomar en cuenta es la valorización de los residuos sólidos como parte de una gestión integral de los mismos; Vásquez, (2019), por ejemplo, propone el diseño de una infraestructura de reciclaje y compostaje en Trujillo, favoreciendo el aprovechamiento de los residuos y, por ende, reduciendo su disposición final, lo cual, de acuerdo al autor supone una de las principales causas del deterioro de la calidad del aire y suelo, ya que en nuestro país predominan los botaderos informales, que no cuentan con una infraestructura adecuada para prevenir las emisiones de GEI o mantener una segregación adecuada de los residuos.

A diferencia de los primeros autores, este si considera alternativas para permitir el reaprovechamiento de residuos, no obstante, al ser un estudio de arquitectura, su alcance está orientado al diseño de la infraestructura y a mencionar ciertos criterios ambientales tomados en cuenta, mas no presenta una cuantificación de la reducción de las emisiones de GEI que supondría la implementación de esta infraestructura.

Desde otro punto de vista, existen estudios que evalúan los impactos ambientales de las alternativas de manejo de residuos; pata Lou & Nair (2009) la disposición en rellenos sanitarios continúa siendo una de las principales fuentes de emisión de metano; por ello consideran que, el compostaje constituye una alternativa sencilla y efectiva para la reducción de emisiones, e incluso a pesar de que consideran estrategias de mitigación como la captura

de gases o el recubrimiento de vertederos, destacan el priorizar la reducción de la generación de residuos y la incorporación de sistemas sostenibles como el compostaje. Más aún, Phonphoton & Tongsuntud (2026), evalúan un modelo dinámico para poder comparar y cuantificar las emisiones de GEI en 3 rutas de eliminación: vertederos, incineración y compostaje. Los resultados mostraron que la incineración es una medida que incrementa exponencialmente las emisiones de GEI (43.5%) y, que la reducción de residuos en la fuente, especialmente de residuos orgánicos, es mucho más efectiva, reduciendo hasta en un 16.3% dichas emisiones. Está investigación se puede utilizar como herramienta para la toma de decisiones al momento de implementar políticas de manejo de residuos municipales, duraderas y adaptables a contextos similares.

Estos últimos estudios coinciden en que la reducción de residuos sólidos enviados a disposición final y la adecuada incorporación de alternativas como el compostaje permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Cabe mencionar que, en conjunto, los estudios mencionados destacan la importancia de la segregación de residuos en la fuente y la incorporación de alternativas de gestión sostenibles, como el reciclaje y compostaje, para poder minimizar la cantidad desechos enviados a disposición final, de manera que se migre de un consumo lineal a uno circular.

2.1.3 Huella de Carbono:

Todos los ítems ya mencionados tienen como finalidad mitigar la contaminación ambiental mediante el uso o el aprovechamiento de energía y recursos que brinda la naturaleza. Sin embargo, para saber cómo o dónde implementarlos, se debe conocer los focos de contaminación o de consumo más elevados, por lo que la huella de carbono se ha posicionado como uno de los principales indicadores para la cuantificación de las emisiones de GEI, la cual ha sido empleada por muchas instituciones, empresas, fábricas, entre otras entidades.

El concepto de huella de carbono ha evolucionado con el tiempo, como un instrumento clave para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de actividades antropogénicas. Como mencionan Duarte & Sarasa (2025), su análisis es fundamental para identificar cuáles son los sectores y procesos con mayores contribuciones al cambio climático, además de que permite diseñar políticas y/o estrategias de mitigación más efectivas. Los autores destacan que la medición de la huella de carbono supone una gestión más eficiente de los recursos; no obstante, su estudio presenta un enfoque más conceptual y

no desarrolla una aplicación cuantitativa en un caso de estudio específico, que permita evidenciar los efectos de dichas estrategias sobre la huella de carbono.

Entrando al ámbito residencial, Álvarez Mascheroni (2025), aborda soluciones constructivas e instalaciones orientadas a lograr viviendas sostenibles que tengan un alto rendimiento energético, destacando el papel de materiales de construcción eficientes, de la instalación de ventilación controlada, el uso de energías renovables, etc. Estas soluciones han demostrado tener un rol importante en la reducción del consumo energético de las viviendas y, por ende, en las emisiones de GEI. Los autores resaltan la importancia de integrar estas soluciones desde las etapas de diseño y construcción, promoviendo el cálculo de la huella de carbono y del diseño sostenible. Por otro lado, Huang et. al, (2023), brinda una perspectiva más amplia, al medir la huella de carbono de 11 hogares en Japón, analizando sus hábitos de consumo y demostrando cómo las decisiones que se toman en cuanto al transporte y al consumo energético e hídrico influyen directamente en las emisiones de GEI. De esta manera, los autores brindan una comparación y proyección de datos a futuro, que pueden utilizarse como base para investigaciones futuras.

Los últimos dos estudios coinciden en la contribución del sector residencial en el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, no obstante, mientras Álvarez Mascheroni (2025) prioriza soluciones a nivel energético e incluso considera el ACV para las etapas de construcción, Huang et. al, (2023) incorporan factores sociales y de comportamiento, evaluando el patrón de consumo residencial. Sin embargo, no se evalúan cuantitativamente las estrategias sostenibles en conjunto.

La huella de carbono también ha sido aplicada para actividades económicas/industrias, como es el caso de Chigne Arriola & Jimenez Asenjo (2025), quienes realizaron una investigación enfocada en el cálculo de la huella de carbono de una ladrillera industrial en Lambayeque. Los autores evaluaron una optimización de los procesos constructivos, pudiendo proponer una estrategia de mitigación orientada al uso de materiales de bajo impacto ambiental, la incorporación de energías renovables y la optimización en la construcción y diseño. De este modo, se toma en cuenta la ventilación y luz natural de la vivienda, así como un análisis previo de la cantidad de materiales a utilizarse, para prevenir el transporte innecesario de materiales y la generación de residuos; tomándose en consideración también las emisiones indirectas; del mismo modo, Orfanou et al., (2026) realizaron el cálculo de la huella de carbono en un hotel resort en Grecia, considerando datos como el consumo de energía, uso

de gas propano, generación de residuos sólidos y residuos alimentarios, los cuales fueron procesados mediante herramientas como RETScreen. Los resultados evidencian que el consumo de energía representa el principal aporte de emisiones, seguido por residuos alimentarios y residuos sólidos y por último se encuentra el uso de gas propano. Concluyendo que la incorporación de energía solar podría reducir las emisiones en un 36%, mientras que la implementación de gestión de residuos como el reciclaje y compostaje permitirá reducciones adicionales de hasta el 15%, demostrando que la reducción de la huella de carbono depende principalmente del consumo energético y de estrategias de gestión de residuos.

Tanto Chigne Arriola & Jimenez Asenjo (2025) como Orfanou et al., (2026), reconocen que el cálculo de la huella de carbono es beneficioso para poder plantear oportunidades de mejora y medidas sostenibles para la descarbonización, sin embargo, el alcance de sus resultados es específico para cada industria o actividad, de este modo, se pueden utilizar como referencia para analizar la reducción de emisiones de GEI, más no para demostrar su aplicabilidad en otros contextos, sin modificaciones previas.

Ahora, si bien el cálculo de la Huella de Carbono necesita de diversos factores, ecuaciones y un manejo de variedad de datos, el Ministerio del Ambiente del Perú en el año 2019 generó la herramienta "Huella de Carbono Perú", la cual *"permite reconocer cómo las organizaciones públicas y privadas han logrado gestionar sus emisiones de GEI en beneficio del ambiente."* (EY, 2020), facilitando su cálculo y constituyendo uno de los primeros pasos que demuestran la aceptación de la importancia del tema dentro del país. Diversas empresas ambientalmente responsables lo han implementado, demostrando que, de fomentar este tipo de herramientas, el Perú podría comenzar su camino hacia la sostenibilidad.

Los antecedentes revisados evidencian que la implementación de propuestas sostenibles, como los sistemas fotovoltaicos, de recirculación de agua y de segregación de residuos contribuyen significativamente a reducir los impactos ambientales negativos de las zonas urbanas. No obstante, la necesidad de evaluar dichas propuestas a nivel integral aumenta cuando lo que se busca es cuantificar sus beneficios ambientales y compararlos dentro de una misma metodología. En este sentido, la presente investigación integra propuestas sostenibles para poder evaluar en conjunto su efecto ambiental en una urbanización peruana.

2.2 Marco teórico

2.2.1. Desarrollo urbano en el Perú y la ciudad de Arequipa

- Crecimiento demográfico en el Perú.

  Durante los últimos años, el crecimiento a nivel poblacional ha incrementado la demanda de recursos básicos como el agua potable y la energía eléctrica, generando la necesidad de incrementar esfuerzos para plantear soluciones y promover acciones que enfrenten la crisis climática. Para el año 2020, el Perú se encontraba en el puesto 7 del ranking de los países más poblados de América, con 32 626 000 habitantes; además de ocupar el octavo lugar en la densidad poblacional de los países con mayor superficie en el mundo, contando con 25 habitantes por Km^2 (INEI, 2020). Para el año 2023, la población del país alcanzó los 33 726 000 habitantes, debido a que se presenta una tendencia positiva al incremento demográfico desde hace varios años; incluso se estima que para el año 2050, el Perú alcanzará una población de 39 363 000 habitantes (INEI, 2023).

- **Crecimiento urbano y pérdida de zonas rurales en Arequipa.**

  El departamento de Arequipa no se ha visto ajeno a ese crecimiento; de acuerdo al Banco Central de Reserva del Perú, en el periodo 2007 - 2017, la tasa de incremento poblacional fue de 1.8%, registrándose una población total de 1 080 635 habitantes a finales de este periodo y, para el 2022, aumentó a 1 578 244 (MINSA, 2018). De acuerdo a estos datos, se puede inferir que el crecimiento urbano es inversamente proporcional al crecimiento o conservación de zonas rurales; es decir, que Arequipa ha ido perdiendo campiña, reduciéndose hasta en un 40% desde el año 2010 (Martínez Vargas, 2021), dándole un nuevo uso al suelo y, por ende, privando al ambiente de autorregularse por acción de la vegetación.

2.2.2. Cambio climático y huella de carbono

Ante el impacto ampliamente devastador que han tenido las actividades humanas sobre el planeta, a partir de la Revolución Industrial se han generado cambios profundos y significativos sobre el sistema climático global, siendo el cambio climático uno de los mayores retos con los que se enfrenta hoy la humanidad.

- **Cambio climático**

Las actividades humanas han sido responsables del aumento de la temperatura media global en aproximadamente 1.1º C respecto de los niveles preindustriales, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) producidos por la producción energética, la industria o el consumo. De acuerdo a ello, el Acuerdo de París de 2015, adoptado por 195 países bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, fija el compromiso de mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2º C, estableciendo esfuerzos por no pasar de los 1.5º C, además de fomentar la transición hacia emisiones netas cero hacia el 2050 (Jahandideh et al., 2026).

Por su parte, el sector residencial contribuye de manera indirecta al aumento de la huella de carbono, a través del consumo de energía eléctrica para el uso de calefacción, ventilación, aire acondicionado, iluminación y uso de electrodomésticos; del mismo modo, incluye transporte, residuos, agua, entre otros (EPA, 2015). Bajo este contexto, la adopción de tecnologías sostenibles es crucial para disminuir el impacto ambiental de las áreas urbanas y del mismo modo contribuir al cumplimiento de los objetivos globales de mitigación del cambio climático.

- **Principales gases de efecto invernadero**

- **Dióxido de carbono CO_2**

"El dióxido de carbono, es el principal gas de efecto invernadero (GEI) que conduce al calentamiento global y, en consecuencia, al cambio climático" (Rosales Malpartida, 2022). El incremento de su concentración en la atmósfera provoca consecuencias sociales, económicas y ambientales. Aunque forma parte de los procesos naturales de la tierra, se considera contaminante cuando está asociado al parque automotor, centrales eléctricas y otras actividades antrópicas que supongan la quema de combustibles fósiles, tales como el gas natural y la gasolina. De acuerdo al National Geographic (2019), en los últimos 150 años, se ha emitido una cantidad de CO_2 lo suficientemente alta como para elevar sus niveles muy por encima de los que se han registrado desde hace miles de años. Este gas en condiciones ambientales, es inodoro e incoloro constituido por un átomo de carbono y dos de oxígeno unidos por enlaces covalentes. Se produce naturalmente por procesos de fermentación, respiración y combustión. Además, actúa como gran termostato de modo que impide

la fuga total de la radiación solar que incide en la tierra. Su concentración se regula a través de la fotosíntesis e interviene en la regulación del nivel del pH de los océanos. Sin embargo, el aumento del CO_2 en la atmósfera altera estos equilibrios naturales y contribuye al calentamiento global (Arroy & Ramírez, 2020).

- **Metano**

  El metano es el segundo gas de efecto invernadero más importante después del dióxido de carbono. Su potencial de calentamiento global es aproximadamente 25 veces mayor que el del CO_2 en un horizonte temporal de 100 años, lo cual permite la elevada capacidad de retener calor en la atmósfera.

  Las principales fuentes de emisión de metano incluyen la ganadería, la descomposición de materia orgánica en vertederos y otras actividades relacionadas con la extracción, procesamiento y transporte de combustibles fósiles. Debido a su elevado potencial de calentamiento global, las emisiones contribuyen significativamente a la huella de carbono cuando se expresan en dióxido de carbono equivalente (Quispe Ccari, 2024).

- **Huella de carbono**

La huella de carbono es un indicador ambiental que representa las emisiones de gases de efecto invernadero de manera directa o indirecta por una actividad, organización, producto o servicio. Estas emisiones contribuyen al calentamiento global y cambio climático, por ende, su medición permite evaluar el impacto que produce asociado a las actividades humanas.

La huella de carbono se expresa en dióxido de carbono equivalente (CO_2e) , esta unidad permite integrar el efecto de diferentes gases en una sola medida. Para el cálculo se multiplica la cantidad consumida o generada por el factor de emisión, el cual es establecido por organismos nacionales e internacionales como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Por lo tanto, la determinación de la huella de carbono es una herramienta importante para identificar las fuentes que generan mayores emisiones y de este modo establecer estrategias de mitigación (Espíndola & Valderrama, 2012).

2.2.3. Consumo de recursos y generación de residuos en urbanizaciones residenciales

2.2.3.1. Consumo de agua

El acceso a agua potable es uno de los principales derechos de toda persona; sin embargo, debido a la actual demanda del recurso hídrico y el aumento de la contaminación atmosférica, se debe buscar la forma de satisfacer esta necesidad de una forma sostenible.

Según un estudio realizado sobre el agua y el saneamiento del Perú, en el periodo 2019-2020, el 94.8% de la población peruana que vive en zonas urbanas consume agua proveniente de alguna red pública, mientras que el 76.3% que vive en zonas rurales accedió al servicio público (Alvarado Aldana & Marrache Echaiz, 2021); considerando que la mayor parte de la población vive en zonas urbanas, el consumo es elevado. De acuerdo a las estadísticas del INEI, un hogar en Lima consume en promedio 14 m^3 de agua al mes; además, junto con la información proporcionada por Sedapal, se puntualizó que en el mes de abril de 2023, la producción de agua potable en Lima Metropolitana alcanzó los 68 596 m^3, superando un 5.2 % a la cifra del mes de abril del 2022. (INEI, 2023)

Por otro lado, de acuerdo a un estudio de la Huella de Carbono Corporativa Red Energía del Perú (REP), se pudo observar que se clasifica al consumo de agua potable de la red pública como la tercera fuente con mayor emisión de GEI, resultando en un total de 0.07 tCO_2e, contribuyendo así en un 0.3 % a la Huella de Carbono evaluada (Alwa, 2022). Esto hace énfasis en la necesidad de disminuir el consumo de agua, mediante la evaluación de otro tipo de estrategias sostenibles que lo permitan.

2.2.3.2. Consumo de energía eléctrica

El crecimiento poblacional ha incrementado la demanda eléctrica en el Perú, especialmente en los sectores residenciales. Según el Ministerio de Energía y Minas, la producción nacional mostró una tendencia creciente pasando de 30 493 GWh en 2009 a 35 217.43 GWh en 2011 (Ríos Villacorta. 2012). Además, el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES), reportó una producción total de energía de 56 083.67 GWh durante el año 2022, reflejando el incremento de la demanda eléctrica del país.

En el ámbito regional, Arequipa ocupó el segundo puesto con mayor demanda energética del cuarto trimestre del 2022 (1405.15 GWh), ubicándose entre las regiones con mayor demanda energética (COES, 2022). Esta tendencia es importante ya que el incremento del consumo eléctrico implica una mayor utilización de recursos destinados a la generación de electricidad.

La energía eléctrica en las viviendas peruanas es suministrada por el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Según Osinergmin (2022), la potencia efectiva instalada del SEIN estuvo conformada principalmente por centrales termoeléctricas (54.09%) e hidroeléctricas (40.50%), mientras que las fuentes como la energía solar y eólica presentaron una menor participación. En este sentido, como la mayor parte de la electricidad proviene de centrales termoeléctricas que emplean combustibles fósiles, el consumo de energía se asocia indirectamente en las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo de este modo a la huella de carbono del sector residencial. Asimismo, Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2009, realizaron una proyección del consumo de energía residencial en el Perú, en el periodo 2005-2030, utilizando el software MAED_D, tomando en consideración la tendencia de crecimiento demográfico y los hábitos de consumo. Concluyendo que el consumo iría en aumento y debido a la falta de reservas de petróleo, el paso de los años agravaría la crisis energética. En este contexto, surge la necesidad de crear espacios sostenibles que mitiguen la emisión de gases de efecto invernadero, garantizando una buena calidad de vida de la población.

2.2.3.3. Generación de Residuos Sólidos Municipales

De acuerdo al INEI (2019), se considera como residuo municipal, aquellos que la población reconoce y genera frecuentemente, tanto en el hogar como en negocios. A diferencia de los residuos domiciliarios que no incluyen los generados por negocios. Además, como indica su nombre, su disposición está a cargo de las municipalidades de cada distrito.

En nuestro país, según indicadores del SIGERSOL, se generaron 8 994 762 toneladas de residuos sólidos municipales en el 2024. De los cuales 409 691 toneladas se generaron en la región de Arequipa, de este total, el 54.38% corresponden a residuos orgánicos, 22.93% a inorgánicos, 14.11% a no aprovechables y el 8.59% a residuos peligrosos. La generación per cápita de residuos domiciliarios en esta región para este año fue de 0.51 kg/hab/día (SIGERSOL, 2024).

Según la Municipalidad Provincial de Arequipa (2017), el distrito de Cayma que tiene una población de 91,935 habitantes, posee el mayor número de Generación Per Cápita domiciliaria con 0.597 kg/hab/día; además, la generación estimada de residuos sólidos es de 40.52 t/dia.

- **Gestión y disposición final de residuos sólidos a nivel nacional**

Cuando se habla de un manejo de residuos sólidos, se hace referencia al control, mediante la recolección, transporte y el tratamiento de esta materia de desecho, el cual, de estar mal gestionado, supone problemas ambientales y de salud pública.

En el Perú, el 75% de la población habita en zonas urbanas y, del total de residuos producidos, el 50% no cuenta con una disposición adecuada. Más aún, el 75% de las municipalidades del país no cuenta con una ruta de recolección de basura y el 31% de las mismas no provee de equipo de seguridad a los encargados de recolección. (Universidad Continental, 2023). A esto se le suma el hecho de que existen 1813 zonas que han sido degradadas por los botaderos y que las infraestructuras de disposición final de residuos no vienen funcionando adecuadamente. Cabe mencionar que la presencia de estas infraestructuras suele ser escasa para ciertas regiones, como es el caso de Arequipa, la cual solo cuenta con un relleno de seguridad y un relleno sanitario (Guzmán Castillo, 2023), dos áreas de disposición que tienen que acumular los residuos de una población de más de 1 millón de habitantes.

- **Emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los residuos sólidos**

La industrialización y urbanización acelerada ha provocado el incremento de la cantidad de residuos generados. Los vertederos son una de las alternativas más comunes para la eliminación de desechos municipales e industriales en todo el mundo. Sin embargo, traen consigo amenazas potenciales no solo para el suelo y las aguas subterráneas, sino que generan una mezcla de gases y olores producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica (Krčmar et al., 2018).

Los gases y olores tienen impactos negativos para el medio ambiente y la salud, sobre todo para las comunidades cercanas. La descomposición anaeróbica de los desechos en los vertederos promueve la producción de CH_4, que posee un potencial de calentamiento global de 21 múltiplos de CO_2. Estudios anteriores presagian problemas

respiratorios, neurológicos, cancerígenos y teratógenos para las personas que permanecen cerca de los vertederos (Sonibare et al., 2019).

2.2.4. Urbanización sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas exigen que las ciudades se vuelvan neutras en carbono, con proyectos de estudios de casos innovadores en nuestras ciudades que demuestran la integración de soluciones basadas en la naturaleza para mejorar la salud ambiental, las comodidades urbanas y el bienestar comunitario. Para resaltar la viabilidad de estos objetivos, son necesarios proyectos de planificación urbana sostenible que se centren en cómo descarbonizar los sistemas energéticos, aumentar el tratamiento y la reutilización de las aguas pluviales y residuales, y mejorar la calidad del diseño urbano para mejorar la habitabilidad y el bienestar. Estos procesos son a largo plazo y requieren transiciones complejas entre múltiples sistemas de infraestructura, incluidos los procesos de aprobación de diseño urbano, agua y energía (Byrne et al., 2020).

Para Telefónica (2023), los objetivos de la sostenibilidad urbana abarcan áreas de impacto donde buscan tener mayor influencia:

- Ambiental: Un barrio con enfoque sostenible busca minimizar su impacto en el medio ambiente y el territorio. Esto implica maximizar la autosuficiencia, reducir al mínimo el consumo de recursos y disminuir emisiones y residuos.
- Económico: El desarrollo urbano sostenible debe ser económicamente viable tanto para los planificadores de la ciudad como para sus habitantes.
- Social: La calidad de vida de la población es esencial para satisfacer las necesidades sociales de una ciudad o barrio.

Asimismo, los indicadores de sostenibilidad urbana deben incluir el uso de energías renovables, la promoción de la economía circular, la implementación de huertos urbanos, red de calles eficiente, reimpulso de la economía, opciones de transporte sostenible y la inclusión de ciudadanos en la toma de decisiones.

2.2.5. Estrategias para la reducción de la huella de carbono

2.2.5.1. Sistemas de tratamiento de agua grises y huella hídrica:

Las aguas grises son aquellas que proceden de lavabos, duchas y grifos, excluyendo aguas procedentes de inodoros que contengan productos químicos contaminantes con agentes patógenos y restos fecales. Generalmente, este tipo de aguas se reciclan para la recarga de cisternas de inodoro, riego de jardines, bombeo de pavimentos exteriores, lavado de vehículos, entre otros.

- **Tratamiento de aguas grises**

Junto con la contaminación orgánica y microbiológica generada en la higiene personal, las aguas grises contienen pequeñas cantidades de jabón, champú, dentífrico, detergentes, pelos; por ende, debe considerarse un tratamiento previo de estos efluentes antes de ser reciclados. En la actualidad, no existe una normativa específica en el Perú con los parámetros recomendados para aguas grises tratadas, es por ello que se opta por cumplir con los LMP o ECA - estándares de calidad ambiental para agua Categoría 3, orientado al riego de parques (Flowen, 2021).

Existen diversos sistemas de tratamiento; generalmente incluyen tres etapas: captación y almacenamiento, tratamiento y almacenamiento e impulsión del agua tratada.

De forma general se pueden calificar los siguientes sistemas (AQUA ESPAÑA, 2016):

- **Sistemas físicos:** Tienen como finalidad la separación por flotación de aceites, grasas y partículas sólidas en suspensión; además, se basan en sistemas de filtración de malla, arenillas, arenas sin previa separación de sólidos y grasas. Este sistema, si bien es económico y con menor mantenimiento, es considerado como pretratamiento por su poca eficiencia por sí mismo.
- **Sistemas físico - químicos:** Se utilizan para separación de aceite, grasas, emulsiones, partículas en suspensión, materia orgánica y turbidez. En la fase de tratamiento, incluye el uso de un prefiltro para eliminar partículas, algún tipo de coagulante/floculante y, finalmente desinfección UV o con hipoclorito de sodio

para evitar la proliferación de microorganismos. Este sistema es el más convencional.

- **Sistemas biológicos:** Los sistemas biológicos varían de acuerdo a su complejidad, en donde se busca degradar la materia orgánica mediante microorganismos. Uno de estos es el reactor biológico de membranas.

Dentro de los sistemas de tratamiento, se encuentra el filtro de flujo vertical que consiste en un sistema en donde las aguas grises atraviesan capas de material filtrante como grava, arena y diversos materiales adsorbentes, permitiendo la remoción de sólidos suspendidos a través de procesos físicos y biológicos. Por su parte, la grava se emplea como soporte y drenaje debido a elevada permeabilidad. Además, contribuye a la retención de sólidos suspendidos. En cambio, el uso del biochar favorece la adsorción de materia orgánica, nutrientes y otros contaminantes presentes en el agua. Incluso es una superficie adecuada para el desarrollo de microorganismos que participan en procesos de degradación biológica mejorando la calidad del efluente tratado. La combinación de estos medios filtrantes, en un filtro de flujo vertical permite integrar diferentes mecanismos, favoreciendo una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y la reutilización de aguas grises (COSUDE, 2005).

- **Huella hídrica**

La huella hídrica es un indicador ambiental que cuantifica el volumen de agua dulce utilizada de manera directa e indirecta para el desarrollo de un bien o servicio. De acuerdo a Hoekstra & Mekkonen (2012), presenta 3 componentes:

- **Huella hídrica azul**: proveniente de recursos hídricos superficiales o subterráneos que se evaporan, se incorporan a un producto, se extraen de un cuerpo de agua y se devuelve a otro. Por ejemplo, para el riego en la agricultura, la industria y el uso doméstico generan este tipo de huella.
- **Huella hídrica gris**: es la cantidad de agua dulce necesaria para diluir los contaminantes y cumplir con estándares de calidad de agua. Considera la contaminación que se descarga en un recurso de agua dulce a través de una tubería o escorrentía.
- **Huella hídrica verde:** hace referencia al agua de precipitación que se almacena en la zona radicular del suelo y que posterior a ello se evapora y transpira por las plantas. Relevante para productos agrícolas y forestales.

Este concepto desarrollado por Hoekstra, considera el uso directo e indirecto del recurso a lo largo de las etapas de una actividad o proceso. La huella hídrica en una vivienda, es la cantidad de agua utilizada diariamente para realizar actividades cotidianas como bañarse, usar el inodoro, lavar la ropa, limpiar, regar jardines. Según la Red Global de la Huella Hídrica, el consumo promedio diario de agua por persona varía entre 80 y 200 litros. Sin embargo, esta cifra puede ser mayor en zonas con demanda más alta como en climas cálidos o por lo contrario puede ser menor en zonas con menor disponibilidad del recurso (Red Hábitat, 2023). Por lo tanto, la implementación de medidas de ahorro, reutilización y uso eficiente de agua permite disminuir la huella hídrica y los impactos asociados a la explotación de recursos.

2.2.5.2. Disponibilidad solar en el Perú y sistemas fotovoltaicos

- **Disponibilidad solar en el Perú**

Según el Atlas Solar del peruano, la mayoría de localidades del Perú cuentan con mucha disponibilidad solar debido a sus características geográficas y climatológicas comparado con otros países. Actualmente, en el Perú, las zonas de mayor potencial se ubican en la costa sur del país, específicamente en las regiones de Arequipa, Tacna, Ica y Moquegua, pues presentan radiaciones solares promedio mayores a 5 kWh/m^2 por día (SENAMHI, 2003).

Particularmente, la región Arequipa posee aproximadamente 300 días soleados al año, donde los meses de octubre y noviembre son los que presentan mayor índice de radiación y los más bajos son mayo-junio (Rivera et al., 2018).

- **Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar según su conexión con la red eléctrica y su forma de almacenamiento de energía. Los sistemas conectados a red utilizan la energía generada por los paneles solares para abastecer la demanda eléctrica, pudiendo inyectar la energía excedente a la red. Por lo contrario, los sistemas aislados (off-grid) operan de manera independiente de la red eléctrica e incorporan el uso de baterías para almacenar la energía producida. Por su parte, los sistemas híbridos, combinan la generación fotovoltaica, el almacenamiento mediante baterías y el

suministro de la red eléctrica aportando una mayor confiabilidad en el abastecimiento energético (Cordero, 2021).

Los sistemas antes mencionados están conformados por módulos solares, inversores y, en algunos casos controladores de carga y baterías. Cuando los rayos del sol inciden sobre las células, liberan electrones generando corriente eléctrica continua, la cual se regula mediante un controlador de carga para proteger las baterías y optimizar el proceso de almacenamiento. Posteriormente, el inversor transforma la corriente continua en alterna, permitiendo el suministro de energía a los equipos y dispositivos electrónicos (Kumar et al., 2021).

Existen diferentes tipos de paneles, los monocristalinos se fabrican a partir de silicio; por ende, poseen un mayor rendimiento y suelen ser más estables a lo largo del tiempo; sin embargo, su costo tiende a ser más elevado. Por su parte, los paneles policristalinos se fabrican mediante procesos de solidificación menos complejos; lo que reduce su costo y su eficiencia. Entre las principales ventajas destacan la reducción del consumo de energía convencional, bajos requerimientos de mantenimiento y una vida útil que puede superar los 25 años. Sin embargo, su principal limitación recae en la inversión inicial requerida para su instalación (Anpier, 2022).

Por otro lado, el PVsyst es un software utilizado para el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos. Pues permite estimar la producción de energía, y evaluar el rendimiento del sistema a partir de variables climáticas y técnicas de la instalación, lo cual constituye una herramienta útil para el dimensionamiento de proyectos energéticos (Matute & Jesús, 2020).

2.2.4.3. Reciclaje y compostaje

La gestión adecuada de los residuos sólidos es una estrategia fundamental para reducir los impactos asociados a su disposición final. El reciclaje consiste en la recuperación y transformación de materiales permitiendo reincorporarse al ciclo productivo y disminuir el consumo de materias primas y recursos; de otro modo serían descartados como residuos. Entre los materiales con mayor potencia de reciclaje se encuentran el papel, cartón, plástico, vidrio y metales. Por lo tanto, la segregación en la fuente es una etapa fundamental para garantizar la eficiencia de los procesos de aprovechamiento y valorización de residuos (MINAM, 2023).

Por otro lado, los residuos orgánicos representan una fracción sustancial de los residuos sólidos domiciliarios generados en los hogares. Cuando estos residuos son dispuestos en botaderos o rellenos sanitarios, su descomposición anaerobia produce metano, un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global superior al dióxido de carbono. Por ello el compostaje permite la descomposición controlada de la materia orgánica en presencia de oxígeno, obteniéndose un producto estable conocido como compost que puede ser utilizado como fertilizante orgánico. Si bien durante el proceso de compostaje, se generan emisiones de dióxido de carbono y pequeñas cantidades de metano y óxido nitroso, estas son considerablemente menores debido al predominio de condiciones aeróbicas en el proceso (IPCC, 2006).

Estas estrategias son ampliamente reconocidas como medidas efectivas para la reducción de la huella de carbono sobre todo en comunidades urbanas o urbanizaciones residenciales.

2.3. Marco legal

Tabla 1

Marco Legal.

Ámbito	Área	Tipo de Normatividad	Título/Año	Relevancia y Aplicación para su investigación
Nacional	-	Constitución	Constitución Política del Perú (1993)	Dentro del artículo 195°, se menciona que el gobierno es competente para desarrollar y regular actividades y/o servicios en materia de saneamiento, medio ambiente, sustentabilidad de los recursos naturales, etc. Lo que respalda la necesidad de actuar a favor del ambiente, buscando nuevas maneras y tecnologías que lo preserven.
Nacional	-	Ley	Ley N°28611 - Ley general del Ambiente	Se enfoca en integrar los aspectos sociales, ambientales y

			(2005) - Artículo V	económicos, de manera que se garantice y satisfaga las necesidades de las generaciones actuales y futuras. Mediante el diseño de un espacio urbano autosustentable, se pretenden satisfacer las necesidades de cierta población, no solo a nivel de consumo, sino también para garantizar una vida saludable y digna.
Nacional	Cambio Climático	Ley	La Ley N° 30754 - Ley Marco sobre Cambio Climático (LMCC) de Perú	Tiene como objetivo reducir la vulnerabilidad del país frente al cambio climático, fomentar el crecimiento bajo en carbono y cumplir con los compromisos asumidos por el Estado, a través de políticas, planes y acciones que permitan la gestión integral de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.
Nacional	Recurso hídrico	Decreto Legislativo	DL. Nº 1280 Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento	Dentro del Artículo III, se menciona la protección del ambiente y el uso eficiente del agua, en donde se prioriza la gestión de proyectos, programas y acciones que garanticen el aprovechamiento eficiente y la conservación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas
Internacional	Recurso	Norma técnica	ISO	La huella hídrica es un

	hídrico		14046:2014, Gestión ambiental- Huella de agua	indicador de sostenibilidad que establece una metodología para la evaluación del uso del agua en organizaciones, procesos y productos, mediante el análisis de su ciclo de vida.
Nacional	Generación de electricidad	Decreto Legislativo	D.L. Nº 1002. Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.	Tiene como objetivo el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, de manera que se pueda mejorar la calidad de vida de la población y, a su vez, proteger el medio ambiente. Esto promueve la inversión por parte de terceros a propuestas de rediseño, lo que garantizaría que se lleve a cabo.
Internacional	Generación de electricidad	Ley	Ley 26.190. Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica (2006) Argentina	La presente ley promueve el uso de fuentes renovables de energía en todo el territorio nacional. Esto vuelve más popular su empleo y facilita las inversiones en un proyecto.
Nacional	Gestión de residuos	Decreto legislativo	Decreto Legislativo N° 1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos	El presente decreto establece derechos y/o obligaciones de la sociedad para asegurar la gestión de residuos sólidos económica, sanitaria y ambientalmente adecuada. Específicamente en el

	artículo 2. Menciona la recuperación y revalorización material mediante el compostaje, reciclaje, reutilización, entre otras alternativas, para garantizar la protección ambiental.

Nota: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación es de carácter cuantitativo, con un nivel correlacional.

Tabla 2

Tipo y nivel de investigación.

Categoría	Tipo	Descripción
Enfoque	Cuantitativo	Se tomarán en cuenta datos de recibos, así como la cantidad de viviendas registradas en la urbanización.
Nivel	Explicativo	Se pretende reunir información cuantificable, de la cual se harán inferencias mediante el análisis de los datos obtenidos de la población objetivo.
Diseño	No experimental	Se propondrá un modelo de urbanización sostenible sin manipular los valores muestreados, sino mediante estimaciones y simulaciones.

Nota: Elaboración Propia.

3.2. Unidad de estudio

a. **Espacial:** La presente investigación se llevará a cabo en el distrito de Cayma, en el departamento y provincia de Arequipa.
b. **Temporal:** Se tomarán los datos de todo el año 2024.

3.3. Población y Muestra

Población: La población del estudio corresponde a la Urbanización las Terrazas de Cayma, departamento y provincia de Arequipa.

Muestra: Corresponde a la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en tCO2e, durante el año 2024 por el consumo eléctrico e hídrico y la generación de residuos de la Urbanización las Terrazas de Cayma. (31 casas).

Tabla 3

Operacionalización de variables.

Tipo de variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de medida	Unidad de medida
Variable independiente	Consumo energético	Gasto energético	Visualización de recibos	KW/mes
Variable independiente	Consumo de agua	Gasto hídrico	Visualización de recibos	m^3
Variable independiente	Residuos	CH_4 emitido	Balanza	Kg
Variable dependiente	Emisiones de CO_2	CO_2 emitido	Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM	tCO_2e

Nota: Elaboración Propia.

3.4. Diseño de la investigación

La presente investigación es de tipo transversal, ya que la huella de carbono se estima a partir de datos de consumo energético, hídrico y generación de residuos recopilados durante el periodo anual 2024, y se consolida en un único análisis. Asimismo, el diseño es no experimental, por el hecho de que no se manipulan variables en la realidad; sin embargo, se plantean escenarios comparativos, analizando un escenario actual y un escenario proyectado mediante la implementación teórica de un sistema fotovoltaico, un sistema de recirculación de agua y un sistema de segregación de residuos para reducir la huella de carbono.

3.4.1. Instrumentos

Para la presente investigación se requiere el uso de los siguientes instrumentos:

- Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM: Se trata de una herramienta oficial del Estado peruano que permite medir y gestionar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en beneficio del medio ambiente (MINAM, 2018).

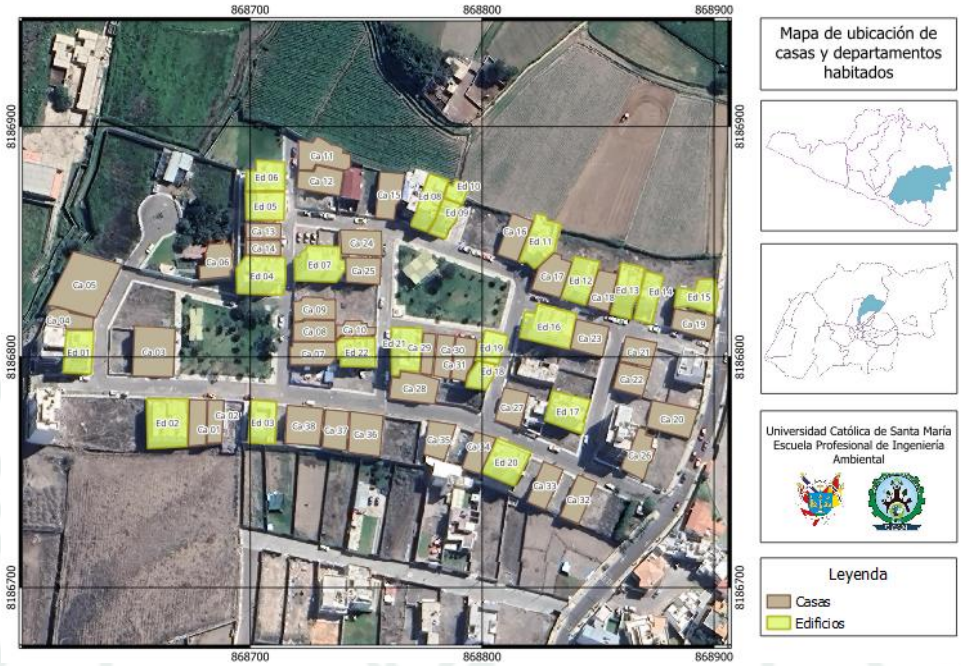
- Software QGIS: Es un sistema de información geográfica gratis y de código abierto, el cual permite la creación, edición y visualización de información geoespacial, analizarla y publicarla en diferentes servidores web (OSGeo, 2018).
- Software PVsyst: Utilizado para el diseño y análisis de sistemas solares fotovoltaicos, el cual permite simular su rendimiento, estimar la producción de energía, analizar sombreado, evaluar la economía y realizar otros cálculos esenciales para la implementación exitosa de proyectos solares. (Matute & Jesús, 2020).
- Software AutoCAD: Es un software de diseño asistido por computadora (CAD), el cual permite crear y editar dibujos y modelos en 2D y 3D (Autodesk, 2025).
- Software Excel: Es un programa de hoja de cálculo desarrollado por Microsoft que permite organizar, analizar y visualizar grandes cantidades de datos numéricos mediante el uso de tablas, fórmulas automáticas y gráficos dinámicos.

3.4.2. Descripción del diseño de Investigación

A. Cálculo de las emisiones de CO_2 de la urbanización las Terrazas de Cayma mediante la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.

Se recopiló la información requerida para el cálculo de emisiones de CO_2. Se inició cuantificando las casas y departamentos de la urbanización, descartando terrenos y construcciones no habitadas para poder conocer la población total; además, se utilizó como base a la Guía para la caracterización de Residuos Sólidos Municipales del MINAM para estandarizar la metodología. A cada vivienda se le otorgó un código para su reconocimiento, como lo recomienda la Guía: “Ca” si se trata de una casa y “Ed” si se trata de un edificio con departamentos (Figura 1).

Figura 1. *Mapa de ubicación de viviendas cuantificadas*



Nota: Elaboración Propia.

Tabla 4

Clasificación de viviendas por número de pisos.

Casas			Edificios
Número de Pisos	**Código de Vivienda**	**Número de Pisos**	**Código de Vivienda**
2 pisos	Ca06	3 pisos	Ed02
	Ca20		
	Ca26		
	Ca29		Ed12
	Ca30		
	Ca31		
	Ca37		
3 pisos	Ca01	4 pisos	Ed03
	Ca02		Ed04
	Ca03		Ed05

	Ca04		Ed06
	Ca05		Ed07
	Ca07		Ed08
	Ca08		Ed09
	Ca09		Ed10
	Ca10		Ed11
	Ca11		Ed15
	Ca12		Ed16
	Ca13		Ed17
	Ca14		Ed20
	Ca15		Ed21
	Ca16		Ed22
	Ca17		
	Ca18		Ed01
	Ca19		
	Ca21		
	Ca22		Ed13
	Ca23	5 pisos	
	Ca24		
	Ca25		Ed14
	Ca27		
	Ca28		Ed18

	Ca32	
	Ca33	
	Ca34	
	Ca35	Ed19
	Ca36	
	Ca38	

Nota: Elaboración Propia.

La Tabla 5 muestra la distribución de casas y edificios según su zonificación y el número de pisos. Se identificaron cinco zonas (A, B, C, D y E), cada una con una cantidad específica de pisos. Las zonas A y B corresponden a viviendas unifamiliares con 2 o 3 pisos, mientras que las zonas C, D y E están destinadas a edificaciones multifamiliares con construcciones de 3 a 5 pisos.

Tabla 5

Conteo general de viviendas.

Zonificación	Número de pisos	Cantidad de viviendas
Casas (38)		
A	2	7
B	3	31
Edificios (22)		
C	3	2
D	4	15
E	5	5
Total		60

Nota: Elaboración Propia.

Una vez clasificadas las viviendas, se calculó el tamaño de muestra utilizando la Fórmula 1, propuesta por la Guía.

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{e^2 * (N-1) + Z^2 * \sigma^2} \quad (1)$$

Donde:

Z: nivel de confianza

σ: Desviación Estándar

N: Población Total

e: Error permisible

$$n = \frac{1.96^2 * 0.20^2 * 60}{0.05^2 * (60-1) + 1.96^2 * 0.20^2} = 30.614 \approx 31$$

Una vez hallado el tamaño de muestra con un nivel de confianza del 95%, se determinó la representatividad en porcentaje de cada zona utilizando la Fórmula 2 para finalmente obtener el total de viviendas por zona a muestrear.

$$\text{Representatividad (\%)} = \frac{\#\ de\ viviendas\ por\ zonificación}{Población\ Total} * 100 \quad (2)$$

Tabla 6

Total de muestras de acuerdo a su representatividad.

Zonificación	Cantidad de Viviendas	Representatividad (%)	Total de muestras (n)
A	7	12	4
B	31	52	16
C	2	3	1
D	15	25	8
E	5	8	2
	60	100	31

Nota: Elaboración Propia.

Luego de obtener el tamaño de la muestra, se realizó un sorteo aleatorio de las unidades muestrales, como recomienda la Guía del MINAM. Este procedimiento permitió que todas las viviendas tuvieran la misma probabilidad de ser seleccionadas, reduciendo posibles sesgos en la selección de la muestra. Las viviendas seleccionadas para el estudio se muestran en la Figura 6.

Cabe destacar que el tamaño de la muestra fue calculado considerando un nivel de confianza del 95% y un error permisible del 5%, lo cual significa que los resultados obtenidos presentan una variación aceptable con respecto a los valores reales de la urbanización, permitiendo obtener estimaciones representativas del comportamiento de las viviendas evaluadas.

Sin embargo, existen limitaciones inherentes durante el proceso de muestreo, como por ejemplo posibles variaciones en los hábitos de consumo de los habitantes y generación de residuos entre viviendas; así mismo se pueden presentar diferencias en el número de integrantes por hogar y errores asociados al pesaje de residuos durante el trabajo en campo. Por lo tanto, los resultados a obtener se interpretan como estimaciones representativas, útiles para identificar el comportamiento general de la huella de carbono en la urbanización.

Emisiones por consumo de agua

Para el consumo de agua se recopiló el número de conexión o, en su defecto, el código de medidor de las viviendas seleccionadas (casas y departamentos) de la Urbanización Las Terrazas de Cayma. Dicha información fue proporcionada por SEDAPAR (SEDAPAR, 2024), con el fin de obtener los volúmenes de consumo mensual en m^3 durante el año 2024.

Emisiones por consumo eléctrico

Para el consumo eléctrico se recopiló el número de conexión correspondiente al código de medidor de las viviendas seleccionadas (casas y departamentos) de la Urbanización Las Terrazas de Cayma. Dicha información se ingresó a la oficina virtual de SEAL (SEAL, 2024), con el fin de obtener los datos de consumo eléctrico en kW/h de cada mes del año 2024.

Para el cálculo de estas emisiones, es necesario comprender que la energía suministrada por la SEAL forma parte del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), por lo que el suministro eléctrico de los usuarios no se encuentra

asociado de manera exclusiva a una única central o empresa generadora. De acuerdo con los Estados Financieros de la SEAL (2024), esta cuenta con contratos de suministro de energía con diversas empresas de generación eléctrica, entre ellas Electroperú S.A., Engie Energía Perú S.A., Kallpa Generación S.A., entre otras, evidenciando la participación de múltiples fuentes de generación en el abastecimiento de su demanda. En consecuencia, no sería posible atribuir el consumo eléctrico de la urbanización a una única central generadora, debido a la naturaleza interconectada del sistema eléctrico. Por esta razón, para la estimación de las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad se emplearon factores de emisión establecidos para diferentes GEI por la herramienta Huella de Carbono Perú del Ministerio del Ambiente (MINAM). Este enfoque permite considerar las características del suministro eléctrico de la red y mantener la metodología de cálculo empleada por la herramienta oficial del MINAM, desarrollada bajo estándares reconocidos para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Para la recolección de datos de ambos consumos se siguió el formato expuesto en la Tabla 7; cabe mencionar que se codificaron los códigos de los medidores para mantener el anonimato de los participantes de la presente investigación.

Tabla 7

Ficha de Recolección de Datos de consumo eléctrico y de agua.

Levantamiento de Datos del consumo eléctrico y de agua en la Urbanización Las Terrazas de Cayma	
Ubicación:	Urbanización Las Terrazas de Cayma
Total de medidores:	108
Total de viviendas:	31
Responsables de registro:	Díaz Chávez Mahily Patricia Núñez Meza Ana Sofía
Teléfonos:	954484448 997647177
Periodo del reporte:	Febrero y marzo del 2025

			AGUA		LUZ	
Tipo de Vivienda	**Zonificación**	**Código de Vivienda**	**Cantidad de medidores**	**Código de medidor SEDAPAR**	**Cantidad de medidores**	**Código de medidor SEAL**
Casa	A	Ca26	1	EA17XX	1	4769XX
		Ca29	1	1691XX	1	4942XX
		Ca31	1	1017XX	1	3485XX
		Ca37	1	PA21XX	1	4133XX
	B	Ca01	1	1692XX	1	4449XX
		Ca02	1	1017XX	1	3419XX
		Ca05	1	-	1	4656XX
		Ca08	1	1692XX	1	3539XX
		Ca09	1	PA21XX	1	3780XX
		Ca10	1	1692XX	1	4351XX
		Ca12	1	1692XX	1	4923XX
		Ca13	1	1691XX	1	4788XX
		Ca14	1	0112XX	1	5227XX
		Ca15	1	1691XX	1	4454XX
		Ca21	1	1691XX	1	3624XX
		Ca22	1	1691XX	1	4504XX
		Ca25	1	PA21XX	1	4430XX
		Ca33	1	0112XX	1	3346XX
		Ca35	1	A09SXX	1	4319XX
		Ca38	1	1017XX	1	3335XX
	C	Ed12	3	2963XX 2963XX 2963XX	1	5288XX
	D	Ed03	4	1017XX 2963XX 2963XX	4	3494XX 4929XX 4929XX

			2963XX		4929XX
			A11LXX		3694XX
Edificio			3005XX		4202XX
	Ed05	4		4	
			3005XX		4202XX
			3005XX		4202XX
					4108XX
					4108XX
	Ed10	1	1692XX	4	
					3995XX
					3995XX
			PA21XX		3995XX
			1017XX		3995XX
	Ed11	4		4	
			PA21XX		3995XX
			2741XX		3608XX
			PA21XX		4792XX
			ES12XX		4118XX
	Ed16	4		4	
			EA17XX		4118XX
			PA21XX		4020XX
	Ed20	1	-	1	3595XX
			PA21XX		4895XX
	Ed21	2	EA17XX	2	4895XX
			-		-

			-		-
	Ed22	1	1692XX	1	5574XX
			3005XX		5332XX
			3005XX		5332XX
	Ed01	5	3005XX	5	5332XX
			3005XX		5332XX
			3005XX		5332XX
E			3003XX		5332XX
			3005XX		5332XX
	Ed19	5	3005XX	5	5332XX
			3005XX		5332XX
			3005XX		5332XX

Nota: Modificado de DIGECA (2023).

Una vez obtenidos los datos de consumo de agua y electricidad por vivienda, se sumó el total por mes para obtener el consumo total de la urbanización (Anexo 2C y 3B). Luego de ello, se colocaron los consumos en la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM. La justificación del uso de dicha herramienta se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8

Análisis Crítico de la utilización de la Calculadora Pública de Huella de Carbono Perú del MINAM

Criterio	Análisis Crítico	Justificación para la investigación
Respaldo institucional	La calculadora forma parte de la herramienta para el cálculo de la Huella de Carbono Perú, promovida por el MINAM para poder gestionar y cuantificar las emisiones de GEI.	Se consideró adecuado utilizar una herramienta oficial del estado peruano.

Adaptación al contexto nacional	Al incluir factores y criterios asociados directamente a la realidad peruana, resulta más representativo que utilizar otros sistemas o herramientas desarrolladas para otros países o contextos.	Al ser un estudio realizado en la ciudad de Arequipa, se priorizó el uso de una herramienta que considere el contexto nacional.
Estandarización de la metodología	La calculadora permite aplicar un procedimiento uniforme a toda la investigación, para convertir los datos obtenidos en emisiones de dióxido de carbono equivalente, facilitando la trazabilidad y comparación de resultados.	Permitió calcular las emisiones de las viviendas seleccionadas bajo criterios homogéneos.
Disponibilidad	Es una herramienta de acceso público que abarca una gran cantidad de parámetros y variables.	La herramienta se encontró al alcance y contaba con la información definida para el presente estudio.
Pertinencia para la investigación	Se considera como principal fortaleza que proporciona una metodología consistente para obtener y comparar	Su uso permitió calcular y comparar la huella de carbono de la urbanización "Las Terrazas de Cayma" bajo dos escenarios, antes y

	escenarios, basada en las directrices del IPCC, priorizando a parámetros nacionales que se encuentren disponibles.	después de las propuestas planteadas.

Nota: Elaboración Propia.

Emisiones por residuos sólidos.

Para el caso de los residuos sólidos se aplicaron dos metodologías; la primera es la propuesta por la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del MINAM, para la cual se inicia implementando el modelo de registro de viviendas participantes, presentado en el Anexo 6 de dicha guía, aplicando ciertas modificaciones para respetar el acuerdo de confidencialidad establecido con los participantes.

Una vez completado el registro, se recolectaron los residuos de cada vivienda durante un periodo de 7 días por cada mes del año 2024, pues, si bien la metodología del MINAM propone realizar la recolección únicamente para una semana elegida del año, el dato mensual es necesario más adelante para el cálculo de la huella de carbono. Los tipos de residuos considerados son: plástico, textil, orgánicos, papel y cartón, principalmente; para los cuales se otorgaron bolsas debidamente etiquetadas a cada participante por cada día del muestreo (Anexo 9C, a.). Para su pesaje se utilizó la ficha de registro de pesos de muestreo para el análisis de composición de residuos sólidos del MINAM como modelo (Anexo 5).

Posteriormente, se realizó la suma total de los pesos de todos los días del muestreo y después, la suma total de los pesos obtenidos por cada tipo de residuo. Una vez obtenidos ambos valores en kilogramos, se realizó la equivalencia de este al 100% y se obtuvo la composición porcentual por cada tipo de residuo sólido.

Luego de la obtención de los datos, se aplicó la segunda metodología para obtener un total estimado de kilogramos de residuos sólidos generados en la urbanización, en el año 2024. Para ello se aplicó el cálculo de promedio per cápita/por vivienda y extrapolación anual con intervalos de confianza.

Una vez registrada la generación de residuos (kg) durante 7 días consecutivos de cada mes, se utilizó la Fórmula 3 para calcular el promedio total por cada tipo de residuo:

$$A = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + \ldots x_n}{N} \quad (3)$$

Donde:

$$A = Promedio\ diario\ de\ generación\ de\ residuos\ por\ vivienda$$

$$x_1 = Generación\ de\ residuos\ sólidos\ diaria$$

N = Número de muestra

Posteriormente, se estimó la proyección anual, multiplicando el promedio diario por la cantidad de días del año (Fórmula 4), obteniéndose la generación de residuos anual por vivienda.

$$B = A * 365 \quad (4)$$

De modo que el valor resultante se dividió entre la población total (Fórmula 5) para tener la generación por vivienda durante todo el año 2024.

$$C = \frac{B}{31} \quad (5)$$

Una vez obtenida la extrapolación, se utilizó una hoja de Excel para hallar la desviación estándar (D), multiplicando por 365 (E) y dividiéndola entre 31 (F) para construir un intervalo de confianza de la estimación anual.

El máximo valor del intervalo de cada tipo de residuo fue utilizado para hallar la generación de residuos anual total de la urbanización; estos datos fueron insertados en la calculadora pública de la Huella de Carbono del MINAM, dicha herramienta consideró diferentes parámetros y factores asociados al proceso de degradación de residuos y generación de metano, tales como el carbón orgánico degradable (DOC), el factor de corrección de metano (MCF), factor de oxidación (OX), entre otros, pues para este caso las emisiones no dependen de un único factor de emisión, al estar condicionadas por características como la cantidad, composición y condiciones de disposición final. Esta diferencia con el consumo de electricidad se debe a que independientemente de quién consuma la energía,

las emisiones ya ocurrieron en la central eléctrica de producción, no obstante, al momento de generación de residuos no se sabe aún cuánto metano producirán, al depender de las condiciones ya mencionadas.

Los alcances considerados en el presente estudio fueron los siguientes:

Alcance 2: Emisiones indirectas por consumo de energía generada por un tercero (Consumo de electricidad del SEIN).

Alcance 3: Otras emisiones indirectas (Consumo de agua y generación de residuos).

Lo cual se puede evidenciar en el Anexo 6, A.

B. Desarrollo de propuestas de infraestructura sostenible orientadas a la reducción de la huella de carbono de la urbanización.

Los datos recolectados para la estimación del consumo de agua, sirven de base para realizar estimaciones y simulaciones preliminares del comportamiento hídrico del sistema, dentro del alcance conceptual. Los datos recolectados son utilizados para el modelamiento matemático del consumo doméstico de agua, basado en el modelo lineal propuesto por Putri (2025), el cual estima el consumo diario en función de variables como el número de habitantes y las actividades domésticas de uso de agua. Este modelo permite obtener una estimación práctica y representativa del consumo hídrico en los hogares.

Para la estimación matemática del consumo de agua en las viviendas del área de estudio, se adoptó un modelo de regresión lineal simple, el cual permite establecer y cuantificar la relación entre una variable independiente de carácter urbanístico y el consumo de agua por vivienda como variable dependiente. Este enfoque ha sido ampliamente validado en investigaciones de demanda hídrica residencial por su capacidad de generar estimaciones confiables a partir de datos observables y de fácil recolección (Arbués et al., 2003; Zhang et al., 2019).

El modelo propone que el consumo de agua diario por vivienda (Y) puede expresarse como una función lineal de una variable explicativa (X), bajo la siguiente fórmula:

$$Y = a + bX \quad (6)$$

Donde:

Y: Consumo de agua o huella hídrica de la vivienda (litros/día)

X: Variable independiente (p. ej., número de habitantes por vivienda)

a: Intercepto, consumo base estimado cuando X = 0

b: Coeficiente de regresión, incremento en el consumo por cada unidad adicional de X

Los coeficientes a y b se obtuvieron mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), que minimiza la suma de los errores al cuadrado entre los valores observados y los estimados por el modelo:

$$\hat{b} = \frac{\Sigma_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\Sigma_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}, \hat{a} = \bar{Y} - \hat{b}\bar{Y} \quad (7)$$

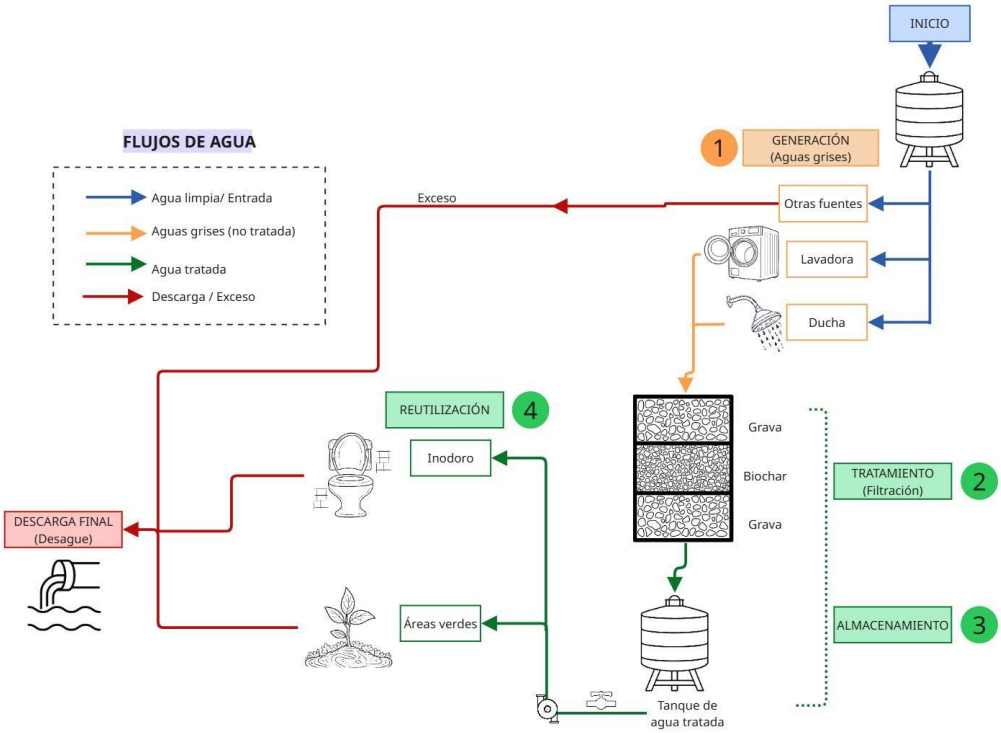
Donde $\underline{X}$ e $\underline{Y}$ representan los promedios muestrales de la variable independiente y del consumo de agua, respectivamente, y "n" es el tamaño de la muestra. Este método es el estimador lineal insesgado de mínima varianza, condición que garantiza la robustez estadística del modelo bajo los supuestos clásicos de regresión (Wooldridge, 2015).

La regresión lineal simple constituye una herramienta consolidada en la modelización de la demanda hídrica residencial. Arbués et al. (2003) revisaron exhaustivamente los modelos de estimación de demanda de agua residencial y concluyeron que los modelos de regresión son los más frecuentemente empleados debido a su solidez estadística y facilidad de interpretación para la toma de decisiones. De la misma forma, Zhang et al. (2019) demostraron que la regresión lineal aplicada a datos de encuesta urbana produce estimaciones de consumo comparables a modelos más complejos, con la ventaja de ser replicables sin uso de softwares complejos.

A partir de la regresión lineal realizada, se planteó un sistema de recirculación de aguas grises en la urbanización; para ello se consideró el uso de un filtro con diferentes niveles de tratamiento, ya explicados en el marco teórico. Sin embargo, fue necesario caracterizar las aguas grises a través de la toma de muestras de agua de la lavadora y la ducha para ser enviadas posteriormente al laboratorio acreditado ALAB, de este modo corroborar que el sistema planteado es el más eficiente. El sistema se compuso principalmente por un tanque que alimenta a todas las fuentes de agua de la vivienda; luego, el caudal generado por las bañeras

y lavadoras se bombea hacia el sistema de filtro en columna; por último, el agua tratada es distribuida hacia los inodoros y áreas verdes. La Figura 2 muestra el diagrama de flujo para el diseño de recirculación de agua.

Figura 2. *Diagrama de flujo para la recirculación de agua.*



Nota: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra un plano en 3D de una casa de la urbanización con el sistema instalado.

Figura 3. *Plano de ubicación del sistema de recirculación de agua*



Nota: Elaboración propia.

Para determinar la cantidad de agua recirculada y ahorrada, se realizó el cálculo de la huella hídrica a través del software Microsoft Excel, la cual se divide en tres componentes principales para su análisis: huella hídrica azul, huella hídrica gris y huella hídrica verde. La presente investigación calculó dichos componentes a nivel residencial mediante un enfoque de contabilidad volumétrica basado en los estándares internacionales propuestos por la Water Footprint Network. Este método se centra en la cuantificación de los volúmenes de agua consumidos y contaminados asociados al uso doméstico, utilizando datos de consumo real obtenidos de SEDAPAR y de factores de emisión bibliográficos estandarizados para la componente gris. Este enfoque no requiere la determinación de tiempos de retención hidráulica ni de cargas orgánicas específicas de unidades de tratamiento, ya que estos parámetros pertenecen al diseño de procesos de saneamiento y no al cálculo contable de la huella hídrica como establece el objetivo actual.

- **Huella hídrica azul (HHA):** Se trata del consumo anual de agua potable por vivienda en m^3. Para estimar el nuevo consumo anual de agua potable luego de implementar el sistema de recirculación de aguas grises, se consideró el porcentaje de reducción potencial del consumo doméstico reportado en

estudios recientes sobre el uso eficiente del agua en viviendas (REDES & SUNASS, 2026). El cálculo de porcentaje de ahorro de agua se observa en el Anexo 8, B1.

En el caso de las viviendas unifamiliares, el sistema permite reutilizar el agua tratada en la descarga de inodoros y en el riego de áreas verdes, lo que representa una reducción estimada del 34% del consumo total de agua potable. Por ello, para calcular el consumo final de agua potable se utilizó únicamente el 66% restante del consumo inicial, como se explica en la Fórmula 8:

$$HHA_f = HHA_i * (1 - R) \quad (8)$$

Dónde:

HHA_f = Huella hídrica final

HHA_i = Huella hídrica inicial

R = Porcentaje de reducción del consumo de agua

Como ejemplo de aplicación de la metodología, para una de las viviendas evaluadas se consideró un consumo inicial de agua potable de 157 m^3./año. Aplicando la reducción estimada de 34%, el consumo final se calculó de la siguiente manera:

$$HHA_f = 157 * (1 - 0.34)$$

$$HHA_f = 157 * (0.66)$$

$$HHA_f = 103.62\, m^3/año$$

De esta manera se obtuvo la HHA final para cada vivienda, tanto unifamiliar como multifamiliar. Los resultados correspondientes a la HHA final del total de viviendas y edificios evaluados se presentan en el Anexo 8, B2; estos fueron los valores ingresados nuevamente en la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM para obtener el cálculo final de la huella de carbono.

- **Huella hídrica gris (HHG):** Se calcula tanto antes como después de aplicado el sistema:

  Antes del sistema: Para el cálculo de la HHG se halla primero la DBO5, siguiendo la Fórmula 9:

  $$DBO_5 = DBO_U(1 - e^{k*5}) \quad (9)$$

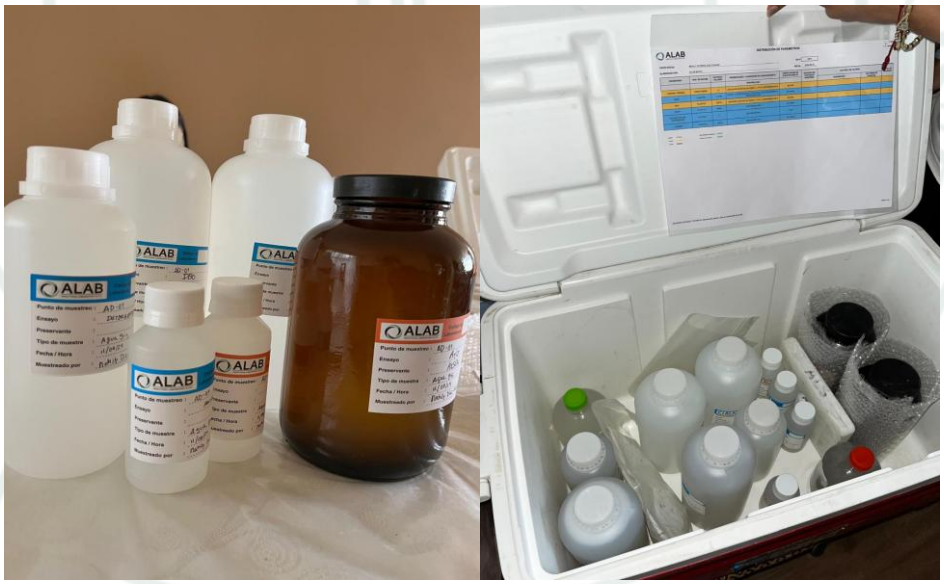
  Donde:

  DBO_U = DBO última

  k = constante de velocidad de reacción (día^{-1})

  Los valores de la DBO fueron obtenidos por el laboratorio ALAB, a quienes se les entrega dos muestras de agua para su caracterización, una de agua residual de ducha y otra de lavadora (Figura 3). Ambos valores de DBO fueron promediados para aplicarlo en la Fórmula 9.

  Figura 4. *Preparación de muestras de agua residual para el análisis de laboratorio*

  Nota: Fuente propia.

  Una vez hallada la DBO5, esta se divide entre 10 mg/L, valor límite establecido en el ECA de agua, dentro de la categoría 4 (conservación del ambiente acuático). Dicho valor, también llamado factor de dilución inicial, es multiplicado por la HHA.

Después del sistema: Para el cálculo de la HHG final, se volvió a calcular la DBO_{5f} , para ello se consideró el incremento de contaminación después del reuso de agua expresada en la Fórmula 10:

$$\Delta\, In\, DBO_5 = \frac{HAA_i * DBO_{5i} * (1-n) * R}{HHA_f} \quad (10)$$

Donde:

$In\, DBO_5$: incremento de la DBO_5

HAA_i: huella azul de agua inicial

DBO_{5i}: demanda bioquímica de oxígeno en cinco días - inicial.

(n): porcentaje de reducción del 80% (0.2)

R: reducción global promedio producto de la recirculación (inodoros y jardín)

HHA_f: huella azul de agua final

Seguidamente, el valor del incremento de la $In\, DBO_5$ se sumó con el valor de la DBO_{5i} para finalmente hallar la DBO_{5f} . Una vez obtenido el valor se dividió nuevamente entre 10 mg/L y se multiplicó por la HHA final, obteniéndose la HHG final.

- **Huella hídrica verde (HHV):** Se recopilaron los datos de precipitación anual del 2024 (SENAMHI, 2025) y se multiplicó por el área verde aproximada de una casa, posteriormente se convierte el resultado de mm/día a m³. Para los edificios no se considera este cálculo, pues no cuentan con un área verde considerable.

Por último, la huella hídrica total se obtuvo mediante la suma de la HHA, HHG y HHV, antes y después de la implementación teórica del sistema de recirculación. Posteriormente, se estimó la eficiencia potencial del sistema de recirculación mediante la comparación de la huella hídrica obtenida para ambos escenarios; para ello, se utilizó la Fórmula 11.

$$\text{Eficiencia del sistema} = \frac{HH_{inicial} - HH_{final}}{HH_{inicial}} x100 \quad (11)$$

Donde:

$HH_{inicial}$ = Huella Hídrica inicial

HH_{final} = Huella Hídrica final

El resultado representa el nivel de aprovechamiento del recurso hídrico alcanzado por la propuesta, tal como se evidencia en la Tabla 27.

En segundo lugar, se llevó a cabo la elección del sistema solar utilizando el software PVsyst. Para ello se eligió la opción de diseño autónomo; seguidamente, se seleccionó el área de estudio para obtener los datos meteorológicos proporcionados por la base de datos climática "Meteonorm 8.0".

Después se definió la orientación del panel y el sistema considerando parámetros requeridos; para ello se agregó la cantidad de energía en kWh/m2 que se necesita. Posteriormente, se escogió el tipo de batería y panel fotovoltaico según la potencia requerida, lo más recomendable es usar una marca disponible en la región y un modelo de panel actualizado, del mismo modo con el inversor a emplear (Anexo 7).

Finalmente, se realiza la simulación y se interpretan los datos obtenidos del informe final, de manera que proporciona la cantidad de energía generada, la cantidad de energía utilizada, pérdidas por cableado y cantidad de energía almacenada.

En tercer lugar, se planteó un sistema de segregación de residuos para la urbanización. Los datos obtenidos durante la caracterización de residuos fueron utilizados como línea base para evaluar los beneficios ambientales potenciales de la propuesta. La evaluación considera el aprovechamiento de los residuos orgánicos mediante su derivación a la planta de compostaje del distrito y compara las emisiones de CO2e generadas bajo el esquema actual de gestión de residuos frente a un escenario de segregación en origen. Para ello, inicialmente se halló el volumen de los residuos segregados por cada día de muestra utilizando un cilindro con medidas conocidas y aplicando la Fórmula 12:

$$\text{Vr} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * (Hf - Ho) \quad (12)$$

Donde:

D= Diámetro del cilindro

Hf = Altura del cilindro

Ho = Altura no ocupada por los residuos

Luego de ello, se obtiene la densidad de cada día, por tipo de residuo, aplicando la Fórmula 13:

$$D = \frac{m}{v} \quad (13)$$

Donde:

m = masa del tipo de residuo

v = volumen del tipo de residuo

No obstante, para poder obtener el número de contenedores y su volumen, se calculó el promedio de los 7 volúmenes obtenidos por tipo de residuo, luego se convirtió dicho valor a litros y se multiplicó el resultado por 3, ya que este es el intervalo de días promedio en los que el camión recolector de basura ingresa a la urbanización.

Se seleccionaron 4 tipos de contenedores: “Papel y cartón”, “Plástico”, “Metal y vidrio” y “Orgánicos”, considerándose en la primera categoría al papel, tanto blanco como mixto, cartón y tetrabrick. Por otro lado, no se consideró un contenedor para textiles, ya que este material suele ser donado en campañas/albergues, o bien seleccionado por los recicladores para su uso o venta. Una vez determinado ello, se suma el volumen de residuos (en litros) por contenedor, de manera que se obtiene el volumen aproximado del mismo, considerando además un espacio vacío del 20% o 10% del contenedor como máximo, para evitar derrames.

Finalmente, tras obtener los resultados correspondientes a la simulación de las instalaciones fotovoltaicas, el sistema de recirculación de agua y el sistema de segregación de residuos, se integró cada uno de ellos en el software AutoCAD. Esto permitió desarrollar una propuesta final unificada para la urbanización, considerando la implementación conjunta de las medidas planteadas.

C. Comparar los resultados de emisión de CO_2 previos con los datos nuevos, una vez aplicado el diseño.

Cálculo de emisiones de CO_2 utilizando el sistema de recirculación de agua.

Luego de plantear el sistema de recirculación de agua, se le restó el valor del caudal estimado de agua que se trataría, con el consumo que indica SEDAPAR. Este nuevo consumo de agua en m^3 al mes (explicado en el numeral 3.3.2, inciso B) fue colocado en la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM, para obtener el nuevo valor de CO_2 emitido al año. Cabe destacar que, si bien se hallan datos de huella azul, gris y verde, solo se restó el valor obtenido de la huella azul.

Cálculo de emisiones de CO_2 utilizando el sistema fotovoltaico.

Una vez determinado cuántos paneles solares se utilizan y su generación de energía en kW/h, se restaron los valores de consumo por mes que indica la SEAL con la generación de energía del panel solar; estos valores fueron colocados en la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM, para obtener el nuevo valor de CO_2 emitido al año.

Cálculo de emisiones de CO_2 utilizando el sistema de segregación de residuos.

Luego de proponer este sistema y de plantear un nuevo uso para los residuos orgánicos, se omitió este valor y se utilizó de nuevo la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM, para obtener el nuevo valor de CO_2 emitido al año.

Finalmente, se comparan los valores iniciales de emisión de CO_2 obtenidos en el Objetivo 1 con los recién calculados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

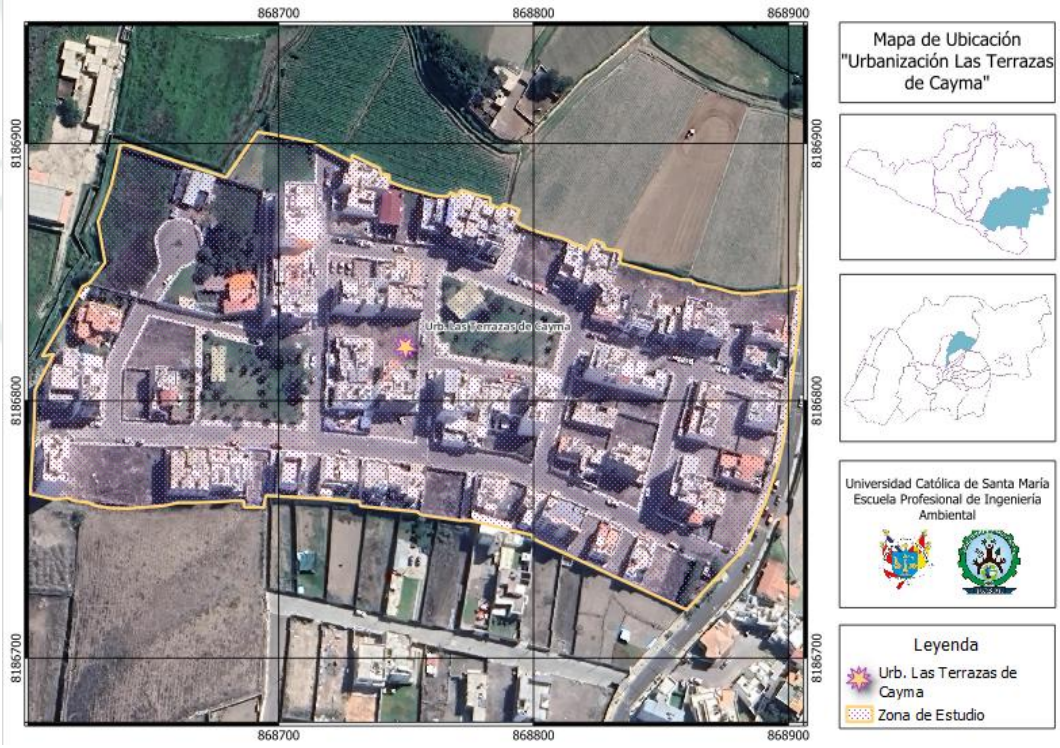
4.1. Antecedentes Zona de Estudio

4.1.1. Las Terrazas de Cayma

La Urbanización Las Terrazas de Cayma se encuentra situada en la zona norte de la ciudad de Arequipa, en una de las áreas residenciales de expansión del distrito de Cayma. Se accede principalmente por la Av. Lari Lari y la Av. Cayma, la cual conecta con la zona céntrica de la ciudad; a sus extremos se cuenta con una vista panorámica de las terrazas o propiamente dicho de la campiña Arequipeña; enfrente se encuentran las urbanizaciones “Bello Amanecer” y “La Quinta Granada”. En los meses de abril hasta noviembre, el clima en la ciudad suele ser templado y desértico, pues las temperaturas oscilan alrededor de los 20° C.

Por otro lado, la urbanización cuenta con una entrada principal y dos parques considerados como áreas verdes; al mismo tiempo, se cuenta con un total de 60 viviendas, distribuidas entre 38 casas y 22 edificios. Cabe resaltar que dentro de la urbanización no existe ningún tipo de establecimiento destinado para el comercio, como tiendas o bazares, ni contenedores destinados para el almacenamiento de residuos sólidos.

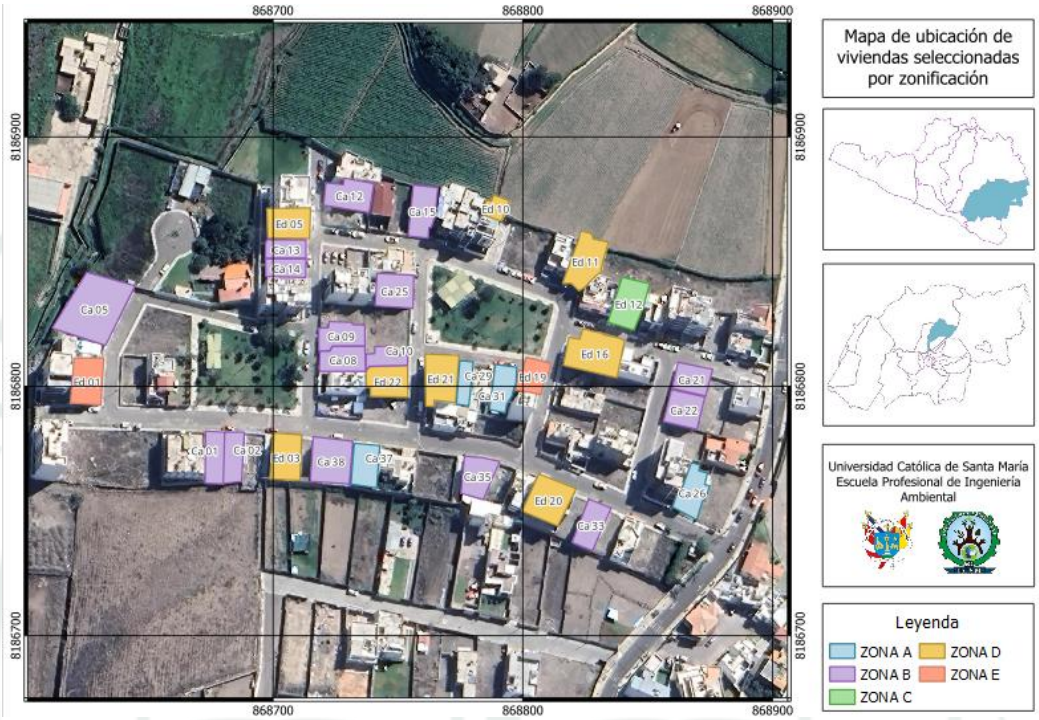
Figura 5. *Área de estudio*



Nota: Elaboración Propia.

Una vez obtenido el valor de muestra, se seleccionaron las viviendas a muestrear de manera aleatoria, como se muestra en la Figura 6, de modo que los datos recopilados son de las viviendas seleccionadas.

Figura 6. *Mapa de ubicación de viviendas seleccionadas por zonificación*



Nota: Elaboración Propia.

4.1.2. Generación de Residuos sólidos periodo 2024

De acuerdo con la Municipalidad Distrital de Cayma, la frecuencia de recolección de residuos sólidos en la Urbanización Las Terrazas de Cayma es tres veces por semana, realizándose el recojo los días martes, viernes y domingo. A continuación, se presenta la Tabla 9, la cual contiene la ruta de recolección de residuos sólidos del distrito de Cayma, siendo la microruta de recolección RC-257-05 la correspondiente a la zona de estudio, evidenciada en el Anexo 1.

Tabla 9

Rutas de Recolección de Residuos Sólidos.

Microruta	Recorrido Optimizado (Km)	Turno (M/T/N)	Horario (h)	Frecuencia (L-D)	Descripción de cada ruta
RC-14-01	4.824	M	5.00 a.m. - 13.00 p.m.	L-J	Av. Cayma, Av. Trinidad Morán, Av. Ejército.
RC-257-02	10.619	M	5.00 a.m. - 13.00 p.m.	Ma-V-D	Urb. Girasoles, Urb. Puerta el Sol, Urb. Valle Escondido, Urb. El Mirador, Urb. San Antonio, Urb. Bello Horizonte, Calle Arróspide, Urb. Bellocampo, Urb. El Campo, Urb, L Carmen, Urb. Los Portales, Urb. Monte Rosa, Urb. Ángeles de Cayma, Jorge Basadre, Urb. Santa Elisa, Urb. Los Altitos, Urb. Mirasol, Urb. Mediterráneo, Urb. Explanada, Urb. Boulevard, Urb. Advige, Urb. Remanso, Urb. Bello Amanecer.
RC-257-03	29.244	M	5.00 a.m. - 13.00 p.m.	L-Ma-S	Planta de Agua, Av. Bolognesi, La Marina, Quinta la Romero, La chacrita, Cooperativa Ingenieros, Señorial, Av. Ejército, Telefónica, Clínica San Juan de Dios, Av. Trinidad Morán, Cruce Av. Ejército, Calle Melgar, Portales Parte Baja, Urb. Bello Monte, Quinta Samay, Parte de Los Ángeles, Los Arces.
RC-3-04	18.148	M	5.00 a.m. - 13.00 p.m.	Mi	Asilo Lira, Carmen Alto, Tronchadero, Tocrahuasi, Pueblo Tradicional La Tomilla, Calle Sucre, Calle 28 de Julio, Av. Cayma, Los Arces, Av. Ejército y

					Trinidad Morán, Calle Melgar.
RC-257-05	20.046	M	5.00 a.m. - 13.00 p.m.	Ma-V-D	**Lari Lar**i, Urb. Bello Horizonte, Bello Amanecer, Parte de los Portales, Los Olivos, Los Ciruelos, Los Almendros, Plaza de Cayma Iglesia, Urb. Alto La Gloria, Urb. El Bosque, Calle Urubanba, Calle Miguel Grau, Urb. Los Ruiseñores, Residencial Cayma, Cerrito San Jacinto, Urb. Los Condes Cruce San Jacinto, Calle Cacique Alpaca, Puente Chilina, Urb. El Rosario, Urb. Los Guindos, La Encantada, Tronco de Oro, Calle Tronchadero, Edificio Magnus, Urb. Quinta Gamero, Urb. León XIII, Señor de la Caña, Urb. Los Manzanos, Urb. Los Cerezos, Plaza de Cayma Calle Arróspide.

Nota: (Municipalidad Distrital de Cayma, 2025).

A continuación, se presenta la cantidad de residuos recolectados del distrito de Cayma y dispuestos en el Botadero Quebrada Honda, separado por mes, del año 2024 (Tabla 10).

Tabla 10

Cantidad de Residuos Sólidos Dispuestos.

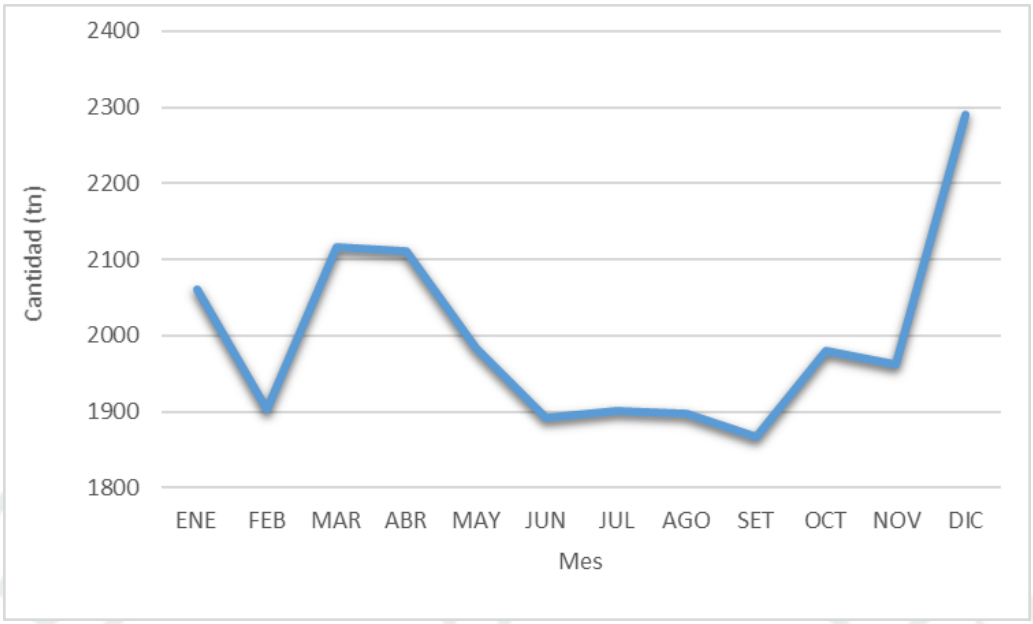
Año 2024	
Mes	**Cantidad (tn)**
Enero	2060.95
Febrero	1902.15

Marzo	2116.61
Abril	2111.79
Mayo	1983.11
Junio	1891.80
Julio	1902.13
Agosto	1898.01
Setiembre	1867.05
Octubre	1979.92
Noviembre	1962.25
Diciembre	2289.89

Nota: (Municipalidad Distrital de Cayma, 2025).

En la Figura 7, se observa la variación mensual de los residuos sólidos dispuestos en el distrito de Cayma durante el año 2024. De este modo, se determina que, durante el primer trimestre se observa un incremento progresivo de residuos hasta marzo, seguido por un comportamiento estable en abril. Posteriormente, entre mayo y septiembre se presenta una tendencia decreciente hasta alcanzar finalmente el mínimo valor (1867.05 tn). Sin embargo, a partir de octubre incrementa nuevamente la generación de residuos, siendo en diciembre (2289.89 tn) el pico más alto, asociado presuntamente por el incremento de actividades de consumo durante fiestas de fin de año.

Figura 7. *Variación mensual de Residuos Sólidos Dispuestos*



Nota: Elaboración propia - data Municipalidad Distrital de Cayma, 2025.

4.2. Huella de carbono de la Urbanización las Terrazas de Cayma

4.2.1. Consumo de agua potable

La Empresa Prestadora de Servicios SEDAPAR S.A. proporcionó los registros oficiales de consumo mensual de agua potable correspondientes a cada una de las 31 viviendas seleccionadas como muestra representativa del área de estudio. La data recopilada abarcó el período entre enero y diciembre del año 2024, permitiendo obtener un panorama integral de comportamiento anual del consumo residencial del recurso hídrico.

Según los datos recopilados, el volumen total consumido por las viviendas durante el año fue de 9 165 m³, información que se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11

Consumo mensual de agua potable por vivienda en el periodo 2024.

Código de Vivienda	CONSUMO DE AGUA POR MES DEL AÑO (m³)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ca26	14	9	11	11	13	16	10	13	14	14	14	18
Ca29	5	5	9	11	11	12	11	6	23	10	14	10
Ca31	27	27	25	34	34	33	32	37	33	47	37	36
Ca37	13	10	16	12	12	12	11	15	12	12	15	13
Ca01	15	8	7	10	7	9	8	10	8	8	8	7
Ca02	57	7	15	14	20	27	15	14	18	10	15	17

Ca05	16	23	33	29	30	27	27	20	24	18	12	17
Ca08	31	28	34	40	32	33	36	28	25	31	24	22
Ca09	19	19	17	22	19	18	19	22	22	24	26	25
Ca10	6	7	7	7	10	7	8	8	7	8	10	8
Ca12	10	13	14	21	22	19	26	26	35	39	39	25
Ca13	14	12	7	8	9	6	11	13	9	10	11	11
Ca14	39	37	27	35	34	30	29	27	22	29	30	36
Ca15	20	17	15	19	19	17	15	20	17	18	17	19
Ca21	29	23	15	26	26	14	23	29	21	26	30	29
Ca22	8	8	21	23	22	30	21	27	27	30	25	30
Ca25	17	30	20	23	29	28	38	44	33	31	21	22
Ca33	34	24	36	44	37	35	34	36	28	30	25	38
Ca35	6	11	7	11	10	10	11	10	12	12	14	17
Ca38	0	1	4	2	3	3	1	8	2	3	4	2
Ed12	9 17 10	7 4 5	4 6 7	2 2 7	0 1 7	1 1 6	0 0 21	0 5 92	1 0 7	0 1 8	0 1 9	2 9 8
Ed03	28 12 5 3	22 14 5 8	21 9 5 27	25 10 8 32	20 12 6 35	22 10 7 20	22 10 5 19	24 12 6 16	25 11 6 16	22 10 6 16	24 10 7 17	31 11 7 17
Ed05	9 0 0 8	27 0 0 7	26 6 0 8	34 10 0 9	3 13 0 10	21 13 0 16	35 12 0 8	25 13 0 9	24 9 0 8	25 12 0 11	26 10 0 14	28 10 0 13
Ed10	35	30	29	28	43	33	33	36	35	54	53	56
Ed11	11 11 15 7	2 4 12 7	8 9 10 7	6 11 12 9	3 10 20 6	7 12 8 7	10 11 22 9	15 16 23 10	11 4 18 10	8 0 22 14	13 5 23 10	9 7 27 4
Ed16	8	11	11	11	9	8	9	12	9	8	8	16

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	7	7	9	6	7	9	10	10	14	10	4
	13	10	17	13	13	12	13	14	11	11	14	12
Ed20	14	16	9	10	10	8	11	9	7	12	11	6
Ed21	18	14	10	16	17	14	15	25	2	8	7	9
	5	28	0	19	28	24	25	22	27	28	25	28
Ed22	14	8	6	7	7	8	9	10	4	8	9	9
Ed01	5	3	4	1	1	1	0	0	1	2	1	1
	6	5	7	7	8	7	8	8	7	2	2	2
	7	8	20	20	18	15	13	14	15	15	17	22
	3	11	12	17	14	16	14	17	10	17	13	16
	1	1	0	1	0	1	0	1	2	2	2	0
Ed19	10	9	3	1	1	1	0	2	2	2	1	2
	5	0	10	16	14	10	13	18	12	13	12	11
	13	12	14	21	16	19	17	17	14	12	8	15
	11	10	9	16	11	10	10	11	10	11	12	17
	16	16	13	9	10	10	9	12	11	13	11	10
TOTAL	716	642	674	801	771	741	778	917	731	797	776	821

Nota: Elaboración propia.

El total de metros cúbicos de agua consumidos por todas las viviendas muestreadas por mes, fue introducido al Excel para el cálculo de la Huella de Carbono del MINAM (Tabla 12) donde se obtuvo 3.15 emisiones GEI por dicha actividad, en toneladas de CO_2 equivalente (Tabla 13).

Tabla 12

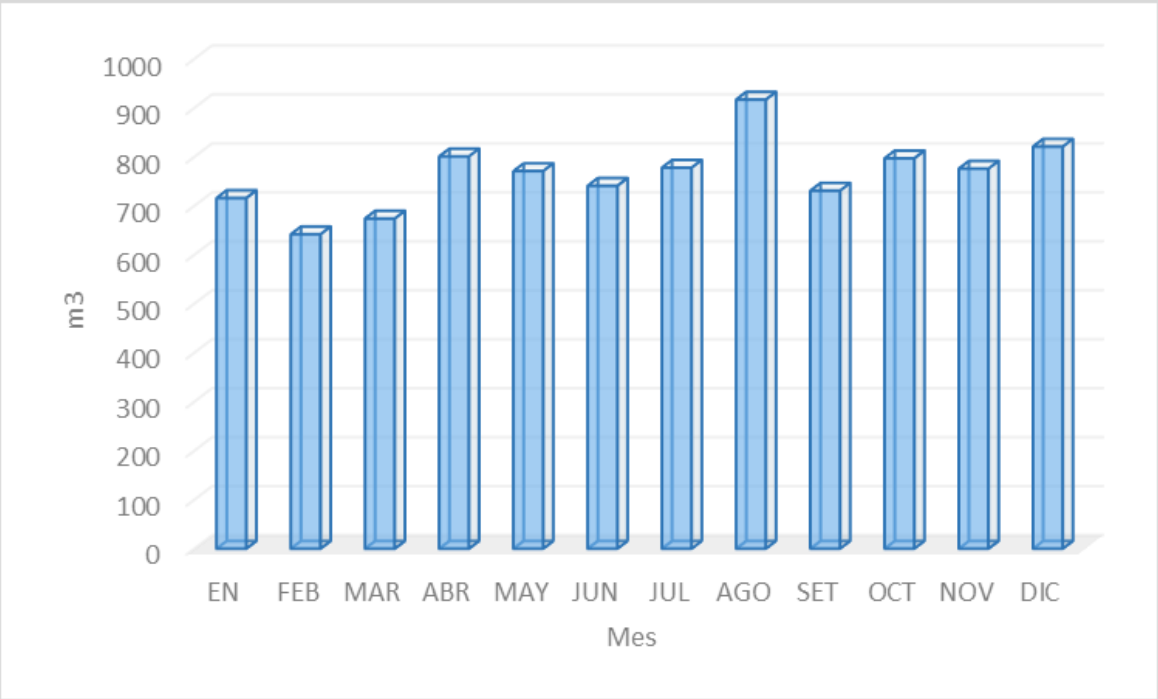
Consumo de agua potable de la red pública en m³ en el periodo 2024.

Área	Año	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	2024	716	642	674	801	771	741	778	917	731	797	776	821	9165.00

Nota: Elaboración Propia.

En la Figura 8 se observa un comportamiento fluctuante a lo largo del año 2024, con valores relativamente bajos, especialmente en febrero y marzo (642 - 674 m³). Asimismo, a partir de abril el consumo de agua potable presenta un incremento progresivo alcanzado en agosto (917 m³), luego se presenta un decrecimiento en septiembre, para finalmente incrementar en los últimos meses del año.

Figura 8. *Variación mensual de consumo de agua potable*



Nota: Elaboración propia.

Tabla 13

Emisiones de GEI por consumo de agua potable.

Descripción	Consumo (Volumen) [m^3]	Factor de emisión de CO_2 [$KgCO_2/m^3$]	Emisiones GEI [tCO_2e]
	A	B	$C=A*B/10^3$
1	9165.00	0.34	3.15

Nota: Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.

4.2.2. Consumo de energía eléctrica.

Por otro lado, se accedió a la Oficina Virtual de la Empresa Prestadora de Servicios SEAL S.A., desde donde se descargaron los recibos correspondientes a cada una de las 31 viviendas seleccionadas. En dichos documentos se pudo visualizar el historial de lecturas de consumo eléctrico mensual abarcando el periodo comprendido entre enero y diciembre del año 2024. Como resultado del procesamiento de esta información, se determinó que el consumo eléctrico anual de la muestra fue de 77 158 kW/h, como se detalla en la Tabla 14. Esta información resulta fundamental para la estimación de las emisiones asociadas al consumo energético anual residencial dentro del marco de la medición de la huella de carbono.

Tabla 14

Consumo de energía mensual durante el año 2024.

Código de Vivienda	**CONSUMO DE ENERGÍA POR MES DEL AÑO (Kw/h)**											
	E	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Ca26	268	211	241	222	229	212	240	212	220	228	219	261
Ca29	137	101	123	135	149	128	125	82	116	124	110	118
Ca31	345	357	377	389	398	378	415	438	420	373	386	413
Ca37	196	177	187	217	211	207	197	204	209	203	197	169
Ca01	166	122	148	148	129	137	139	133	111	111	107	119
Ca02	143	87	110	130	126	111	139	118	127	133	112	126
Ca05	124	71	178	162	227	223	304	251	194	184	221	213
Ca08	116	99	126	117	105	95	99	85	94	103	98	111
Ca09	158	132	160	139	141	132	136	135	139	138	140	143
Ca10	65	64	68	69	71	68	71	65	63	71	62	63
Ca12	100	103	129	118	130	132	141	145	150	166	187	191
Ca13	236	233	230	168	177	169	197	224	171	180	176	202
Ca14	25	25	60	81	96	82	91	41	70	108	95	99
Ca15	88	79	81	76	78	77	104	86	84	85	79	83
Ca21	173	142	148	132	137	127	135	122	125	122	113	124
Ca22	167	140	242	263	246	255	261	245	283	298	272	293
Ca25	106	92	121	122	147	170	182	177	154	138	123	139
Ca33	398	264	366	385	427	412	473	421	418	401	384	444

Ca35	117	126	154	141	145	147	218	157	168	136	157	158
Ca38	1	0	11	11	22	16	10	35	36	38	48	40
Ed12	149	134	144	133	140	143	164	173	149	159	160	156
Ed03	109	105	111	105	113	103	108	116	116	120	113	122
	135	144	150	143	139	165	166	149	163	154	132	163
	143	157	131	149	183	186	182	147	149	159	148	160
	38	0	56	56	60	63	65	58	58	61	64	70
Ed05	201	175	153	203	202	189	220	181	208	211	203	243
	0	1	24	69	75	99	85	79	71	101	83	101
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	141	120	137	140	134	128	185	155	139	123	139	165
Ed10	9	0	0	0	11	7	7	8	11	185	237	185
	179	141	208	162	185	188	215	179	196	178	178	218
	84	81	78	83	81	68	58	62	59	118	92	107
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ed11	69	51	55	57	58	56	59	57	44	51	55	48
	78	80	84	77	86	78	80	75	75	80	69	93
	35	88	97	127	133	111	124	125	117	110	103	110
	37	35	49	62	53	33	34	35	48	56	51	47
Ed16	0	0	1	2	0	0	19	41	52	63	44	53
	34	54	63	52	47	48	59	58	48	54	60	97
	92	1	57	91	96	85	88	47	79	89	76	82
	126	112	133	119	126	127	131	130	134	119	128	134
Ed20	142	115	112	142	153	144	146	88	107	131	137	147

Ed21	28	23	28	20	19	22	18	15	19	18	18	20
	75	73	66	79	81	57	71	65	64	84	81	86
Ed22	99	100	103	103	89	84	111	106	85	114	115	121
Ed01	87	81	52	1	0	0	0	0	0	0	3	1
	0	0	0	7	8	0	0	0	0	0	0	0
	79	81	92	101	106	115	111	138	65	13	101	94
	57	0	112	214	156	100	155	279	110	105	12	0
	57	48	73	58	67	54	70	68	76	56	48	68
Ed19	182	154	270	268	294	268	241	243	274	264	232	295
	135	128	145	131	135	158	161	163	130	134	120	152
	40	41	70	80	80	78	76	73	55	83	75	81
	139	118	143	134	173	173	175	157	161	170	155	173
	1	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0
TOTAL	5910	5066	6257	6393	6676	6411	7061	6647	6415	6703	6518	7101

Nota: Elaboración propia.

Tabla 15

Consumo de electricidad del SEIN en KWh.

Área	Año	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	2024	5910	5066	6257	6393	6676	6411	7061	6647	6415	6703	6518	7101	77,158

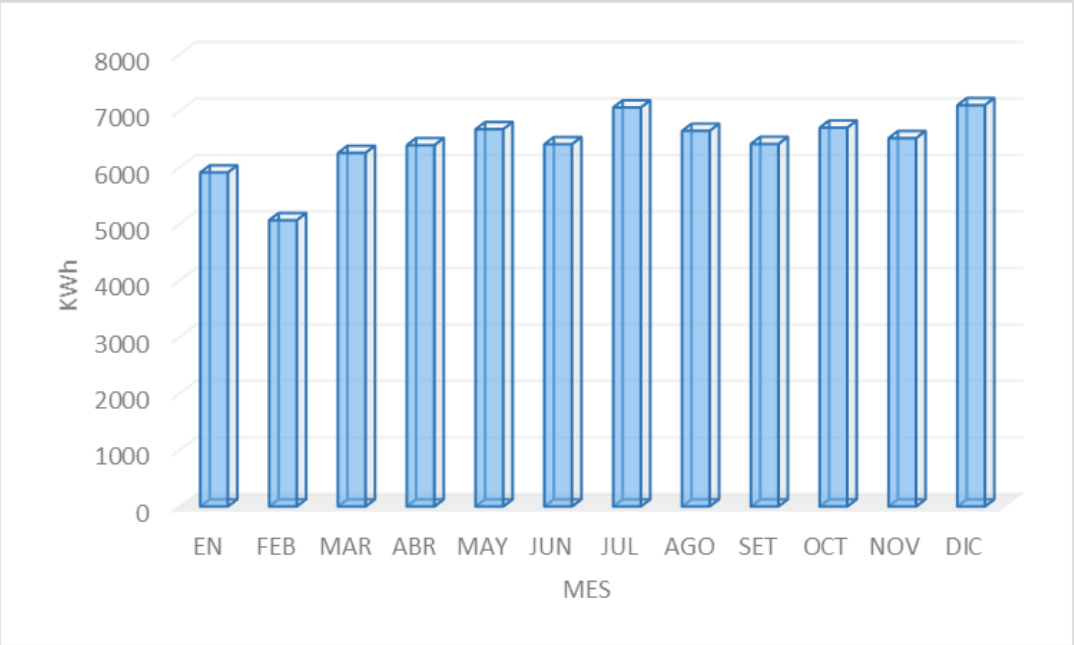
Nota: Elaboración propia.

El consumo energético promedio por vivienda unifamiliar y multifamiliar se estimó en 1972.4 kWh/año y 3771 kWh/año respectivamente, calculado a partir del consumo total anual de las 31 viviendas analizadas. Este dato se encuentra dentro del rango típico reportado para indicadores energéticos residenciales en Perú, donde el consumo anual por vivienda varía entre 984 y 3312 kWh/año, dependiendo del nivel socioeconómico (MINEM, 2023).

Esto posiciona el valor obtenido en una muestra representativa para viviendas urbanas en el ámbito nacional, lo que resulta útil como línea base para evaluar estrategias de ecoeficiencia en el marco del rediseño urbano.

En la Figura 9, la variación mensual por consumo eléctrico muestra oscilaciones relativamente pequeñas, observándose el consumo más bajo en febrero (5066 MWh), mientras que, el valor máximo es en el mes de julio y diciembre (7061 - 7101 MWh).

Figura 9. *Variación mensual del consumo de electricidad del SEIN*



Nota: Elaboración propia.

Tabla 16

Emisiones de GEI en tCO_2e por consumo de energía.

		Consumo de energía eléctrica			Factor de emisión		Factor de emisión		Factor de emisión		
Área	**Unidad**	A Consumo de energía eléctrica	B Factor de conversión [TJ/unidad]	C Consumo [TJ]	D Factor de emisión de CO_2 [t CO_2/MWh]	E Emisiones de CO_2 [t CO_2]	F Factor de emisión CH_4 [KgCH_4/MWh]	G Emisiones metano [tCH_4]	H Factor de emisión de N2O [KgN2O/MWh]	I Emisiones oxido nitroso [t N2O]	J Emisiones GEI [t CO_2e]
		A	B	C=AB	D	E=AxD /1000	F	G=AxF /1000	H	I= A x H / 1000	J=E*GWPE + G*GWPG

											/ I*GWPI
1	KWh	77,158	277,777.78	0.28	0.17	13.13	0.0095	0.00	0.0012	0.00	13.18

Nota: Los factores de emisión considerados en la Tabla 16 permiten transformar una actividad determinada en cantidad de gases emitidos. En el caso de la energía eléctrica los factores indican cuanto CO_2, CH_4 y N_2O se generan por cada unidad de electricidad consumida, incluso, estos valores dependen del tipo de fuente utilizada para producir electricidad en el país. Asimismo, para expresar todas las emisiones en una sola unidad se aplica el Potencial de Calentamiento Global (GWP) definido por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2006. Extraído de Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.

El total de kilovatios por hora de luz consumidos por todas las viviendas muestreadas por mes, fue introducido en la Calculadora de Huella de Carbono del MINAM (Tabla 15) y se obtuvo así 13.18 TCO_2e, el valor de emisiones GEI por dicha actividad, en toneladas de CO_2 equivalente (Tabla 16). Los resultados muestran que, el dióxido de carbono (CO_2) es el gas que presenta mayor contribución dentro de las emisiones por consumo de energía (E). Este resultado es consistente con los estudios realizados por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), quienes indican que el dióxido de carbono suele representar el 95% de las emisiones del sector energético, siendo el metano (CH_4) y el óxido de nitroso (N_2O) responsables del resto.

Por otro lado, el metano y el óxido nitroso tienen un mayor potencial de calentamiento global (GWP_{100}), con valores de 25 y 298 respectivamente, según valores del Fourth Assessment Report (IPCC, 2007) (Fong et al., 2021). Si bien existen valores más actualizados, se utilizaron los del AR4 debido a que son los adoptados por la herramienta oficial utilizada. Sin embargo, las emisiones de estos gases durante la generación de electricidad suelen ser considerablemente más bajas. En contraste, el dióxido de carbono (CO_2) presenta un potencial de calentamiento global definido en 1 CO_2e, pero se libera en grandes cantidades y tiene mayor durabilidad en la atmósfera como resultado de la oxidación del carbono presente en los combustibles fósiles. Esta característica explica su mayor factor de emisión y su contribución predominante a la huella de carbono asociada al consumo de energía eléctrica (EPA, 2025).

Del mismo modo, el factor de emisión (EF) utilizado dentro de la metodología establecida por el Ministerio del Ambiente, refleja la matriz energética del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), el cual incorpora fuentes renovables y fósiles. Según Hassan et al. (2024), Perú tiene una proporción menor de energías renovables en

comparación con otros países como Brasil. Por ello, al analizar el factor de emisión de dióxido de carbono, se observa una notable diferencia: mientras que en Perú este factor es de 0.17 tCO_2/MWh, en Brasil solo alcanza los 0.0385 tCO_2/MWh (Borregard et al., 2024). Esta discrepancia se debe principalmente a que Perú depende en mayor medida de combustibles fósiles, lo que eleva los factores de emisión. Esto demuestra que, aun cuando los residentes no generan emisiones de manera directa, sus patrones de consumo contribuyen a las emisiones de GEI a escala nacional con base en la matriz energética nacional.

Por lo tanto, la elevada contribución en la huella de carbono a causa del consumo de electricidad, nos confirma que este sector posee el mayor potencial de mitigación mediante la transición hacia fuentes de energía más limpias como las renovables.

4.2.3. Generación de residuos sólidos y composición porcentual según MINAM

4.2.3.1. Generación de residuos sólidos de la Urbanización

Durante el año 2024, se realizó el pesaje de residuos sólidos en una muestra de 31 viviendas en el transcurso de la primera semana de cada mes. A partir de estos datos, se estimó la generación anual total, obteniéndose el promedio de la generación alcanzada la primera semana de cada mes, desde el mes de enero hasta diciembre.

Tabla 17

Generación de pulpa de papel, cartones y otros durante el año 2024.

MES	Pulpa de papel, cartones y otros (Kg)						
	DIA 1	**DIA 2**	**DIA 3**	**DIA 4**	**DIA 5**	**DIA 6**	**DIA 7**
ENERO	8.3	8.5	8.1	8.4	8.2	8.7	8.8
FEBRERO	6.7	6.6	6.9	6.8	6.5	5.8	7.88
MARZO	8.62	8.12	6.5	8.77	6.06	5.91	9.01
ABRIL	7.2	7.1	6.6	8.4	6.7	6.5	8.62
MAYO	8.73	7.1	7.5	7	6.4	8.1	8.3
JUNIO	8	7.9	7.6	8.1	7.8	7.7	8.7
JULIO	7.2	7.3	7.8	7.4	7.6	9.2	10.5
AGOSTO	7.1	7.2	7.4	7.3	7.2	9.5	10.5
SEPTIEMBRE	6.8	6.9	7	7.1	7	8.8	8.8
OCTUBRE	6.6	6.7	6.9	6.8	6.9	8.5	9
NOVIEMBRE	6.9	7	7.3	7.2	7.1	9	10.2
DICIEMBRE	7.5	7.8	8	8.1	8.2	10.2	11.5

Nota: Elaboración propia

Tabla 18

Generación de comida, residuos de comida, tabaco y otros durante el año 2024.

MES	Comida, residuos de comida, tabaco y otros						
	DIA 1	**DIA 2**	**DIA 3**	**DIA 4**	**DIA 5**	**DIA 6**	**DIA 7**
ENERO	73.9	72.1	71.8	73.3	72.7	73	73.3
FEBRERO	60.5	61.7	62.1	60.8	61	62	62.1
MARZO	65.86	54.83	77.27	62.29	66.95	71.81	78.45
ABRIL	66.2	65.3	64.9	66.4	65.8	65.6	65.8
MAYO	66.7	67.8	67.2	68.1	66.9	67.3	66.6
JUNIO	69.4	68	67.9	68.6	69	68.5	68.7
JULIO	63.1	68.3	72.5	65.2	67.4	78.6	79.9
AGOSTO	60.4	65.1	69.7	66.6	67.9	80.2	80.5
SEPTIEMBRE	58.7	62	65.2	62.5	63.9	75	77.7
OCTUBRE	57.9	61.4	64	60.3	61.9	76.5	78.8
NOVIEMBRE	59	63.3	67.2	62.6	64.1	79.1	80.2
DICIEMBRE	61.2	67	72.6	69.1	70.2	91.3	94.4

Nota: Elaboración propia.

Tabla 19

Generación de plástico, metales y otros durante el año 2024.

MES	Plástico, metales y otros						
	DIA 1	**DIA 2**	**DIA 3**	**DIA 4**	**DIA 5**	**DIA 6**	**DIA 7**
ENERO	8.2	8.4	8.3	8.5	8.1	8.6	8.3
FEBRERO	6.8	6.6	6.7	6.5	6.9	6.7	6.8
MARZO	9.54	8.21	4.81	5.9	5.57	7.27	10.18
ABRIL	7.4	9.4	5.8	6.8	7.5	8.9	6.5
MAYO	7.6	8	7.3	6.4	8.2	7.4	8.1
JUNIO	7.8	6.7	9.2	7	8.5	7.6	7.4
JULIO	6.3	7.1	7.1	8.5	7.6	9.9	10
AGOSTO	6.4	6.9	7.1	7	7.4	9.2	11.1
SEPTIEMBRE	6	6.8	7	7.1	7.3	7.5	10.8
OCTUBRE	6.2	6.2	6.9	7.1	7.2	9.3	9.1
NOVIEMBRE	7	6.5	6.8	7.3	7.1	10.1	9.5

DICIEMBRE	6.4	7.2	7.6	7.8	7.9	11.1	12.9

Nota: Elaboración propia.

Tabla 20

Generación de textiles durante el año 2024.

MES	**Textiles**						
	DIA 1	**DIA 2**	**DIA 3**	**DIA 4**	**DIA 5**	**DIA 6**	**DIA 7**
ENERO	1.2	1.25	1.22	1.26	1.24	1.27	1.26
FEBRERO	1	1.04	1.01	1.03	1.02	1	1.1
MARZO	2.2	0.3	2.51	0	1.85	0.4	0
ABRIL	1.14	1.1	1.15	1.12	1.11	1.14	1.14
MAYO	1.18	1.15	1.17	1.16	1.14	1.3	1
JUNIO	1.18	1.2	1.14	1.2	1.15	1.16	1.17
JULIO	1.08	1.07	1.09	1.07	1.08	1.1	1.08
AGOSTO	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17	1.27	1.18
SEPTIEMBRE	1	0.99	1	1	1	1	1.01
OCTUBRE	1.23	1.12	1.12	1.12	1.11	1.1	1.12
NOVIEMBRE	1.18	1.15	1.16	1.15	1.15	1.13	1.13
DICIEMBRE	1.29	1.28	1.3	1.29	1.3	1.3	1.32

Nota: Elaboración propia.

La generación de residuos en el año 2024, evidencia una variación significativa por tipo de residuo. En el caso de la pulpa de papel, cartones y otros (Tabla 17), se observa una generación relativamente estable durante los primeros meses del año, incrementando su generación en los últimos tres meses del año (noviembre y diciembre).

Por otro lado, los residuos de comida, tabaco y otros, presentan la generación y valores más elevados dentro de este conjunto de residuos, constituyendo una fracción predominante de los residuos sólidos generados sobre todo en los meses de julio, agosto, septiembre y especialmente en diciembre (Tabla 18).

En cuanto a los residuos de plástico, metales y otros, se observan también fluctuaciones moderadas durante todo el año con especial incremento en el primer trimestre del año (Tabla 19). Por último, los residuos de textiles (Tabla 20) presentan valores más bajos en comparación con los ya mencionados, indicando una menor contribución en lo que respecta más adelante en cálculo de la huella de carbono.

Tabla 21

Generación de residuos anual total.

TIPO DE RESIDUO	PROMEDIO	B = A*365	Generación de residuos anual por vivienda	Desviación estándar	E = D*365	F = E/31	Intervalo de confianza	Generación de residuos anual total
	A		C =B/31	D				
Plástico, metales y otros	7.71	2814.32	90.78	1.39	508.94	16.42	74.4 - 107.2	3323.20
Comida, residuos de comida, tabaco y otros	68.34	24945.84	804.70	7.04	2570.32	82.91	721.7 - 887.6	27515.60
Textiles	1.13	414.19	13.36	0.31	113.07	3.65	9.7 - 17	527.00
Pulpa de papel, cartones y otros	7.76	2834.05	91.42	1.10	401.65	12.96	78.5 - 104.4	3236.40

Nota: Elaboración propia.

La Guía para la caracterización de residuos sólidos del MINAM sugería el cálculo de la generación per cápita de cada vivienda, al ser una metodología ampliamente utilizada para el diagnóstico y estimaciones dentro del campo de la gestión de residuos sólidos, Boggiano Burga (2021) utiliza una metodología similar dentro del contexto nacional, muestreando una población específica y dividiéndola en 5 diferentes zonas territoriales, si bien el fin es similar, al buscar calcular la huella de carbono, el valor anual de residuos sólidos generados (en Kg) resultaba más valioso para esta investigación. Por ello, se optó por realizar una proyección anual de los valores promedio de cada tipo de residuo obtenidos durante el periodo de muestreo, de manera que se pudiera obtener una generación anual por tipo de residuo, validando el dato obtenido con el cálculo de la desviación estándar y manteniendo un intervalo de confianza aceptable. Alvarado & Tenezaca, 2023; Chinchilla Blanco et al.,

2024, destacan la importancia de emplear un enfoque estadístico como el cálculo de la desviación estándar para garantizar que las estimaciones de generación sean lo más representativas posible, tomando en cuenta que la obtención de datos reales de una muestra no siempre es posible. Sin embargo, es de importancia resaltar que dicha proyección anual se estimó asumiendo que el comportamiento de consumo observado es representativo durante todo el año, por lo tanto, las cantidades reales podrían variar al estar sujetas a factores estacionales no considerados dentro de la metodología propuesta por la guía del MINAM.

La generación anual de residuos obtenida se resumió en la Tabla 22 y, se ingresaron estas cantidades a la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM, lo cual permitió obtener la emisión de GEI anual por residuos sólidos en gigagramos de dióxido de carbono equivalente (Tabla 23).

Tabla 22

Generación de residuos sólidos en Kg.

Año	**Generación de residuos sólidos (Kg)**						
	Madera y productos de madera	**Pulpa de papel, cartones y otros**	**Comida, residuos de comida, tabaco y otros**	**Textiles**	**Residuos de jardines y parques**	**Pañales**	**Plástico, metales y otros**
2024	0.00	3236.40	27515.60	527.00	0.00	0.00	3323.20

Nota: Elaboración propia.

Tabla 23

Emisión de GEI anual por residuos sólidos.

Año de disposición	Unidad	Disposición municipal [Kg_{WD}/año]	Factor de corrección para el metano (MCF)	Carbono orgánico degradable (DOC) [Kg_C/Kg_{WD}]	Carbono orgánico realmente degradado (DOC_f)	Fracción de carbono liberado como CH_4 (F)	Relación de Conversión (16/12)	Potencial de generación de metano por unidad de desperdicios [$KgCH_4/Kg_{WD}$]	Generación real de metano por unidad de desperdicios [$KgCH_4/Kg_{WD}$]	Total bruto anual de metano generado [tCH_4/año]	Reducción metano [t CH_4/año]	Fracción oxidación (1 - OX)	Potencial de calentamiento atmosférico (GWP)	Emisiones GEI [Gg CO_2e/año]
		A	B	C	D	E	F	G = C * D * E * F	H = G * B	I = H * A	J	K	L	M =(I - J) * K * L
2024	Kg	34,602	0.50	779.84	0.50	0.50	1.3333	259.95	129.97	0.1300	-	1	28	3.64

Nota: En la Tabla 23, los factores se basan en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos. Cuando los residuos se degradan en ausencia de oxígeno producen metano, gas con alta capacidad de calentamiento global, 28 veces mayor al dióxido de carbono. Por ende, el IPCC (2006) establece los siguientes parámetros:

*MCF: considera las condiciones del lugar donde se depositan los residuos (en presencia de oxígeno, compactación, entre otros).

*DOC: indica cuánta materia orgánica tiene un residuo y cuánto de este material puede descomponerse. Ej: El papel y restos de comida tienen más carbono degradable que el metal o vidrio.

*DOC_f: representa la cantidad de materia orgánica que se degrada con el tiempo, ya que no todo el carbono presente en los residuos se descompone en su totalidad.
*F: indica que porcentaje de biogás corresponde a metano. Al generarse una mezcla de gases, este factor permite identificar la fracción de metano.
*Relación de conversión 16/12: convierte la cantidad de carbono a cantidad de metano, es decir, de 12 kg de carbono producen 16 kg de metano.

Extraído de Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.

De acuerdo a la Tabla 22, la mayor cantidad de residuos generados fueron los orgánicos, lo cual, pone en evidencia la alarmante tasa de crecimiento del desperdicio de alimentos, siendo este uno de los desafíos ambientales más relevantes a nivel mundial, que trae consigo consecuencias no solo ambientales, sino también sociales y económicos (Darnas et al., 2025). Es de conocimiento que este desperdicio de alimentos no solo viene de la cocina, como es el caso estudiado, sino también de restaurantes, industrias y mercados, siendo coherente que suponga hasta un tercio del total de residuos municipales (Yukesh Kannah et al., 2020), lo cual resulta alarmante, considerando que la descomposición de estos desechos genera metano y dióxido de carbono, contribuyendo a la generación de lixiviados y reducción de la calidad del agua (Darnas et al., 2025). A nivel nacional, se vive un panorama de serios problemas nutricionales, debido a la elevada tasa de poblaciones vulnerables que no tienen acceso a una alimentación saludable. En Perú, se calcula que el promedio de desechos equivale a 12.8 millones de toneladas al año, representando el 47.6% del total de alimentos con los que el país cuenta anualmente (Ministerio de Desarrollo y de Inclusión Social, 2023) y, que de distribuirse adecuadamente, podrían resolverse los problemas nutricionales que enfrenta actualmente e incluso, contribuiría a reducir la gran pérdida económica y el impacto ambiental asociados, al atribuirse más de 3.3 mil millones de toneladas de emisiones de GEI al desperdicio de alimentos (De la Barrera, 2021).

4.2.3.2. Cálculo de la composición porcentual

A continuación, se presentan los valores totales de generación de residuos sólidos por tipo y por día, correspondientes a las 31 viviendas muestreadas durante una semana (Tabla 24). Se eligió la primera semana del mes de marzo como periodo de evaluación debido a que representa una etapa de actividad regular y no estacional en los hogares, lo que permite obtener datos más representativos del comportamiento promedio en la generación de residuos.

Posteriormente, esta información fue procesada en la matriz de composición porcentual de residuos, siguiendo los lineamientos establecidos en la Guía de Residuos Sólidos y el Kit de Gestión Integral de los Residuos Sólidos de la Guía para el Buen Gobierno Municipal en materia de gestión ambiental (MINAM, 2019). En particular, se empleó el Anexo 10 - Formato de Composición, el cual clasifica los

residuos en dos categorías principales: residuos aprovechables y residuos no aprovechables. Los residuos aprovechables se subdividen en Residuos orgánicos y Residuos inorgánicos, desglosados en: papel (blanco y mixto), cartón, tetra brik (envases multicapa), plástico, vidrio, metales, textiles, y caucho, cuero y jebe.

Cabe señalar que, en el marco de esta investigación, no se registraron residuos no aprovechables, dado que estos comprenden materiales como papel higiénico, pañales, toallas sanitarias y residuos inertes, los cuales son destinados al Botadero Municipal Quebrada Honda ubicado en la ciudad de Arequipa.

Tabla 24

Generación semanal de residuos sólidos aprovechables durante el año 2024.

TIPO DE RESIDUO SÓLIDO	TOTAL						
	Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**
	Kg	***Kg***	***Kg***	***Kg***	***Kg***	***Kg***	***Kg***
1.Residuos Orgánicos							
1.1. Residuos de alimentos	65.86	54.83	77.27	62.29	66.95	71.81	78.45
2. Residuos Inorgánicos							
2.1. Papel							
Blanco	2.82	3.00	2.88	2.87	1.86	2.00	3.69
Mixto	2.34	1.40	1.55	1.60	1.50	1.32	1.45
2.2. Cartón	3.46	3.72	2.07	4.30	2.70	2.59	3.87
2.3. Tetra brik	0.74	0.50	0.49	0.55	0.32	0.35	0.57
2.4. Plástico	7.35	6.71	3.93	4.65	4.95	5.42	8.76
2.5. Vidrio	3.33	2.59	0.80	2.75	2.91	1.92	1.60
2.6. Metales	1.45	1.00	0.39	0.70	0.30	1.50	0.85
2.7. Textiles	2.20	0.30	2.51	0.00	1.85	0.40	0.00
2.8. Caucho, cuero, jebe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: Elaboración propia.

Como resultado del análisis, se obtuvo el total de residuos generados y se determinó su composición porcentual (Tabla 25). Se evidenció que, dentro de los residuos aprovechables, predominan los residuos orgánicos, como se mencionó anteriormente, representando el 78.91% del total, en contraste con los residuos inorgánicos, que conforman únicamente el 21.1% (Figura 10).

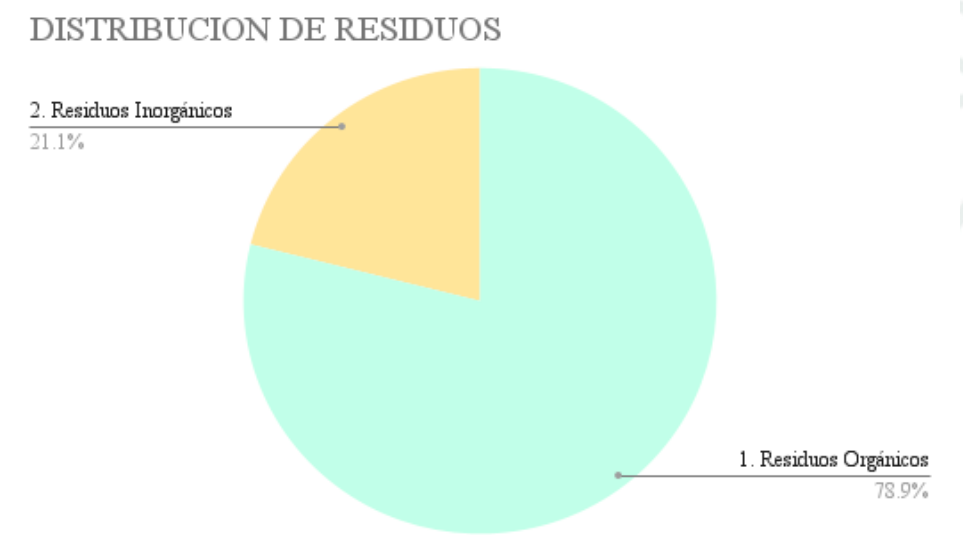
Tabla 25

Generación total semanal de residuos aprovechables.

TIPO DE RESIDUO SÓLIDO	TOTAL	COMPOSICIÓN PORCENTUAL
	Kg	***%***
Residuos aprovechables		
1. Residuos Orgánicos	477.46	78.91
2. Residuos Inorgánicos	127.63	21.09
2.1. Papel	30.28	5
2.2. Cartón	22.71	3.75
2.3. Vidrio	15.9	2.63
2.4. Plástico	41.77	6.9
2.5. Tetra brik (envases multicapa)	3.52	0.58
2.6. Metales	6.19	1.02
2.7. Textiles (telas)	7.26	1.2
2.8. Caucho, cuero, jebe	0	0

Nota: Elaboración propia.

Figura 10. *Composición porcentual de residuos orgánicos e inorgánicos, periodo 2024.*

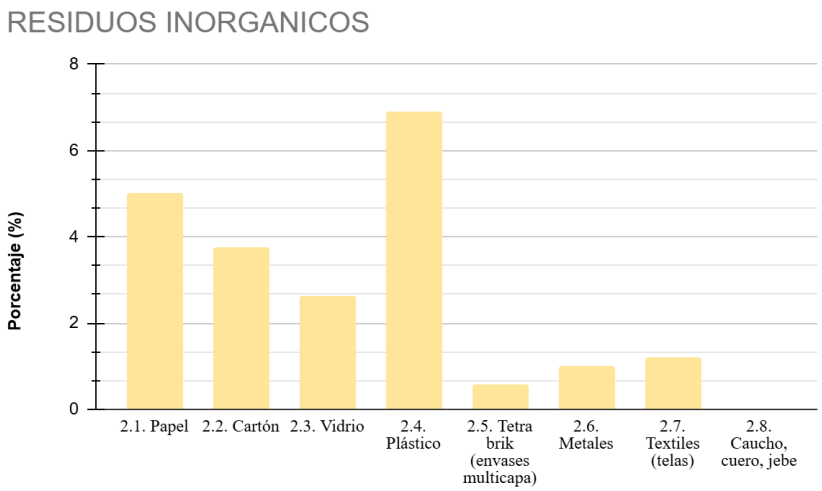


Nota: Elaboración propia.

Del total de residuos inorgánicos (21.09%), y tal como se observa en la Figura 11, es el residuo con mayor presencia es el plástico, con un 6.90%, seguido por papel (5.00%),

cartón (3.75%) y vidrio (2.63%). En menor proporción se encontraron textiles (1.20%), metales (1.02%) y envases multicapa (tetra brik) (0.58%). Cabe resaltar que no se identificó la presencia de residuos de caucho, cuero ni jebe durante el periodo de muestreo.

Figura 11. *Composición porcentual de residuos inorgánicos, periodo 2024*



Nota: Elaboración propia.

4.2.4. Cálculo de la huella de carbono

La Huella de Carbono Perú del MINAM, abarca tres alcances principales: Alcance 1, emisiones directas de la organización; Alcance 2, emisiones indirectas por compra de energía; y Alcance 3, otras emisiones indirectas, como las de la cadena de suministro. Estas mediciones permiten a las organizaciones comprender su impacto ambiental y tomar medidas para reducir sus emisiones, no obstante, como se puede ver en la Tabla 26, para este caso solo se consideró al Alcance 2 y 3: consumo de agua, generación de energía SEIN y generación de residuos sólidos.

La herramienta procesó los datos ingresados y calculó el CO_2 equivalente en toneladas emitidos por cada actividad, como se explicó anteriormente.

Tabla 26

Resumen de Emisiones de GEI durante el periodo 2024.

Alcances	Dióxido de carbono [tCO_2]	Metano [tCH_4]	Óxido Nitroso [tN20]	Hexafluoruro de azufre [tSF6]	Hidrofluoro carbonos [tHFC]	Perfluorocarbonos [tPFC]	Trifluoruro de nitrógeno [tNF3]	Emisiones GEI [tCO_2e]	Participación general [%]

Alcance 1								0.00	0.00%
Alcance 2								13.18	65.99%
Consumo de electricidad del SEIN (en KW/h)	13.13	0.00	0.00	-	-	-	-	13.18	65.99%
Alcance 3								6.79	34.01%
Consumo de agua potable de la red pública (en m^3)	-	-	-	-	-	-	-	3.15	15.79%
Generación de residuos sólidos	-	0.1300	-	-	-	-	-	3.64	18.22%
TOTAL HUELLA DE CARBONO	**13.13**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**19.97**	**100%**

Nota: Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM. (Anexo 6, B).

Como se observa en la Tabla 26, la huella de carbono total estimada para la urbanización durante el periodo de evaluación es equivalente a 19.97 tCO_2e. La mayor contribución le corresponde al consumo de electricidad con 13.18 tCO_2e (65.99%), seguido por la generación de residuos sólidos con 3.64 CO_2e (18.22%), y el consumo de agua potable con 3.15 (15.79%).

Según los datos obtenidos, la huella de carbono es aproximadamente de 0.60 tCO_2e o 600 $kgCO_2e$ por vivienda al año, lo cual resulta notablemente menor comparado con investigaciones recientes. Este es el caso de Sun y Ma (2026) quienes reportan valores de huella de carbono per cápita de 2081.18 kg CO_2e en 2018 y 2218.34 kg CO_2e en 2022, a partir de un análisis realizado a 3002 hogares rurales en cinco provincias China, evidenciando un incremento de 6.59% durante ese periodo.

Esta diferencia resulta esperable, puesto que dichos estudios no solo tienen una muestra mucho mayor, sino que además consideran el consumo total de hogares, destacando el consumo por vivienda asociado al uso de electrodomésticos y climatización, seguida de transporte privado y alimentos, en contraste a la presente investigación, realizada a menor escala.

Por otro lado, Villarreal (2024) en su investigación sobre las emisiones de GEI de la clínica Cori S.A.C, también utilizó la calculadora del MINAM como herramienta para el cálculo de la huella de carbono; si bien se trata de un objeto de estudio diferente, con variables orientadas al funcionamiento de un establecimiento de salud, el autor llegó a la conclusión que las emisiones por consumo energético fueron las responsables de más del 46% del total de las emisiones de GEI, lo cual guarda concordancia con los resultados obtenidos en el presente estudio; por lo que se puede inferir que, la energía utilizada para abastecer a los diferentes establecimientos y viviendas del país es de las principales fuentes emisoras de GEI, resultando perjudicial para el medio ambiente.

4.3. Propuesta de una urbanización sostenible

Después de haber hallado la huella de carbono, se desarrollaron tres propuestas de infraestructura sostenible orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el área de estudio.

4.3.1. Sistema de recirculación de agua:

Para el desarrollo de la propuesta, inicialmente se elaboró un modelo matemático de regresión lineal, el cual permite proyectar el consumo de agua en función al número de habitantes por vivienda. De este modo, si se quisiera hallar la huella hídrica sin tener recibos de consumo de agua, se podría utilizar este modelo para aproximar el consumo a partir de la cantidad de habitantes. Posteriormente se calculó la huella hídrica con el objetivo principal de cuantificar el volumen de agua azul que podría ser reemplazado mediante la reutilización de las aguas grises. Finalmente, se propuso un filtro de flujo descendente como sistema de tratamiento orientado a mejorar la calidad de agua para su reutilización.

4.3.1.1. Modelo matemático de regresión lineal para el consumo de agua

Para el modelamiento matemático se tomaron en cuenta el total de 31 viviendas considerando su respectivo consumo total de agua por unidad habitacional. En aquellas viviendas que contaban con más de un medidor, se realizó la sumatoria de los consumos registrados a fin de obtener un único valor representativo por unidad de análisis. Para el desarrollo del análisis estadístico, se definió como variable dependiente (Y) el consumo promedio mensual de agua, expresado en m^3/mes, mientras que la variable independiente (X) correspondió al número total de habitantes por vivienda.

De esta forma, aplicando la fórmula 6 y 7 para obtener los coeficientes de la ecuación, obtenemos que el modelo se ajusta a la siguiente equivalencia,

Los resultados estadísticos obtenidos de este modelo se presentan en la Tabla 27:

Tabla 27

Parámetros estadísticos para el modelo de regresión lineal para consumo de agua

Parámetro	**Valor**	**Unidad / Interpretación**
Intercepto (a)	11.6395	m³/mes
Coeficiente (b)	2.7410	m³/hab/mes
N (viviendas/edificaciones)	31	Tamaño de muestra
Coef. de correlación (R)	0.6334	Correlación positiva moderada-alta
Coef. de determinación (R^2)	0.4012	El modelo explica el 40.1% de la variabilidad
Error estándar de b	0.6218	m³/hab/mes
Estadístico t	4.4084	gl = 29
p-valor	0.000131	Significativo al 99.9% ($p < 0.001$)
Intervalo de Confianza al 95% para b	[1.4693;4.0127]	m³/hab/mes
RMSE	10.9816	m³/mes

Nota: Elaboración Propia.

El coeficiente *b* resultó estadísticamente significativo, con un estadístico $t = 4.41$ y un p-valor de 0.000131, inferior al umbral de 0.001. Esto permite rechazar la hipótesis nula de que el número de habitantes no influye sobre el consumo de agua, con un nivel de confianza del 99.9%. El intervalo de confianza al 95% para *b* se sitúa entre 1.47 y 4.01 m³/hab/mes, confirmando que la relación es positiva y estadísticamente robusta.

El error cuadrático medio (RMSE) del modelo fue 10.98 m³/mes, lo que indica que la mayor parte de las unidades presentan desviaciones moderadas respecto al valor estimado. No obstante, si comparamos los resultados observados con los estimados mediante el modelo podemos encontrar unidades con diferencias elevadas:

Tabla 28

Diferencia entre consumo de agua observado y estimado mediante regresión lineal.

N°	Código	Habitantes (X)	Y observado (m^3/mes)	Ŷ estimado (m^3/mes)	Residuo (m^3/mes)
1	Ca01	3	8.75	19.86	-11.11
2	Ca02	2	19.08	17.12	1.96
3	Ca05	4	23.00	22.60	0.40
4	Ca08	2	30.33	17.12	13.21
5	Ca09	3	21.00	19.86	1.14
6	Ca10	3	7.75	19.86	-12.11
7	Ca12	6	24.08	28.09	-4.00
8	Ca13	4	10.08	22.60	-12.52
9	Ca14	3	31.25	19.86	11.39
10	Ca15	2	17.75	17.12	0.63
11	Ca21	2	24.25	17.12	7.13
12	Ca22	2	22.67	17.12	5.55
13	Ca25	9	28.00	36.31	-8.31
14	Ca26	3	13.08	19.86	-6.78
15	Ca29	3	10.58	19.86	-9.28
16	Ca31	2	33.50	17.12	16.38
17	Ca33	3	33.42	19.86	13.55
18	Ca35	3	10.92	19.86	-8.95
19	Ca37	3	12.75	19.86	-7.11
20	Ca38	4	2.75	22.60	-19.85
21	Ed01	9	37.00	36.31	0.69

22	Ed03	9	59.67	36.31	23.36
23	Ed05	11	42.67	41.79	0.88
24	Ed10	2	38.75	17.12	21.63
25	Ed11	11	42.92	41.79	1.13
26	Ed12	7	21.67	30.83	-9.16
27	Ed16	10	31.08	39.05	-7.97
28	Ed19	12	52.00	44.53	7.47
29	Ed20	2	10.25	17.12	-6.87
30	Ed21	5	34.50	25.34	9.16
31	Ed22	3	8.25	19.86	-11.61
PROMEDIO		4.75	24.64	24.64	0.00

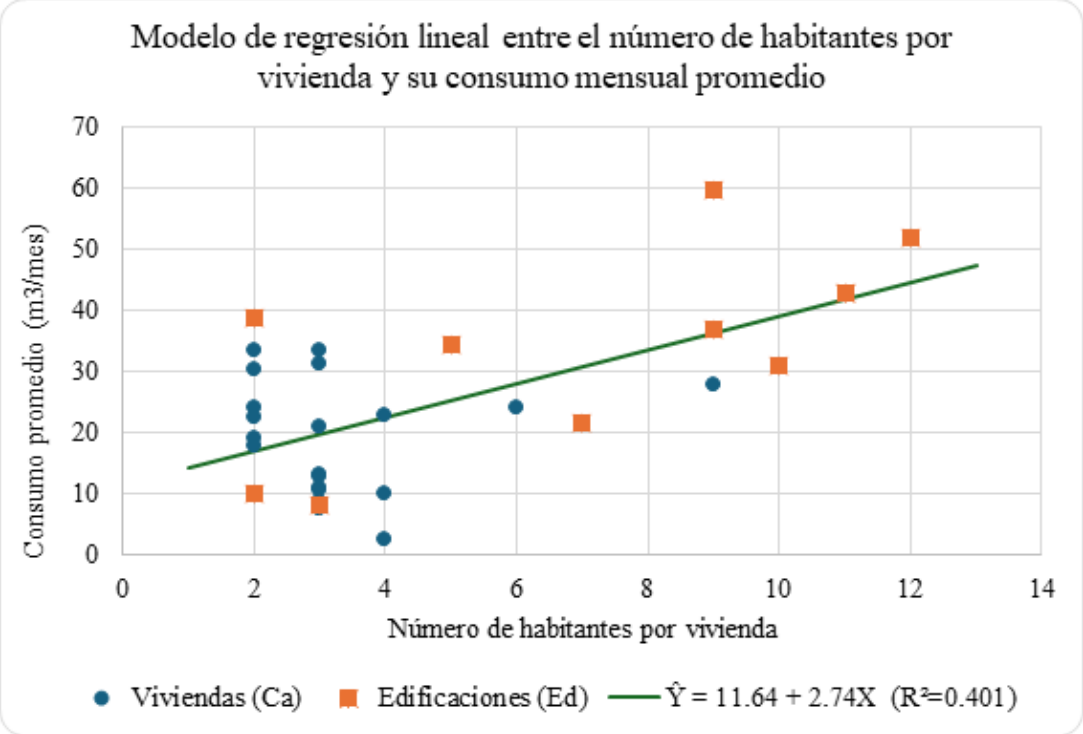
Nota: Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 28, encontramos viviendas cuyo consumo real supera considerablemente lo predicho por el modelo. Esto sugiere la presencia de factores adicionales en dichas unidades como el posible uso mixto residencial-comercial, fugas, o composición familiar atípica al promedio, siendo así que el modelo lineal simple no logra capturar. Por el contrario, unidades con altos residuos negativos muestran un consumo inferior al estimado, lo que podría indicar períodos de desocupación o un uso particularmente limitado del agua como se observa en muchas viviendas de la muestra tomada. Estas desviaciones son consistentes con las limitaciones inherentes de los modelos lineales señalados por Grafton et al. (2017) y no comprometen la validez general del modelo para la estimación agregada de la demanda hídrica en el área de estudio.

Los resultados del modelo permiten proyectar la demanda hídrica de nuevas unidades habitacionales o en escenarios de distinto consumo. Aplicando la ecuación obtenida, una vivienda de 4 habitantes demandaría en promedio 22.60 m³/mes, mientras que una edificación de 10 habitantes alcanzaría 38.94 m³/mes. Esta capacidad predictiva constituye una herramienta directa para la planificación de redes de distribución de agua, el dimensionamiento de infraestructura sanitaria y la formulación de políticas de gestión hídrica en el área de intervención urbanística (Obiuto et al., 2024).

Con el fin de visualizar la relación existente entre el número de habitantes por vivienda y el consumo promedio mensual de agua, se elaboró una gráfica de dispersión con su respectiva línea de regresión lineal:

Figura 12. *Modelo de regresión lineal entre el número de habitantes por vivienda y su consumo mensual promedio*



Nota: Elaboración Propia.

Se observa en la Figura 12 una diferencia de comportamiento visual entre el consumo de agua en viviendas y edificaciones. Las viviendas se concentran entre 2 y 6 habitantes con consumos muy dispersos (desde 2.75 hasta 33.50 m³/mes), lo que sugiere que en este grupo el número de habitantes no es el único factor determinante del consumo. En cambio, las edificaciones tienden a agruparse en rangos altos de habitantes y muestran una progresión más ordenada hacia la recta de regresión, siguiendo con mayor fidelidad la tendencia lineal estimada. Esto indica que el modelo explica mejor el consumo en edificaciones multifamiliares que en viviendas unifamiliares, donde probablemente intervienen con mayor peso factores individuales como hábitos domésticos o eficiencia de instalaciones.

El coeficiente de regresión obtenido equivale a un consumo per cápita de 91.4 litros por habitante por día. Este valor supera el umbral mínimo de 50 litros/persona/día establecido por la Organización Mundial de la Salud como cantidad necesaria para

cubrir las necesidades humanas básicas de agua potable, saneamiento e higiene (WHO, 2003), lo que indica que la población del área de estudio accede a un volumen de agua suficiente para garantizar condiciones sanitarias adecuadas.

Desde la perspectiva del diseño urbano, Wentz et al. (2014) aplicaron modelos de regresión para identificar los factores determinantes del consumo en viviendas multifamiliares, concluyendo que variables como la densidad habitacional y el número de residentes por unidad son predictores estadísticamente significativos del consumo total, lo que respalda directamente la pertinencia del presente modelo en un estudio de diseño urbanístico.

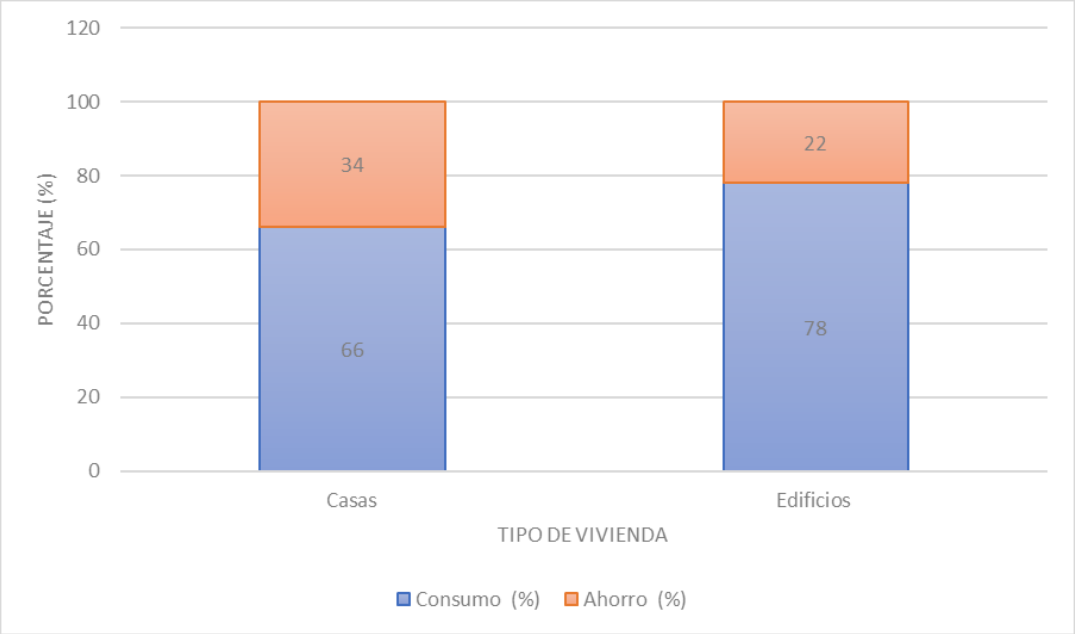
Dado que la presente investigación cuenta con datos de consumo real por vivienda y número de habitantes, pero no con registros por actividad (duración de duchas, frecuencia de lavado, entre otros), se adopta la regresión lineal simple como método de estimación respaldado por Putri (2025), quien demuestra que el consumo doméstico de agua puede expresarse como una función lineal del número de habitante. Finalmente, Grafton et al. (2017) señalan que los modelos lineales de regresión mantienen validez operativa para la formulación de políticas y propuestas tecnológicas de conservación del agua, en tanto permiten simular escenarios de cambio y proyectar su impacto directo sobre la demanda hídrica.

4.3.1.2. Cálculo de la huella hídrica

El cálculo de la huella hídrica se efectuó conforme a las directrices establecidas en la norma ISO 14046, empleando el criterio de control como base metodológica. El análisis se estructuró en tres componentes principales, como son la huella azul, la huella gris y la huella verde.

Para el cálculo de la huella hídrica azul, se consideraron los porcentajes de consumo de agua por usos domésticos presentados en el Anexo 8, B1, obteniéndose un ahorro total estimado de 34% para viviendas unifamiliares y de 22% para viviendas multifamiliares. Conforme a lo explicado en la metodología, se aplicaron los porcentajes de consumo que permanecen luego de aplicar el ahorro estimado: para viviendas unifamiliares 66% y 78% para multifamiliares, como se observa en la Figura 13.

Figura 13. *Reducción del consumo de agua por tipología de vivienda*

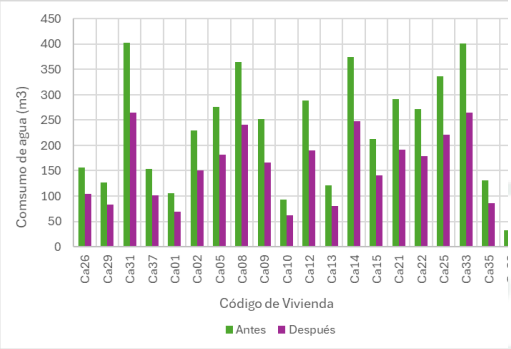


Nota: Elaboración propia.

Si bien es cierto ambos tipos de viviendas tratan y reutilizan nuevamente el agua para el uso de los inodoros, se presume que las casas tienden a tener áreas verdes en comparación con los edificios, es decir, que las viviendas unifamiliares incluyen el uso de agua potable para el riego de sus jardines, lo cual incrementa su consumo base. Entonces, al implementarse el sistema de recirculación el impacto porcentual sobre el consumo total resulta mayor en comparación con los edificios donde no existe componente de riego.

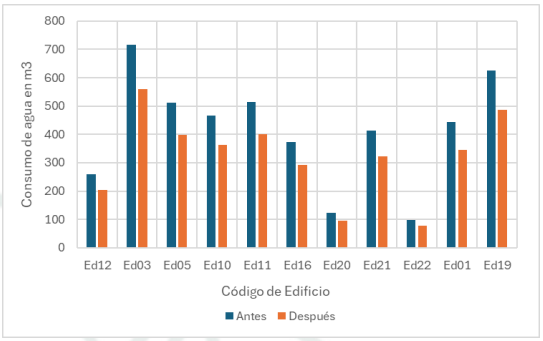
La representación visual de la reducción del consumo de agua potable obtenida se complementa con las Figuras 14 y 15, mientras que los valores del cálculo de la HHA final se presentan en el Anexo 8, B2.

Figura 14. *Comparación del consumo de agua de las casas*



Nota: Elaboración propia.

Figura 15. *Comparación del consumo de agua de los edificios*



Nota: Elaboración propia.

Para hallar la huella hídrica gris se realizó previamente la caracterización fisicoquímica del efluente doméstico, análisis que fue ejecutado por el laboratorio ALAB, certificado por INACAL. Como resultado, se obtuvieron los parámetros presentados en la Tabla 29.

Tabla 29

Caracterización de aguas grises de un efluente doméstico.

Ensayo	**Unidad**	**Resultados**	
		Ducha	**Lavadora**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	237.5	568.1
Aceites y Grasas	mg/L	38.25	<0.50
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	100	157.89
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	583.4	1298.9
Detergentes (*)	mg/L	4650	44029
Aniones INACAL-DA	-	-	-
Sulfato (*)	mg/L	45.8	623.3

Nota: Elaboración propia.

Los valores obtenidos muestran una carga orgánica considerable especialmente en los parámetros de DBO y DQO, lo que indica la presencia de materia orgánica biodegradable y compuestos químicos orgánicos derivados de actividades domésticas; en este caso el lavado de ropa y aseo personal. Por otro lado, la concentración elevada de detergentes y sulfatos confirma la presencia de productos de limpieza en el efluente, lo cual incrementa la carga contaminante y, en consecuencia, la huella hídrica gris.

Para la evaluación de la huella hídrica gris, se consideró la Categoría 4 "Conservación del ambiente acuático" del Estándar de Calidad Ambiental, utilizando el parámetro DBO_5, como indicador de contaminación, obtenido a partir de los valores provenientes de la caracterización del efluente doméstico, aplicando la Fórmula 9 presentada en la metodología:

$$DBO_{5i} = DBO_U(1 - e^{k*5})$$

$$DBO_{5i} = \left(\frac{237.5 + 568.1}{2}\right) * (1 - e^{0.23*5})$$

$$DBO_{5i} = (402.8) * (1 - e^{0.23*5})$$

$$DBO_{5i} = 275.3 \text{ mg/L}$$

El valor obtenido fue dividido entre 10 mg/L, obteniéndose así el factor de dilución inicial: 27.53. Posteriormente, este valor se multiplicó por la HHA inicial, dando como resultado la HHG inicial (Anexo 8 A).

Después de aplicado el sistema de recirculación se volvió a calcular la DBO_{5f} , para ello se consideró el incremento de contaminación después del reuso de agua, aplicando la Fórmula 10 presentada en la metodología:

$$\Delta\, In\, DBO_5 = \frac{HAA_i * DBO_{5i} * (1 - n) * R}{HHA_f}$$

$$\Delta\, In\, DBO_5 = \frac{9165 * 275.3 * 0.20 * 0.2854}{6595.05} = 21.8\, mg/L$$

ΔDBO_{5f}= 21.8 mg/L + 275.3 mg/L = 296.9 mg/L

De modo que el valor de DBO_{5f} obtenido se dividió nuevamente entre 10 mg/L, dando como resultado un factor de dilución final de 29.7. Finalmente, este factor se multiplicó por la HHA final y se obtuvo la HHG final. (Anexo 8 B.2).

Cabe destacar que la DQO incluye tanto la materia orgánica biodegradable como no biodegradable, lo cual puede sobreestimar el impacto ambiental si se usa como indicador de calidad de agua. Por lo tanto, para la estimación de la huella gris se utiliza la DBO_5 al ser el parámetro más representativo de la fracción biodegradable de la materia orgánica y estar directamente relacionado con el consumo de oxígeno disuelto conforme a la metodología de la huella hídrica (Hoekstra et al., 2011).

En la Tabla 30 se resume el conjunto de condiciones y valores resultantes del análisis.

Tabla 30

Balance hídrico del sistema de recirculación antes y después de la implementación propuesta.

	Escenario inicial (m³/año)	**Agua reutilizada/recuperada (m³/año)**	**Escenario final (m³/año)**	**Reducción (%)**
HHA (m³/año)	9 165	2 570.7	6 594.30	
HHG (m³/año)	252 312.5	56 371.7	195 940.8	
HHV (m³/año)	65.4	0	65.4	
Total	261 542.85	58 942.4	202 600.5	23

Nota: Elaboración propia.

Producto de la implementación de un sistema de recirculación de aguas grises en la urbanización a través del balance hídrico aplicado, se obtuvo que la huella azul presentó la reducción de aproximadamente 2 570.7 m³/año. Lo cual, desde una perspectiva de gestión sostenible del recurso hídrico, no solo optimiza el uso del recurso, sino que disminuye la extracción de fuentes superficiales y se reduce la

presión sobre el sistema de abastecimiento urbano de acuerdo a los principios de economía circular aplicada al recurso hídrico.

La huella gris inicial fue de 252 312.5 m³/año reduciéndose hasta 195 940.8 m³/año tras la implementación del sistema de recirculación, lo cual es ambientalmente relevante ya que disminuye la cantidad de agua contaminada, por ende, existiría una menor presión sobre los cuerpos receptores, representando un menor volumen de agua para diluir la carga contaminante en los cuerpos receptores finales.

En cuanto a la huella verde asociada al volumen de agua almacenada en el suelo producto de las precipitaciones, se mantiene constante; pues, para que exista una variación y ahorro debería implementarse un sistema de captación pluvial.

La diferencia entre ambos escenarios permitió cuantificar la reducción potencial en el consumo de agua y en la carga contaminante. El 23% de reducción obtenido en Excel resultó del cálculo de la Fórmula 11:

$$\text{Eficiencia del sistema} = \frac{261\,542.85 - 202\,600.5}{261\,542.85} x100 = 23$$

Obteniéndose una reducción del 23% de la huella hídrica total respecto al escenario base. Los resultados obtenidos pueden ser comparados con los reportados por López Gil et al. (2024), quienes calcularon la huella hídrica de la Universidad de Antioquia, sobre un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, el cual suministraba alrededor del 90% de agua que consumía la universidad, resultando en una HHA de 1 620 m³/año. Si bien el consumo de agua de un centro educativo no es el mismo al de una zona urbana, el valor de la HHA es considerablemente bajo con respecto a la HHA inicial obtenida en el presente estudio; los autores atribuyen este resultado al funcionamiento del sistema de recirculación de agua, el cual permitió reducir la dependencia de fuentes convencionales de abastecimiento y la presión sobre el recurso hídrico; más aún, identificaron que la HHG fue el componente predominante de esta medición, representando el 62.4% del total. Dicho valor coincide con los resultados mostrados en la Tabla 30, no obstante, en este caso, al haber comparado dos escenarios, se pudo evidenciar que las estrategias adoptadas para la reutilización del agua, pueden incluso disminuir el volumen de agua requerido para asimilar la carga contaminante del sistema.

Se puede decir que la reducción del consumo de agua se traduce en una reducción directa de la HHA y, diversos estudios ven esta reducción como uno de sus objetivos principales (Quiroga & Camilo, 2023) (Guzmán et al., 2024) (Martinez & Saenz, 2017); todos coinciden en que en la actualidad es imprescindible disminuir el consumo de agua por ser un elemento cada vez más limitado. Los autores, al igual que la presente investigación, realizan una recopilación de datos históricos y en base a ellos analizan el impacto hídrico reflejado en sus resultados; no obstante, Guzmán et al., (2024) y Martinez & Saenz, (2017), van más allá de este análisis y evalúan la factibilidad económica de sus propuestas, creando diversos escenarios económicos y análisis financieros que, al resultar en ahorros operativos significativos, atraen a los inversores y a personas naturales a implementar este tipo de sistemas. A partir de lo expuesto, se identifica que, dentro del alcance de la presente investigación, no se incorporó un análisis económico detallado, por lo que se puede considerar como una línea complementaria de evaluación para futuros estudios.

Los resultados del cálculo de la huella hídrica demuestran la capacidad de la propuesta para optimizar la gestión del agua y, se sostienen al analizar los resultados de otros autores, más aún cuando comparten esta doble perspectiva de mitigar el calentamiento global mediante el cálculo de la huella de carbono y a su vez optimizar el patrón de consumo de recursos limitados como el agua, mediante el cálculo de la huella hídrica (Ruiz Pérez, 2020).

4.3.1.3. Tratamiento de aguas grises

Como es bien sabido, el sistema hidráulico doméstico convencional interconecta diversos puntos de consumo como lavatorios, cocina, ducha e inodoros y los conecta directamente con el desagüe. Es por ello que, para implementar el sistema de recirculación propuesto (Figura 1), es indispensable realizar un acople específico mediante una red independiente para conducir las aguas grises provenientes de la ducha y lavadora hacia un sistema de tratamiento por filtración.

El filtro vertical fue ubicado en el primer piso de la vivienda unifamiliar o multifamiliar con la finalidad de aprovechar la acción de la gravedad durante el proceso del tratamiento, favoreciendo el desplazamiento del flujo natural del agua y optimizando el funcionamiento hidráulico del sistema como el tiempo de retención hidráulica y superficie de contacto (Bui et al., 2024). Del mismo modo, esta ubicación

permite realizar las labores de inspección y mantenimiento de los componentes, permitiendo una operación accesible.

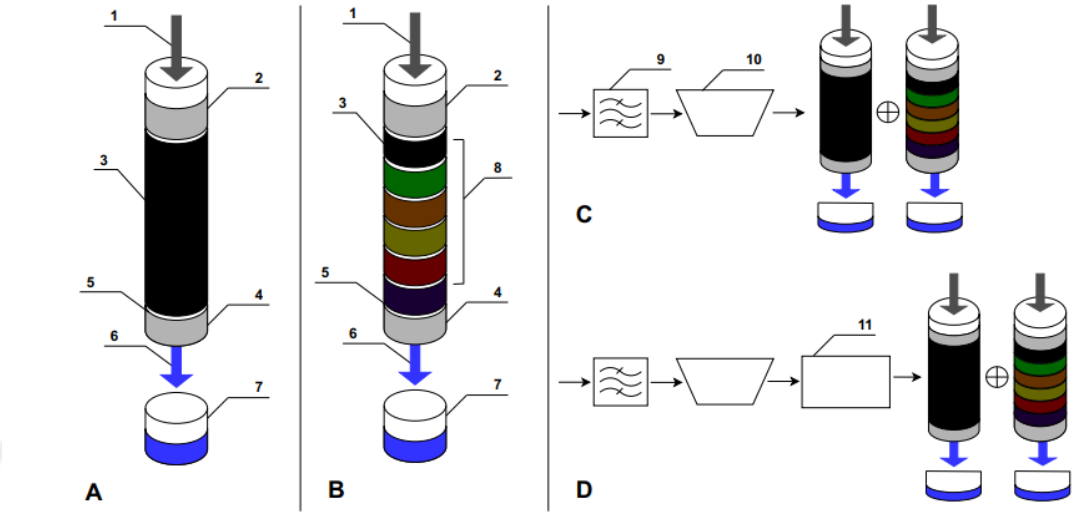
Posteriormente, el agua tratada es almacenada en un tanque secundario ubicado en el subsuelo a fin de aprovechar el espacio disponible en la vivienda, desde donde es impulsada mediante una bomba hidráulica hacia los puntos de reutilización (inodoros y áreas verdes). Adicionalmente contempla el uso de una llave que permite controlar el flujo de salida del agua tratada hacia los puntos de reutilización, así como un sensor ubicado en el tanque con el objetivo de controlar el nivel del agua dentro del sistema y de este modo impedir el rebose del tanque (González Hernández et al., 2024).

Por otro lado, se propone el tratamiento de aguas grises. En diversos estudios se ha demostrado la eficacia de los sistemas de filtración en columna, como es el caso de Bautista Quispe et. al, (2022), quienes analizaron el uso de sistemas de filtración basados en biochar como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas grises. El estudio consistió en el análisis de 28 investigaciones realizadas en 16 países, con el objetivo de evaluar la eficiencia de diferentes tipos de biochar y de configuraciones de filtros para el tratamiento de aguas grises.

Los resultados obtenidos mostraron que estos sistemas presentan una alta capacidad de remoción de contaminantes, con eficiencias entre el 50% y 99% dependiendo del parámetro analizado, como turbidez, sólidos suspendidos o materia orgánica. Dentro de los países que destacaron por sus resultados se encuentra Suecia e India, no obstante, especialmente las investigaciones desarrolladas en Suecia reportaron resultados muy prometedores, alcanzando altos porcentajes de remoción de turbidez y sólidos suspendidos; en este caso se consideró una columna de 70 cm de altura y 7.5 cm de diámetro de material plástico, la cual contiene diferentes capas que actúan como filtro. A continuación, se presenta la estructura del filtro:

- Capa superior de grava: Retiene partículas grandes.
- Capa principal de biochar: Medio adsorbente, el cual retiene compuestos orgánicos, entre otros contaminantes.
- Capa inferior de grava: Facilita el drenaje del agua tratada.

Figura 16. *Sistema de filtración en columna*



Nota: (Bautista Quispe et. al, 2022).

El estudio también indica que el biochar producido a partir de biomasa leñosa o residuos de madera fue uno de los más utilizados y el que evidenció mayor eficiencia en sus resultados, esto se le atribuye a su estructura altamente porosa y a su gran superficie de adsorción, lo cual facilita la retención de contaminantes presentes en el agua. Además, en cuanto al diseño de los sistemas de filtración, el artículo menciona que la configuración de filtro multicapa fue la que presentó mejores resultados, este sistema está compuesto por varias capas de materiales, como se observa en la Figura 16; esta configuración permite remover diferentes contaminantes al contar con varias capas de filtración, la cual generalmente se dividió en:

- 2.5 cm de grava (parte superior).
- 50 a 60 cm de biochar o medio filtrante principal.
- 2.5 cm de grava (parte inferior).

Para el caso del presente estudio, el objetivo es proponer este principio de filtración a escala de vivienda. Para determinar el caudal de diseño, se consideraron únicamente las 20 viviendas tipo casa, debido a que representan unidades habitacionales individuales, a diferencia de los 11 edificios, que están conformados por diferentes departamentos y requieren un modelamiento específico. La reducción de la huella hídrica azul de las casas fue de 1570,8 m^3/año, obtenida de la diferencia entre el consumo inicial (4620 m^3/año) y final (3049,2 m^3/año) (Anexo 8). Al convertir esta

reducción a un valor diario y dividirla entre las 20 viviendas, se obtuvo un caudal de 0,215 m³/día (215 L/día) por vivienda.

Es decir que se podrían recuperar 215 L/día de aguas grises en una vivienda promedio. Como opción de propuesta se eligió un sistema de filtración de flujo vertical implementando biochar como medio principal de tratamiento. Para su dimensionamiento se utilizó como referencia el modelo propuesto por Bautista Quispe et al. (2022), el cual tiene un diámetro de 7,5 cm y presenta cargas hidráulicas (HLR) de entre 34 y 400 L/m²·día, además de tiempos de residencia hidráulica de entre 66 y 85 horas.

El área superficial del filtro se determinó a partir de la carga hidráulica, debido a que esta representa el caudal aplicado por unidad de superficie del medio filtrante. Por ello, el área requerida se obtuvo dividiendo el caudal de aguas grises generado por una vivienda promedio entre la carga hidráulica determinada por la propuesta de Bautista Quispe et al. (2022).

$$A = \frac{Q}{HLR}$$

Con un caudal de 215 L/día y una carga hidráulica de 400 L/m²·día, se obtuvo:

$$A = \frac{215}{400} = 0.54\text{m}^2$$

Por lo tanto, se necesitaría una superficie filtrante de aproximadamente 0.54 m² para tratar la carga generada por una vivienda promedio. A partir de ello, se determinó el diámetro del filtro mediante la siguiente fórmula matemática:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(0.54)}{\pi}} = 0.83\ m$$

Consecuentemente se obtuvo un diámetro aproximado de 0.83 m.

Para determinar la altura del filtro se determinó un lecho compuesto en la parte superior de 10 cm de grava, 60 cm de biochar, y en la parte inferior otros 10 cm de

grava para mejorar el drenaje y distribución del agua. De este modo el medio filtrante ocupa 0.80 m de altura, mientras que el filtro presenta una altura de 1.00 m, quedando 0.20 m de espacio libre para evitar posibles reboses.

El volumen de cada medio filtrante se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

$$V = A\ x\ h$$

$$V_{biochar} = 0.541\ x\ 0.60 = 0.325\ \text{m}^3$$

$$V_{grava} = 0.541\ x\ 0.10 = 0.054\ \text{m}^3$$

Una vez conocido el área superficial del filtro y la profundidad de cada capa, se calculó un volumen aproximado de 0.325 m³ de biochar y 0.054 m³ de grava para cada una de las capas, superior e inferior.

Finalmente, el HRT se estimó teóricamente mediante una porosidad de 63,3 %, correspondiente al biochar de Salix (carbón vegetal hecho de madera o biomasa de sauce) que reportan Bautista Quispe et al. (2022) y que se estimó mediante la fórmula:

$$V_{poros} = V_{biochar}\ x\ n$$

$$V_p = 0.325\ x\ 0.633 = 0.206\ \text{m}^3 \text{ ó } 206\ L$$

$$\text{HRT} = \frac{V_p}{Q} x24h$$

$$\text{HRT} = \frac{206\ L}{215\ L/dia} x24h/dia = 23\ horas$$

Donde V_p es el volumen de agua contenido en los poros, n la porosidad del biochar de Salix y Q el caudal de tratamiento, quedando un HRT teórico de aproximadamente 23 horas.

En resumen, el dimensionamiento se realizó tomando como referencia la configuración del medio filtrante y el rango de carga hidráulica reportado por Bautista Quispe et al. (2022). Para un caudal de 215 L/día, se obtuvo un área superficial de 0,54 m², un diámetro de 0,83 m, una altura total de 1,00 m y un HRT teórico aproximado de 23 horas.

En cuanto al mantenimiento del sistema se debe realizar inspecciones periódicas puesto que la acumulación de sólidos y materia orgánica puede producir la colmatación

del medio filtrante y disminuir el flujo del agua. Para el sistema propuesto se establece una inspección mensual y limpieza de cada tres meses. Jacquelyn Jestine Sanders Foundation (2024) propone reemplazar el biochar cada 12 meses debido a su función como medio principal de adsorción y tratamiento de contaminantes, sin embargo, este periodo se puede reducir si se evidencia una disminución del caudal, malos olores o reducción de la eficiencia de tratamiento. En cuanto a la grava, se establece un periodo referencial de 5 a 10 años puesto que cumple funciones de soporte y retención de sólidos, por lo contrario, en caso de obstrucciones se puede retirar, lavar o reemplazar antes del periodo establecido. Cabe destacar que, por tratarse de una propuesta de diseño, la eficiencia real del sistema no es determinada experimentalmente, por lo que su evaluación deberá realizarse en una futura etapa de implementación mediante el análisis del agua de entrada y salida del filtro.

Un ejemplo de escala real lo presentan Hussain Lakho et al., (2021), quienes demostraron la viabilidad del tratamiento de aguas grises a escala de vivienda mediante sistemas verticales como paredes verdes; los autores implementaron un sistema a escala real en una vivienda ubicada en Ghent, Bélgica, de manera que el agua tratada fue reutilizada para la descarga de inodoros dentro de la vivienda. El sistema funciona mediante el paso del agua a través de diferentes sustratos filtrantes y de plantas; durante el cual ocurren procesos de filtración, adsorción y degradación biológica de contaminantes. Los resultados demostraron que este tipo de infraestructura verde puede funcionar como un sistema eficiente para el tratamiento de aguas grises en entornos urbanos.

Aunque este diseño corresponde a una pared verde, el principio de tratamiento es similar al de los filtros en columna analizados en estudios piloto, ya que ambos se basan en la implementación de medios porosos para favorecer la filtración y la actividad microbiana. En este contexto, Palacios et al., (2025) realizó una comparación entre 2 sistemas, uno basado en procesos fisicoquímicos y otro en los principios base de una pared verde y, si bien ambos cumplían con los criterios normativos expuestos, el sistema de pared verde logró una remoción aún mayor de la turbidez y coliformes fecales, siendo una estrategia sostenible prometedora para el tratamiento y reutilización de las aguas grises.

En contraste a lo mencionado, Barrera & Rodríguez (2020), diseñaron un sistema de recirculación más integral que incluyó no solo captación de agua de lluvias, sino que,

dentro de los efluentes a tratar, incluyó el proveniente del lavaplatos, lo cual supone una mayor cantidad de grasa, aceites y materia orgánica. Por este motivo, los autores incorporaron trampas de grasas y procesos de coagulación; demostrando que la incorporación de una mayor cantidad de efluentes a tratar, demanda técnicas de tratamiento mucho más específicas a cada contaminante y una evaluación nueva del impacto ambiental y económico del sistema, así como de su potencial de ahorro del recurso hídrico.

4.3.2. Sistema fotovoltaico:

Se plantea un sistema fotovoltaico considerando el consumo promedio de una casa en la urbanización propuesta. Bajo el supuesto de que las viviendas adopten sistemas con características similares al modelado.

En la Tabla 31 se resumen los parámetros del sistema fotovoltaico seleccionado, con una potencia instalada de 1000 Wp (1 kWp) y el banco de energía que permite cubrir la demanda energética diaria de la vivienda y mantener una autonomía aproximada de 48 horas (2 días) sin aporte solar.

Tabla 31

Parámetros fundamentales del sistema fotovoltaico seleccionado.

Componente / Parámetro	Valor	Descripción simple
Potencia FV instalada	1000 Wp	Energía máxima que pueden producir los 2 paneles bajo condiciones ideales
Número de paneles	2 módulos FV	Modelo TSM-500-NEG18R-28-20 Vertex (500 Wp cada uno).
Configuración eléctrica	2 en serie	Arreglo simple y eficiente para vivienda
Área total de captación	≈ 4.4 m²	Superficie ocupada por los paneles en el techo
Banco de baterías de 48 V	13.1 kWh (total)	Capacidad bruta de almacenamiento
Tecnología	$LiFePO_4$	Baterías seguras, de larga vida útil
Autonomía sin sol	≈ 48 horas	Energía disponible usando solo la batería
Ciclos de vida de batería	6000 ciclos (80% DoD)	Vida útil estimada de 12–15 años
Controlador o inversor	MPPT 1000W	Maximiza la eficiencia de la generación solar

Nota: Datos extraídos PVSYST.

4.3.2.1. Resultados principales del sistema fotovoltaico

Como resultado de la simulación, la producción anual alcanzó 2250.6 kWh/año o aproximadamente 6.3 kWh/día, lo que evidencia un aprovechamiento constante del recurso solar en las "Terrazas de Cayma". En general, el promedio anual real de las viviendas unifamiliares estimado fue de 1972.4 kWh/año, sin embargo, para el modelamiento en PVsyst se adoptó un perfil de consumo incorporando equipos auxiliares y otros, incrementando la demanda anual a 2284.9 kWh/año como se observa en la Tabla 32.

Tabla 32

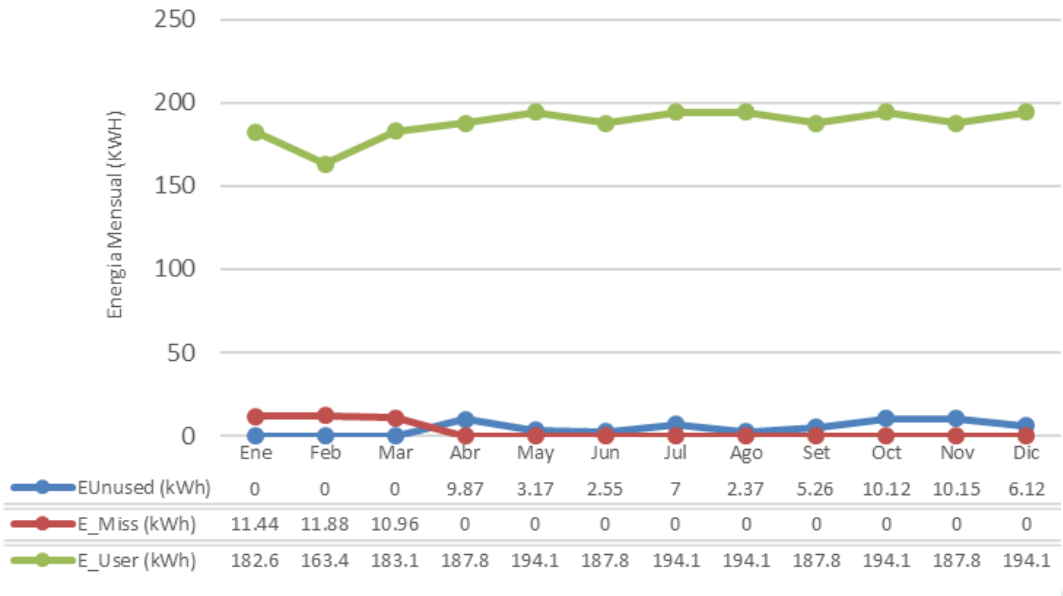
Resultados principales del sistema fotovoltaico.

Componente / Parámetro	Valor	Descripción simple
Demanda promedio anual real	1972.4 kWh/año	Valor obtenido de datos reales
Demanda anual simulada (E_Load)	2284.9 kWh/año	Perfil de consumo ingresado al PVsyst en base al consumo promedio anual real
Energía solar suministrada (E_User)	2053 kWh/año	Resultado de la simulación
Energía faltante (E_Miss)	34.29 kWh/año	Déficit de energía asociado al perfil simulado
Energia no usada (EUnused)	56.61	Energía no utilizada por carga total de batería
Fracción solar	89.85%	-

Nota: Elaboración propia.

La Figura 17, muestra el balance mensual entre la demanda eléctrica de la vivienda (E_load), la energía solar suministrada por el sistema fotovoltaico (E_User) y la energía faltante (E_Miss), obtenidos a partir de la simulación en PVsyst.

Figura 17. *Balance energético mensual del sistema fotovoltaico*



Nota: Elaboración propia.

La energía suministrada por el sistema fotovoltaico cubre la demanda eléctrica mensual de la vivienda entre los meses de abril y diciembre, lo que evidencia un adecuado dimensionamiento y una alta cobertura energética. Durante los meses de enero a marzo se registra una energía faltante aproximada de 10 kWh/mes, la cual no responde a una insuficiencia de generación anual, sino al desajuste temporal entre la producción solar, los patrones de consumo eléctrico y la capacidad de almacenamiento del sistema. Dicho déficit fue esperado, debido a las condiciones climáticas que presenta la ciudad de Arequipa en ese trimestre, siendo caracterizado por presentar lluvias intensas.

En términos anuales, el sistema fotovoltaico logra cubrir la mayor parte de la demanda eléctrica de la vivienda, presentando déficits energéticos mínimos y puntuales, característicos de los sistemas fotovoltaicos autónomos. Estos déficits se producen a nivel horario, principalmente durante periodos nocturnos o en días consecutivos con baja irradiación solar, sin implicar interrupciones continuas del suministro eléctrico.

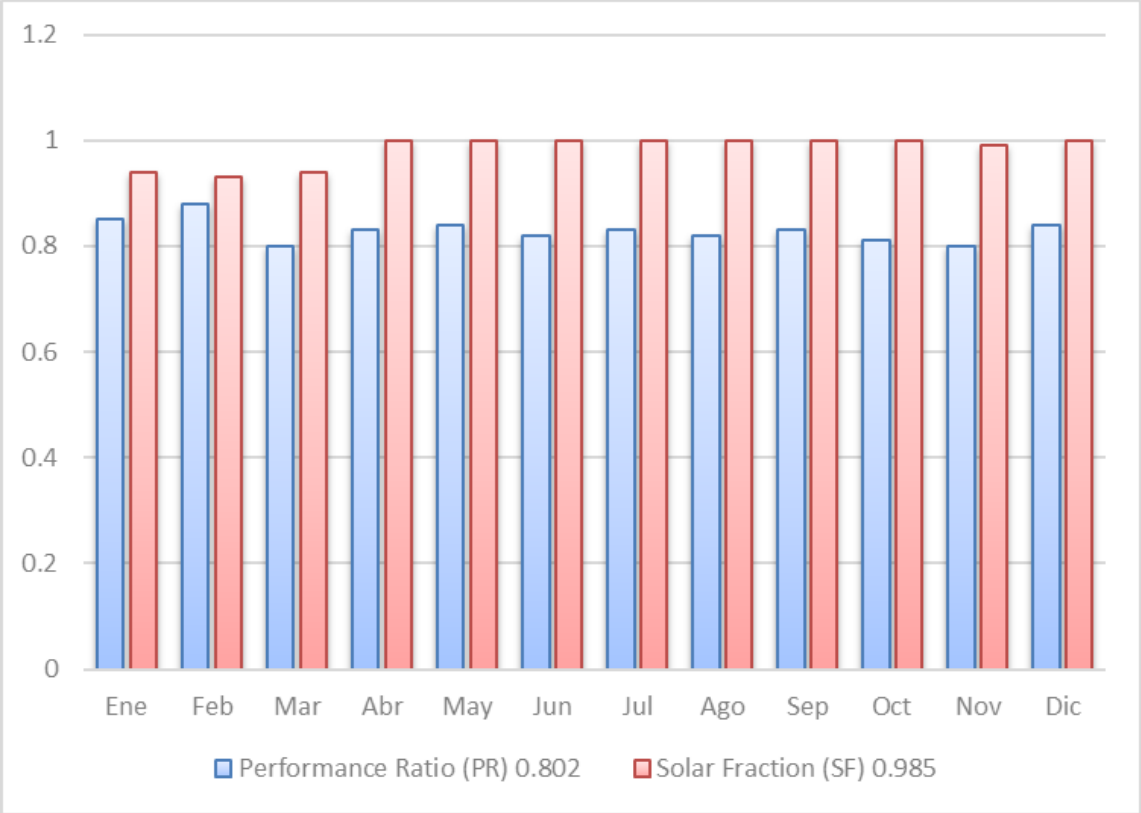
En este contexto, la fracción solar anual obtenida (0.98) confirma que el sistema cubre aproximadamente el 98% de la demanda eléctrica de la vivienda (Figura 18). Este comportamiento es coherente con lo señalado por Kumar et al. (2021), quienes indican que la presencia de energía faltante en sistemas fotovoltaicos autónomos no necesariamente evidencia un mal dimensionamiento, sino que depende de la

variabilidad del recurso solar y del desfase temporal entre la generación y el consumo. Por su parte, Molina (2025) señala que, ante un eventual incremento de la demanda eléctrica, resulta técnicamente viable evaluar la expansión del sistema mediante el aumento del número de módulos fotovoltaicos o la capacidad del banco de baterías, evitando el sobredimensionamiento del sistema.

Es relativamente sencillo incrementar el número de módulos fotovoltaicos o la capacidad del banco de baterías. Sin embargo, este aumento trae consigo un incremento en la energía no utilizada (E_Unused), es decir, la generación de energía supera la demanda. Esta energía no aprovechada equivale a 56.6 kWh/año por vivienda. Para optimizar su uso, podría destinarse al suministro de servicios comunes, como a la iluminación de áreas compartidas, sistemas de seguridad y al bombeo y tratamiento de agua. Al-Buraiki et al. (2024), por ejemplo, demostraron que la energía excedente proveniente de sistemas fotovoltaicos instalados en una vivienda puede emplearse eficazmente en procesos de tratamiento de agua mediante ósmosis inversa, mejorando el aprovechamiento energético y reduciendo el consumo de fuentes convencionales.

Por su parte, nuestro sistema fotovoltaico presenta un desempeño estable a lo largo del año, con un Performance Ratio cercano a 0.8 (80%), valor que se encuentra dentro del rango (75-85%) de sistemas bien diseñados reportado por Solarian (2025), el cual evidencia una adecuada eficiencia global, considerando las pérdidas del sistema. En comparación, Kumar et al. (2021) reportan un *Performance Ratio* anual de 0.728 para un sistema fotovoltaico autónomo, por lo que el valor obtenido en el presente estudio confirma un desempeño eficiente y conservador del sistema propuesto, respaldando su viabilidad técnica.

Figura 18. *Eficiencia del sistema fotovoltaico*



Nota: Elaboración propia.

Por otro lado, la simulación realizada en PVsyst reportó una eficiencia del módulo fotovoltaico de 22.5%, valor que corresponde a la capacidad del panel para convertir la radiación solar incidente en energía eléctrica, bajo condiciones estándar. Dicha eficiencia fue calculada mediante la aplicación de la fórmula descrita en el Anexo 10:

$$\eta = \frac{1000\ W}{1000\frac{W}{m^2} * 4.442\ m^2}\ x\ 100$$

$$\eta = \frac{1000\ W}{1000\frac{W}{m^2} * 4.442\ m^2}\ x\ 100$$

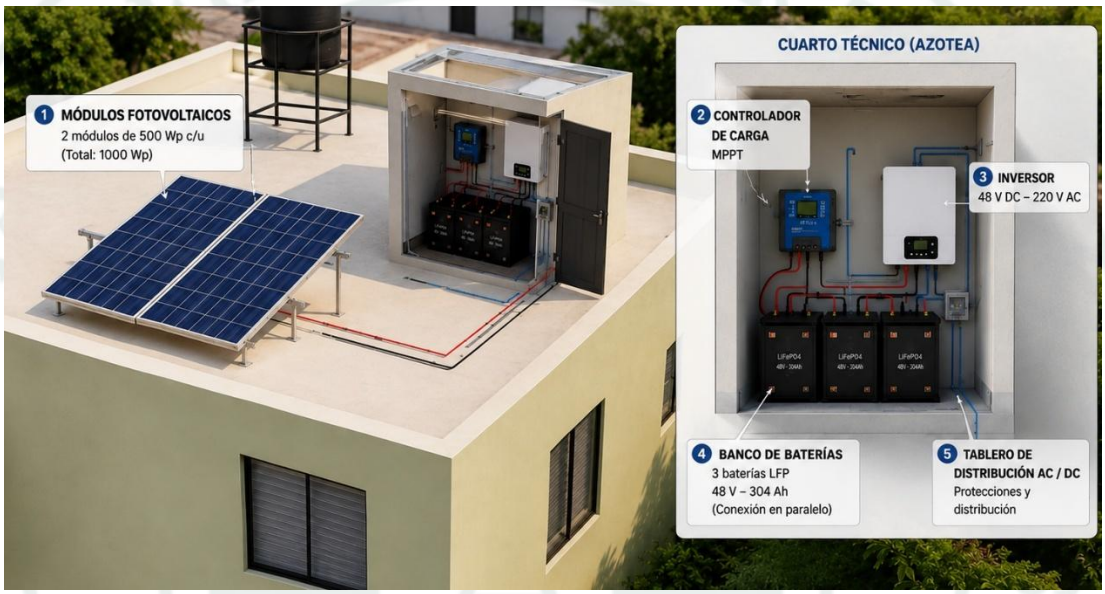
$$\eta = \frac{1000\ W}{4442\ W}\ x\ 100$$

$$\eta = 22.5\ \%$$

La eficiencia de los paneles solares, que es del 22.5 %, es un número alto para los paneles comerciales de silicio, teniendo en cuenta que las eficiencias de los paneles más eficientes están entre el 18 % y el 22 % (Departamento de Energía de EE. UU., 2019). Este diseño contribuye significativamente a reducir el consumo de energía

eléctrica proveniente del SEIN. Además, la propuesta de modelado basada en el consumo promedio de una vivienda unifamiliar debería implementarse en las 38 casas y 22 edificios, ajustándose, por supuesto, a los requerimientos específicos de cada uno. Sin embargo, los resultados obtenidos para las viviendas unifamiliares permiten identificar tendencias generales y demostrar el potencial de integrar sistemas fotovoltaicos a nivel urbano. La propuesta desarrollada se puede visualizar en la Figura 19.

Figura 19. *Sistema fotovoltaico instalado en una vivienda.*



4.3.3. Propuesta implementación de contenedores.

Los contenedores a implementar en la Urbanización Las Terrazas de Cayma fueron propuestos de acuerdo al volumen y densidad de cada tipo de residuo, a continuación, se muestran los resultados obtenidos:

4.3.3.1. Cálculo del volumen y densidad de los residuos muestreados.

Se calculó el volumen y la densidad de cada tipo de residuo, aplicando la metodología de la Guía para la caracterización de Residuos Sólidos. Se utilizó un cilindro con 0.5 m de altura y 0.35 m de diámetro y otro cilindro con 0.71 m de altura y 0.56 m de diámetro, este último fue utilizado particularmente para los residuos con una mayor cantidad de peso. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40.

Tabla 33

Volumen y densidad del papel blanco.

PAPEL BLANCO						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.3500	0.5000	0.4300	0.0067	2.8200	418.7213
Día 2	0.3500	0.5000	0.4100	0.0087	3.0000	346.4597
Día 3	0.3500	0.5000	0.4150	0.0082	2.8800	352.1661
Día 4	0.3500	0.5000	0.4200	0.0077	2.8700	372.8773
Día 5	0.3500	0.5000	0.4500	0.0048	1.8600	386.6491
Día 6	0.3500	0.5000	0.4400	0.0058	2.0000	346.4597
Día 7	0.3500	0.5000	0.3600	0.0135	3.6900	273.9507

Nota: Elaboración propia.

Tabla 34

Volumen y densidad del vidrio.

VIDRIO						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.3500	0.5000	0.2950	0.0197	3.3300	168.8357
Día 2	0.3500	0.5000	0.3310	0.0163	2.5900	159.2895
Día 3	0.3500	0.5000	0.4200	0.0077	0.8000	103.9379
Día 4	0.3500	0.5000	0.3300	0.0164	2.7500	168.1349
Día 5	0.3500	0.5000	0.3200	0.0173	2.9100	168.0330
Día 6	0.3500	0.5000	0.3800	0.0115	1.9200	166.3007
Día 7	0.3500	0.5000	0.3500	0.0144	1.6000	110.8671

Nota: Elaboración propia.

Tabla 35

Volumen y densidad del metal.

METAL						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.3500	0.5000	0.2900	0.0202	1.4500	71.7667
Día 2	0.3500	0.5000	0.3200	0.0173	1.0000	57.7433
Día 3	0.3500	0.5000	0.3900	0.0106	0.3900	36.8507
Día 4	0.3500	0.5000	0.3600	0.0135	0.7000	51.9690
Día 5	0.3500	0.5000	0.4500	0.0048	0.3000	62.3628
Día 6	0.3500	0.5000	0.3000	0.0192	1.5000	77.9534

Día 7	0.3500	0.5000	0.3600	0.0135	0.8500	63.1052

Nota: Elaboración propia.

Tabla 36

Volumen y densidad del tetrabrick.

TETRABRICK						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.3500	0.5000	0.3600	0.0135	0.7400	54.9386
Día 2	0.3500	0.5000	0.3900	0.0106	0.5000	47.2445
Día 3	0.3500	0.5000	0.3950	0.0101	0.4900	48.5044
Día 4	0.3500	0.5000	0.4000	0.0096	0.5500	57.1659
Día 5	0.3500	0.5000	0.3850	0.0111	0.3200	28.9219
Día 6	0.3500	0.5000	0.4200	0.0077	0.3500	45.4728
Día 7	0.3500	0.5000	0.3900	0.0106	0.5700	53.8587

Nota: Elaboración propia.

Tabla 37

Volumen y densidad de los textiles.

TEXTILES						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.3500	0.5000	0.3100	0.0183	2.2000	120.3492
Día 2	0.3500	0.5000	0.4700	0.0029	0.3000	103.9379
Día 3	0.3500	0.5000	0.2500	0.0241	2.5100	104.3537
Día 4	-	-	-	-	-	-
Día 5	0.3500	0.5000	0.3600	0.0135	1.8500	137.3465
Día 6	0.3500	0.5000	0.4450	0.0053	0.4000	75.5912
Día 7	-	-	-	-	-	-

Nota: Elaboración propia.

Tabla 38

Volumen y densidad del papel mixto.

PAPEL MIXTO						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.5600	0.7100	0.5000	0.0517	2.3400	45.2408
Día 2	0.5600	0.7100	0.6450	0.0160	1.4000	87.4478
Día 3	0.5600	0.7100	0.6250	0.0209	1.5500	74.0367

Día 4	0.5600	0.7100	0.6000	0.0271	1.6000	59.0556
Día 5	0.5600	0.7100	0.6600	0.0123	1.5000	121.8023
Día 6	0.5600	0.7100	0.6200	0.0222	1.3200	59.5478
Día 7	0.5600	0.7100	0.6650	0.0111	1.4500	130.8246

Nota: Elaboración propia.

Tabla 39

Volumen y densidad del plástico.

PLÁSTICO						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.5600	0.7100	0.0000	0.1749	7.3500	42.0304
Día 2	0.5600	0.7100	0.1250	0.1441	6.7100	46.5694
Día 3	0.5600	0.7100	0.3600	0.0862	3.9300	45.5888
Día 4	0.5600	0.7100	0.2250	0.1195	4.6500	38.9265
Día 5	0.5600	0.7100	0.1650	0.1342	4.9500	36.8759
Día 6	0.5600	0.7100	0.5150	0.0480	5.4200	112.8493
Día 7	0.5600	0.7100	0.0000	0.1749	8.7600	50.0933

Nota: Elaboración propia.

Tabla 40

Volumen y densidad del cartón.

CARTÓN						
Días	**D (m)**	**Hf (m)**	**Ho (m)**	**Vr (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.5600	0.7100	0.2400	0.1158	3.4600	29.8891
Día 2	0.5600	0.7100	0.1550	0.1367	3.7200	27.2135
Día 3	0.5600	0.7100	0.3050	0.0998	2.0700	20.7515
Día 4	0.5600	0.7100	0.0000	0.1749	4.3000	24.5892
Día 5	0.5600	0.7100	0.2050	0.1244	2.7000	21.7073
Día 6	0.5600	0.7100	0.2700	0.1084	2.5900	23.8991
Día 7	0.5600	0.7100	0.0500	0.1626	3.8700	23.8068

Nota: Elaboración propia.

Para el caso de los residuos orgánicos, no se contó con un único recipiente lo suficientemente grande para contener la totalidad de los residuos orgánicos, por lo que se procedió a utilizar dos diferentes baldes cilíndricos de diferentes dimensiones:

- Balde 1: Altura de 0.710 m y diámetro de 0.560 m.
- Balde 2: Altura de 0.500 m y diámetro de 0.395 m.

Se utilizó la Fórmula 12 para determinar el volumen; con la diferencia que, en los baldes completamente llenos, se consideró la altura total del recipiente, es decir un Ho con valor de 0. Finalmente, se sumaron los volúmenes individuales para obtener el volumen total de los residuos orgánicos. Este método es adecuado, ya que cada recipiente posee dimensiones distintas y no es posible sumar únicamente las alturas, por lo que el volumen total debe calcularse a partir de cada cilindro por separado y luego integrarse.

Tabla 41

Volumen y densidad de los residuos orgánicos.

RESIDUOS ORGÁNICOS								
Días	**Ho (m)**	**VrBalde 1 (m^3)**	**VrBalde 2 (1) (m^3)**	**VrBalde 2 (2) (m^3)**	**VrBalde 2 (3) (m^3)**	**VrTotal (m^3)**	**Peso (Kg)**	**Densidad (S)**
Día 1	0.0800	0.1749	0.0613	0.0515	-	0.2877	65.8600	228.9190
Día 2	0.0000	0.1749	0.0613	-	-	0.2362	54.8300	232.1338
Día 3	0.3900	0.1749	0.0613	0.0613	0.0135	0.3110	77.2700	248.4566
Día 4	0.2050	0.1749	0.0613	0.0361	-	0.2723	62.2900	228.7550
Día 5	0.0600	0.1749	0.0613	0.0539	-	0.2901	66.9500	230.7825
Día 6	0.0650	0.1749	0.0613	0.0533	-	0.2895	71.8100	248.0484
Día 7	0.3300	0.1749	0.0613	0.0613	0.0208	0.3183	78.4500	246.4656

Nota: Elaboración propia.

Luego de la obtención de dichos datos, se calculó el promedio de las densidades por tipo de residuo, como se indica en la Guía para la caracterización de residuos sólidos del MINAM (Tabla 42).

Tabla 42

Promedio de densidades por tipo de residuos.

Parámetro	**Tipo de residuo**							
	Papel Blanco	**Papel Mixto**	**Plástico**	**Metal**	**Cartón**	**Tetrabrick**	**Textiles**	**Orgánicos**
Densidad promedio (Kg/m^3)	356.7549	82.5651	53.2762	60.2501	24.5509	48.0153	77.3684	237.6516

Nota: Elaboración propia.

4.3.3.2 Cantidad y tipos de contenedores a implementar.

Finalmente, se calculó la cantidad de contenedores que necesitaría la urbanización en relación a la cantidad de residuos que genera, considerando en primer lugar el volumen total por tipo de residuo, dicho proceso fue explicado en la metodología, dando como resultado la Tabla 43**.**

Tabla 43

Cantidad y volumen de contenedores a implementar.

Tipos de Contenedores					Volumen del contenedor soterrado en m³	Cantidad
Tacho 1: "Papel y Cartón"				**VTotal (L)**	0.9	1
Papel Blanco	**Papel Mixto**	**Tetrabrick**	**Cartón**			
23.7	69.14	31.33	395.31	519.480		
Tacho 2: "Plástico"				**VTotal (L)**		1
377.9				377.90		
Tacho 3: "Metal y vidrio"				**VTotal (L)**		1
Metal		**Vidrio**				
42.47		44.28		86.750		
Tacho 4: "Orgánico"				**VTotal (L)**		1
859.3286				859.329		

Nota: Elaboración propia.

Los residuos orgánicos serán recogidos por la Municipalidad Distrital de Cayma como parte de la gestión de la Subgerencia de Saneamiento Ambiental, quienes vienen fortaleciendo la cadena de reciclaje en el distrito, dichos residuos serán trasladados a la planta mecanizada de compostaje, donde se realizará su tratamiento correspondiente, esto contribuye a potenciar una economía circular, fomenta buenas prácticas medioambientales y además genera empleos (Municipalidad Distrital de Cayma, 2024).

Para los tachos de basura a implementar en la urbanización se propone un diseño de contenedor soterrado, el cual ya se utiliza en otras ciudades del país, como Lima. Al elegir este tipo de contenedor, se evaluó la capacidad de almacenamiento necesaria en función a la generación de residuos, dicha generación se observa en la Tabla 43, estimada para un periodo de 3 días, intervalo de tiempo en el que pasa el camión recolector de la Municipalidad. Ahora, en un inicio se utilizaron los litros como unidad de medida para esta propuesta, sin embargo, cabe precisar que los contenedores soterrados se dimensionan principalmente en m^3 y, luego de revisar las capacidades disponibles en el mercado, se identificó que la menor corresponde a 0.9 m^3, por este motivo y, con la finalidad de mantener la uniformidad del sistema de segregación y facilitar su adquisición, se estableció esta capacidad como estándar para cada tipo de residuo.

Este tipo de contenedores ocupa menos espacio en la superficie y permite ocultar la basura, además de conservar la estética del lugar donde se instalen, incluso, reduce los malos olores al no estar expuesto al sol y evita que personas no autorizadas manipulen los desechos (CENTCONSI, 2023). Por otro lado, la UE 003: GICA, dentro del marco del compromiso del MINAM para fortalecer la gestión de residuos sólidos en el país, se encuentra desarrollando una serie de talleres, sobre la instalación y operación de contenedores soterrados en Arequipa, a manera que se pueda concientizar a la población y se garantice un uso y disposición adecuada de los residuos sólidos en la provincia.

Figura 20. *Contenedores Soterrados*



Nota: (Compras Estatales, 2024).

A continuación, se presenta el diseño final de la urbanización propuesto con las medidas implementadas para la reducción de la huella de carbono:

Figura 21. *Diseño final propuesto*



Nota: Elaboración propia.

4.4. Reevaluación de la huella de carbono

Una vez desarrolladas las propuestas teóricas planteadas, se utilizó la calculadora pública de la Huella de Carbono para evaluar su impacto ambiental positivo, específicamente, cuántas toneladas de CO_2 se lograron disminuir. Los resultados se presentan en la Tabla 44.

Tabla 44

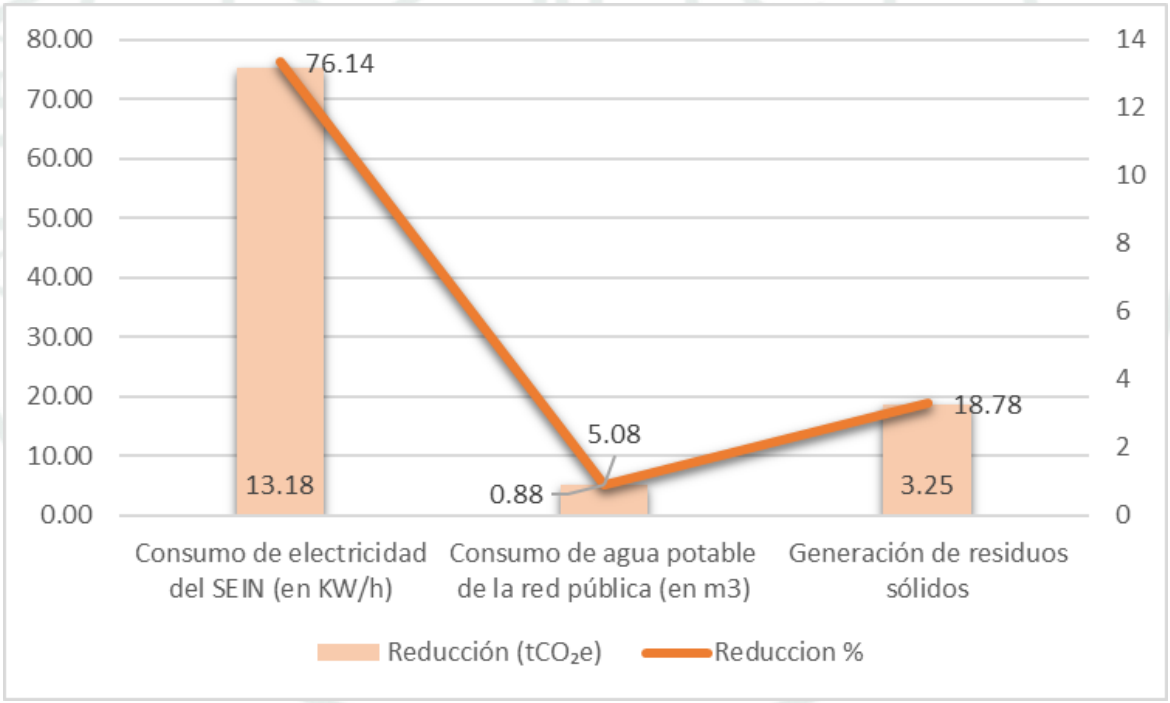
Reevaluación de Emisiones de GEI.

Alcances	Dióxido de carbono [tCO_2]	Metano [tCH_4]	Óxido Nitroso [tN20]	Hexafluoruro de azufre [tSF6]	Hidrofluorocarbonos [tHFC]	Perfluorocarbonos [tPFC]	Trifluoruro de nitrógeno [tNF3]	Emisiones GEI [tCO_2e]	Participación general [%]

Alcance 1								0.00	0.00%
Alcance 2								0.00	0.00%
Alcance 3								2.65	100.00%
Consumo de agua potable de la red pública (en m^3)	-	-	-	-	-	-	-	2.27	85.45%
Generación de residuos sólidos	-	0.0138	-	-	-	-	-	0.39	14.55%
TOTAL HUELLA DE CARBONO	**0.00**	**0.01**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**2.65**	**100%**

Nota: Extraído de Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.

Figura 22. *Reducción de emisiones de GEI*



Nota: Elaboración propia.

La Tabla 25, mostraba un total de 19.97 tCO_2e y, como se puede observar en la Tabla 44, esta cantidad se redujo considerablemente a un valor de 2.65 tCO_2e. En este sentido la combinación de diferentes estrategias ambientales dentro de un sistema urbano resulta más

efectivo que uno aislado, puesto que permite evitar aproximadamente 17.32 tCO_2e al año, abordando simultáneamente varias fuentes de emisión y reduciendo la huella de carbono

La propuesta que causó la mayor disminución en la huella de carbono fue la adopción de un sistema fotovoltaico autónomo, el cual sustituye el uso de electricidad del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Al plantear un sistema independiente de la red pública, se eliminaron las emisiones relacionadas con el Alcance 2, lo que significó un 76.14% de la reducción total de la huella de carbono. Al mismo tiempo, como se observa en la Figura 22, el sistema logra reducir 13.18 tCO_2e, es decir que cada una de las 31 viviendas reduce aproximadamente 0.42 tCO_2e al año, valor que se encuentra reportado por Zheng et al. (2021), quienes demuestran que la instalación de sistemas fotovoltaicos en viviendas logran reducir entre 0.11 y 0.57 tCO_2 al año, es decir, que pequeñas modificaciones a escala doméstica pueden generar impactos significativos cuando se aplican de forma colectiva dentro de un sistema urbano.

Respecto a las propuestas dentro del Alcance 3, la gestión de residuos sólidos permitió una disminución del 18.78%, gracias a la propuesta de participación de la urbanización en el programa de la Municipalidad Distrital de Cayma para el aprovechamiento de desechos orgánicos mediante compostaje. Esta actividad, junto con la segregación en la fuente, ayuda a reducir las emisiones de metano (CH_4), ya que impide que aproximadamente 27 515.60 kg/año de residuos orgánicos acaben en vertederos donde su descomposición genera principalmente dicho gas, entre otros GEI. La importancia de la reducción del metano prevalece en que posee un potencial de calentamiento global mayor al dióxido de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Asimismo, la implementación de estas estrategias permite valorizar los residuos sólidos, al poder aprovecharse la fracción orgánica como materia prima para la producción de compost, aportando nutrientes al suelo. Este enfoque se relaciona con el concepto Cradle to Cradle, el cual plantea que los materiales deben mantenerse en ciclos continuos de uso, evitando su disposición final y promoviendo su incorporación en nuevos procesos (McDonough & Braungart, 2002).

Por otro lado, el sistema de recirculación de agua mostró la menor disminución en la huella de carbono (5.08%), ya que esta estrategia no elimina completamente el uso de agua potable, sino que solo disminuye una parte a través de la reutilización del recurso previamente tratado en el filtro propuesto. Para Niewitecka y Żubrowska-Sudoł (2025), la implementación exitosa de sistemas de reutilización de aguas grises en edificios depende

de superar barreras sociales y legales, y posteriormente abordar desafíos técnicos y ambientales. Para una mayor aceptación pública es necesario establecer sistemas de monitoreo de calidad y transparencia con los usuarios, además deben centrarse en sistemas híbridos escalables, sin mantenimiento y adaptables cuya implementación se encuentra económicamente disponible tanto en edificios como en residenciales. Ortiz Bernal (2018), coincide con el enfoque mencionado anteriormente, pues, al evaluar la viabilidad económica de un sistema de recirculación de aguas grises, demostró que, si bien la implementación de los sistemas supone una inversión inicial, los ahorros operativos compensarán eventualmente dicha inversión, suponiendo un beneficio notable para los usuarios. Bajo este contexto, el uso de sistemas naturales de tratamiento, como el filtro de grava y biochar planteados anteriormente, representa una alternativa viable debido a su bajo costo, bajo mantenimiento y capacidad de adsorción de contaminantes, lo que favorece su aplicación en edificios y viviendas residenciales.

Como resultado de estas acciones, la estructura de las emisiones experimentó un cambio notable. Mientras que en escenario inicial la mayor parte de las emisiones provenían del consumo de electricidad (Alcance 2), en el escenario propuesto todas las emisiones restantes se asocian al Alcance 3, principalmente relacionadas con el uso de agua potable y la generación de residuos sólidos.

Si bien es cierto, la reducción de emisiones de tCO2e obtenida en el presente estudio resulta considerable debido a que la evaluación se enfocó exclusivamente en las emisiones derivadas de los 3 aspectos ambientales delimitados dentro de los alcances establecidos, es importante señalar que, la inclusión de otras fuentes de emisiones categorizadas dentro del Alcance 1 de la urbanización, como el consumo de GLP en los hogares, habría incrementado las emisiones totales y, en consecuencia, reducido el porcentaje de disminución de CO2e.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) constituye una de las principales fuentes de energía que los hogares peruanos utilizan en sus cocinas. De acuerdo al INEI, el 88.8% de los hogares peruanos utilizan GLP para cocinar sus alimentos, habiendo incrementado un 0.7 % en comparación con los datos obtenidos en 2023 y alcanzando una participación del 94.1% en el área urbana (INEI, 2025). Esto evidencia la amplia aceptación y relevancia que tiene el consumo de este gas dentro del sector residencial peruano.

Más aún, diversos estudios de huella de carbono residencial consideran al consumo de GLP como una de las fuentes principales de emisión de GEI, asociados con la cocción de alimentos, evidenciando que se generan emisiones directas de CO2 y CH4 (Santos, et. al; 2025) (Reyna Babilonia, 2025), por ello, podría considerarse a la exclusión del consumo de GLP como un limitante del presente estudio, pues, el porcentaje de emisiones de GEI hubiera sufrido un incremento. Por otra parte, es importante señalar que, el Balance Nacional de Energía del 2024, no evidencia una participación representativa del GLP en las emisiones de GEI a nivel nacional, en comparación con otros combustibles como el diesel o el gas natural, por ello se puede decir que si fuera a considerarse este factor para el cálculo de la huella de carbono, lo más probable es que con el sistema fotovoltaico propuesto, el consumo de GLP y sus emisiones podrían reducirse significativamente con la sustitución de este combustible en las cocinas, optando por alternativas eléctricas. Martinez et. al; (2025), por ejemplo, determinaron que la migración de cocinas de GLP a cocinas de inducción podría reducir en gran medida, no sólo las emisiones asociadas con la cocción doméstica, sino también el costo anual asociado a esta actividad.

No obstante, de considerarse el transporte como factor para evaluar la huella de carbono, el porcentaje de emisiones del Alcance 1 sería incluso mayor, tomando en cuenta que, el sector transporte fue el que presentó una participación mayor de emisiones de CO2eq a nivel nacional (49.9%), en comparación a otros sectores económicos (Ministerio de Energía y Minas, 2024).

Ambos factores mencionados tendrían que ser calculados dentro de la muestra de estudio para poder determinar su contribución real a la huella de carbono de la urbanización; no obstante, el análisis desarrollado permite reconocer las limitaciones de la investigación, además de plantear la posibilidad de que la incorporación de dichas fuentes al cálculo hubiera dado lugar a resultados distintos.

Ahora, en cuanto a las propuestas de segregación - compostaje y el sistema de recirculación de agua planteadas, se precisa que están alineadas a los principios de la economía circular, por su parte Arfasa et al. (2026) enfatizan que la reducción, reutilización, el reciclaje y la recuperación de recursos, no solo son beneficios para el medio ambiente, sino que también presenta oportunidades para el desarrollo económico y la inclusión social; lo cual se evidencia en la presente investigación pues si bien inicialmente el diseño y la implementación de estas estrategias pueden demandar un costo adicional como la

adquisición de del sistema fotovoltaico o la implementación del sistema de recirculación, a la larga se evidencia la reducción en las facturas de pago. Sin embargo, para Arfasa et al. (2026) aún existen desafíos como la infraestructura inadecuada y la insuficiente participación comunitaria quienes siguen restringiendo la implementación de los modelos de economía circular. Por ende, para abordar estas barreras es necesario fomentar las alianzas público-privadas de modo que se invierta en instalaciones de reciclaje como los tanques soterrados anteriormente propuestos y plantas de valorización que son escasas en la región. Del mismo modo, es crucial promover la participación comunitaria mediante campañas educativas e incentivos económicos que impulsen un cambio en el comportamiento de los habitantes para la correcta segregación de residuos y la adopción del reciclaje.

En Perú, como parte de las iniciativas dirigidas a lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se ha puesto en marcha el programa Bono Mi Vivienda Verde, que fomenta la compra de hogares que cuenten con certificación de sostenibilidad, integrando tecnologías para el ahorro de agua y energía. Para obtener niveles más altos de certificación, se consideran aspectos como la instalación de grifos y sanitarios de alta eficiencia, uso de iluminación LED, áreas para medios de transporte no motorizados y sistemas para reciclar aguas grises (Ministerio de Vivienda, 2025). Sin embargo, este tipo de iniciativas se centra más en disminuir el uso de recursos que en medir la huella de carbono producida por las viviendas. En este contexto, el presente análisis ofrece una evaluación cuantitativa sobre cómo se puede disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a través del uso de paneles solares, la reutilización de aguas grises y métodos para gestionar residuos sólidos en una comunidad residencial.

Ahora, evaluando netamente el consumo de recursos y generación de residuos de la urbanización frente a otros sectores de la ciudad de Arequipa, se puede evidenciar que, a pesar de ser una residencial relativamente pequeña, el consumo se muestra elevado. De acuerdo a un análisis presentado por la SUNASS (2026), distritos como Yanahuara, Cerro Colorado y Jose Luis Bustamante y Rivero, presentaron un promedio de 142.p L/hab/día, 130.1 L/hab/día y 128.5 L/hab/día, respectivamente, y, a partir de la información consignada en los recibos de agua de las viviendas analizadas, se estimó un aproximado de 180 L/hab/día para la urbanización estudiada. Por otro lado, Cornejo Solórzano (2017), analizó el consumo de energía eléctrica de 113 viviendas pertenecientes al distrito de Yanahuara, clasificándolas en diferentes tipologías según los equipos eléctricos presentes

en cada una; de este modo, estimó que al mes el consumo por tipo de vivienda puede oscilar desde 52.95 kWh a 1050.2 kWh, dependiendo del tipo de vivienda. En comparación, en la urbanización Las Terrazas de Cayma, se obtuvo un consumo promedio mensual de 119 kWh.

Además, de acuerdo a los indicadores del SIGERSOL (2024), se evidencia que la generación per cápita de residuos domiciliarios del distrito de Yanahuara, Cerro Colorado y Jose Luis Bustamante y Rivero fue de 0.49 Kg/hab/día, 0.51 Kg/hab/día y 0.57 Kg/hab/día, respectivamente; más aún del distrito de Cayma alcanza un valor de 0.5 Kg/hab/día, mientras que la urbanización presentó un valor de 0.644 0.5 Kg/hab/día de acuerdo a los residuos pesados.

De este modo se puede inferir que, la urbanización presenta un rango de consumo de medio a elevado, no obstante, es importante señalar que, los estudios y reportes disponibles sobre patrones de consumo suelen ser presentados a nivel distrital o incluso provincial, lo que dificulta establecer una comparación directa y representativa con los consumos estimados específicamente para la urbanización en estudio. Esta brecha en la disponibilidad de información a nivel residencial dentro del contexto peruano, resalta la importancia de generar estudios con un mayor nivel de especificidad, que permita comparar y proponer alternativas para diferentes patrones de consumo en la ciudad de Arequipa.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico para poder estimar los escenarios futuros, de manera que se pueda determinar si efectivamente se obtendrían resultados positivos. Los resultados de las 3 propuestas, para agua, energía y residuos se presentan a continuación.

Figura 23. *Modelo de proyección - Consumo de agua potable (m^3)*

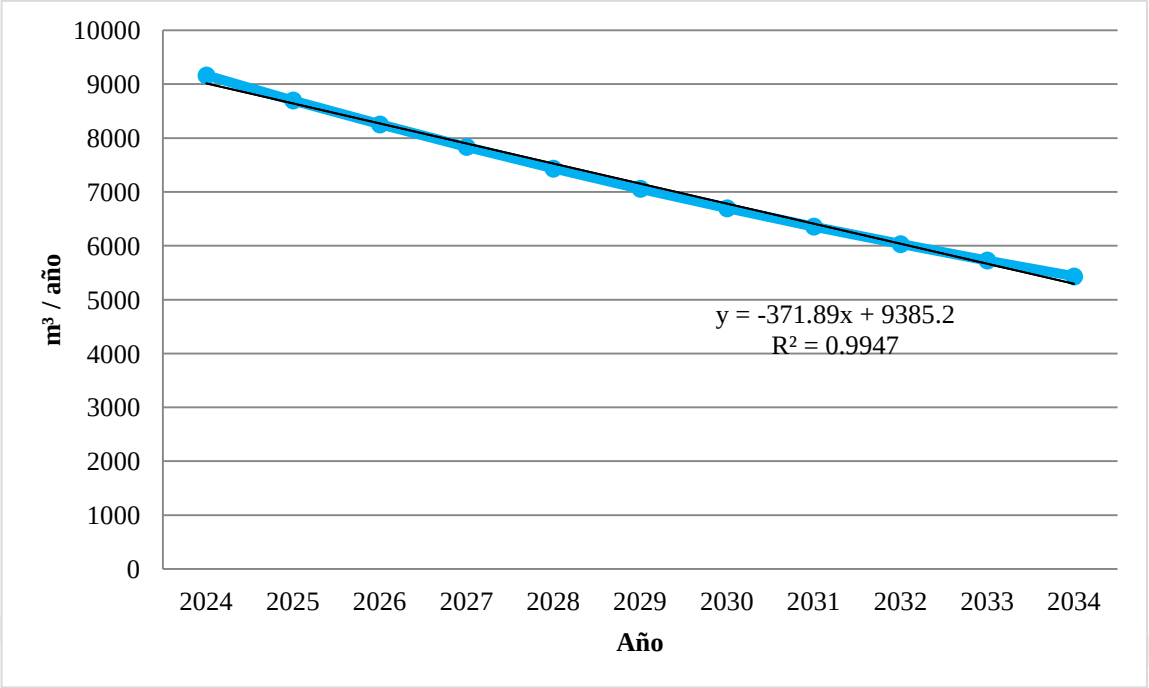


Figura 24. *Modelo de proyección - Consumo de electricidad (kWh)*

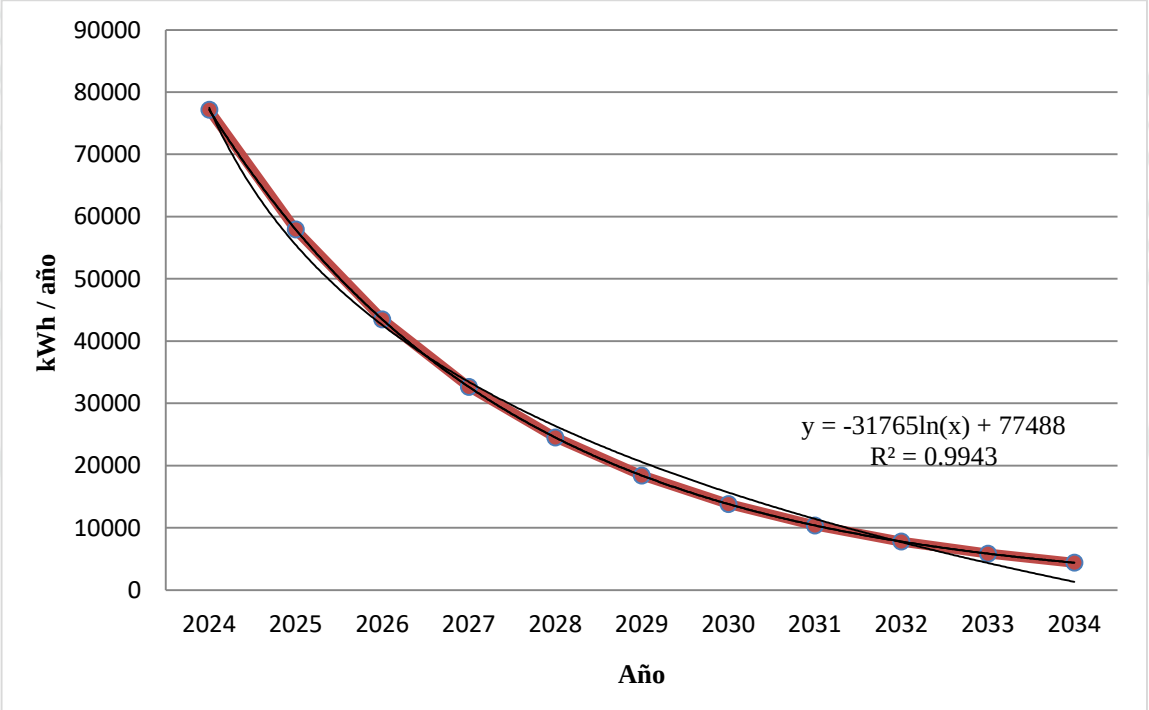
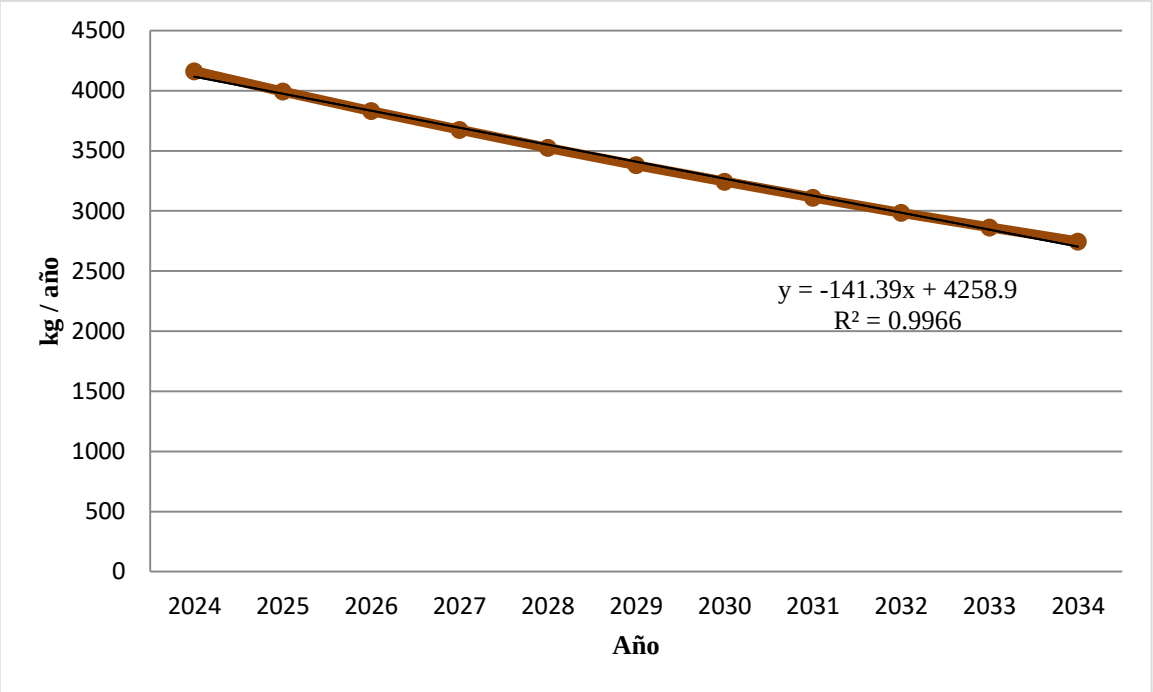


Figura 25. *Modelo de proyección - Generación de residuos sólidos(kg)*



Se estimó que la reducción presentada en la Figura 22 podría ser alcanzada en un plazo de 5 años, obteniendo un valor de R^2 cercano a 1 en los 3 escenarios, evidenciando una capacidad adecuada de representación de la tendencia proyectada desde el año 2024 hasta el 2034. Los datos empleados para la elaboración de las gráficas se presentan en el Anexo 11.

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de estrategias sostenibles disminuye significativamente la huella de carbono de la urbanización Las Terrazas de Cayma. Mientras que algunas presentan reducciones mayores, como el sistema fotovoltaico y el sistema de segregación de residuos, otras como el sistema de recirculación de agua generan impactos moderados debido al consumo energético asociado a su operación. Sin embargo, la aplicación conjunta de estas propuestas nos permite fortalecer el desarrollo urbano sostenible, promoviendo la gestión más eficiente de energía, agua y residuos, disminuyendo las emisiones de efecto invernadero y contribuyendo con la lucha del cambio climático.

4.5. Estimación de costos de las propuestas

Los resultados demuestran que el rediseño de la urbanización, orientado a la optimización del consumo energético residencial contribuyen de manera significativa a la reducción de la huella de carbono. Este enfoque concuerda con los lineamientos promovidos por el Fondo MiVivienda a través el Bono MiVivienda Sostenible, creado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento mediante Acuerdo N.° 02-13D -2015, cuyo

objetivo es otorgar un financiamiento adicional a las familias que adquieran una vivienda ecoeficiente mediante un subsidio económico equivalente al 3% y 4% del valor del inmueble (Ministerio de Energía y Minas, 2023). Bajo este contexto, la incorporación de paneles fotovoltaicos y un sistema de eficiencia hídrica cumple con los criterios de ecoeficiencia para acceder a dicho beneficio, de manera que la propuesta no solo genera beneficios ambientales, sino que se encuentra alineada con los mecanismos de incentivo económico impulsados por el estado peruano, favoreciendo su replicabilidad en proyectos de desarrollo urbano.

Este proyecto trae consigo la reducción de la demanda eléctrica, la reducción de la demanda de agua sobre todo en áreas de estrés hídrico y la reducción de residuos sólidos mal gestionados; aportando mayor confort para los usuarios, ahorro en los servicios de agua y electricidad, y creando un valor agregado a la edificación (MINAM, 2024).

4.5.1. Presupuesto estimado del sistema fotovoltaico

El costo total estimado del sistema fotovoltaico asciende a 15 237 soles, incluyendo todos los materiales para la instalación (Tabla 45).

Tabla 45

Estimación del costo total del sistema fotovoltaico.

Sistema	Producto	Precio (S/.)	Unidad	Total (S/.)	Página referencial
Panel fotovoltaico	TSM-500-NEG18R-28-20 Vertex	1100	2	2200	(Eco Solar Perú, sf)
Controlador de carga	MPPT de 100 A / 48 V	1074	1	1074	(Eco Solar Perú, sf-b)
Baterías	Batería Litio Felicity Solar Perú 5,12kWh 48V 100A | FLA48100	3501	3	10503	(Eco Solar Perú, s/f-a)
Inversor	l Inversor Victron Phoenix 48V 1200VA 120V VE.Direct 5-15R	1460	1	1460	(AutoSolar, s/f)
			Total	15237	

Nota: Elaboración propia.

Para analizar la rentabilidad del proyecto, se debe tomar como referencia los costos de consumo energético previos de la vivienda, actualmente conectada al SEIN, con un promedio anual de consumo de 1972 kWh. Esto equivale a un gasto de 2103.46 soles al año, considerando un precio de 0.7452 soles por kWh más los cargos fijos de 52.82 soles.

Debido a que el sistema fotovoltaico elimina completamente la dependencia del SEIN, es posible calcular el tiempo estimado para recuperar la inversión inicial (ROI) utilizando la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{Inversión\ inicial}{Ahorro\ anual} \qquad ROI = \frac{15\ 237\ soles}{2103.46\ soles} = 7.2 \text{ años}$$

El análisis muestra que el sistema se recupera financieramente en un plazo aproximado de 7 años y 2 meses, posterior a ello, la energía generada será totalmente gratuita para los propietarios de las viviendas. Considerando que la vida útil del sistema suele ser de 25 años o más, y las baterías tienen una duración estimada de hasta 10 años, se prevé un ahorro significativo en los costos energéticos durante todo este período.

4.5.2. Presupuesto del sistema de recirculación de agua con filtro de tratamiento.

En relación con el sistema de recirculación, se plantea la implementación de un filtro de un metro de altura y 0.83 cm de diámetro, diseñado para una vivienda. Se definieron las siguientes capas: una superior de grava con un espesor de 10 cm, una capa intermedia de 60 cm compuesta por biochar y, finalmente, una capa inferior de grava también con un espesor de 10 cm, dejando un espacio libre de 0.20 m para prevenir reboses. A partir de estas especificaciones, se calcularon los kilogramos necesarios de cada sustrato utilizando las fórmulas correspondientes, considerando que la densidad aparente de la grava es de 1600 kg/ m³ y la del biochar es de 240 kg/m³ (Ibitoye et al., 2024).

Tabla 46

Costo total del medio filtrante.

Material	**Volumen m³**	**Densidad kg/m³**	**Cantidad $m = V * \rho$ Kg**	**Precio aprox S/.**	**Costo S/.**
Grava (2 capas)	0.108	1600	172.8	1.50	259.20
Biochar	0.324	240	81.0	15.0	1215.00
Total	0.432	-	253.8	-	1474.20

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con estos valores, se determinó que el costo total aproximado de los sustratos necesarios para el filtro es de 1 474.20 soles.

4.5.3. Presupuesto de la instalación de contenedores soterrados.

La instalación de contenedores soterrados en la urbanización supone una serie de costos también a considerar. Como se mencionó anteriormente, aún no se cuenta con este sistema de contenedores en la ciudad de Arequipa, por lo que la estimación de costos se elaboró tomando como base información referencial del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2026), en especial de los cuadros de valores unitarios; además, se han tomado en cuenta análisis de precios unitarios (APU) de expedientes técnicos de proyectos de construcción ejecutados en el país y se adaptaron a las condiciones del presente proyecto (Mendoza Villalobos, 2022). De esta manera se pudo obtener un presupuesto aproximado, coherente con la realidad del mercado en el Perú.

El costo de contenedores soterrados, al considerarse una obra de ingeniería civil, incluye el suministro del equipo, la ejecución de la cubeta de concreto, excavaciones, instalación, la reposición del pavimento y la mano de obra. En dichos proyectos el costo unitario alcanza aproximadamente S/. 138.500 (Compras Estatales, 2024), no obstante, debido a que la urbanización requiere contenedores con una capacidad menor, el costo se reduciría. Como se observa en la Tabla 43, se consideró una medida de 0.9 m^3 para los 3 contenedores soterrados, pues, como se mencionó anteriormente, no es común la comercialización de contenedores más pequeños.

La Figura 26 muestra las partes de dicho módulo:

Figura 26. *Partes de un contenedor soterrado*



Nota: a. Buzón de depósito; b. Cubeto de concreto; c. Contenedor interno; d. Sistema de elevación; e. Marco de soporte; f. Sistema de drenaje. Modificado de (CENTCONSI, 2023).

Tabla 47

Movimiento de tierras.

Descripción	Unidad	Metrado	P.U (S/.)	Parcial (S/.)
Excavación	m³	9.00	30.00	270.00
Eliminación de material	m³	9.00	10.00	90.00
			Subtotal	360.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 48

Estructuras.

Descripción	Unidad	Metrado	P.U (S/.)	Parcial (S/.)
Concreto base f'c=210	m³	1.50	400.00	600.00
Acero y anclajes	glb	3.00	80.00	240.00
			Subtotal	840.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 49

Suministro e instalación del sistema.

Descripción	Unidad	Metrado	P.U (S/.)	Parcial (S/.)
Cubeto prefabricado	und	3.00	1,500.00	4,500.00
Contenedor soterrado 0.9 m³	und	3.00	18,000.00	54,000.00
Instalación y montaje	und	3.00	500.00	1,500.00
			Subtotal	60,000.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 50

Relleno y compactación.

Descripción	Unidad	Metrado	P.U (S/.)	Parcial (S/.)
Relleno compactado	m³	6.00	50.00	300.00
			Subtotal	300.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 51

Reposición de pavimento.

Descripción	Unidad	Metrado	P.U.	Parcial (S/.)
Concreto vereda f'c=175	m³	0.9	380.00	342.00
Acabado de vereda	m^2	6.00	35.00	210.00
			Subtotal	552.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 52

Resumen.

Concepto	Monto (S/.)
Movimiento de tierras	360.00
Estructuras	840.00
Sistema	60,000.00
Relleno y compactación	300.00
Reposición de pavimento	552.00
TOTAL	62,052.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 53

Costo Total.

Concepto	%	Monto (S/.)

Costo directo	-	62,052.00
Gastos generales	10%	6,205.20
Utilidad	10%	6,205.20
Subtotal	-	74,462.40
IGV	18%	13,403.23
TOTAL		**87,865.63**

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 43, para el caso del contenedor destinado a “metales y vidrios”, al no contar con una cantidad significativa de residuos en Kg al año, no sería viable a nivel económico la construcción de este sistema para esa clasificación. Por lo expuesto, se plantea únicamente la implementación del buzón superficial de depósito, a fin de mantener la uniformidad estética en relación con los demás contenedores, sin embargo, no contaría con el sistema subterráneo de los mismos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se calculó la huella de carbono de la urbanización “Las Terrazas de Cayma” para el año 2024, resultando en un valor de 19.97 tCO_2e, siendo el consumo de energía eléctrica (Alcance 2) la principal fuente de emisiones con 13.18 tCO_2e, seguido por el consumo de agua potable, y la generación de residuos sólidos con 3.15 y 3.64 tCO_2e respectivamente (Alcance 3). Estos resultados permitieron establecer una línea base para las propuestas de mitigación.
- Se desarrollaron propuestas de infraestructura sostenible que incluyen un sistema fotovoltaico modelo de 1kWp de potencia instalada, compuesto por dos módulos fotovoltaicos y un banco de baterías, alcanzando una eficiencia del 80%, lo que evidenció su capacidad para abastecer el consumo energético promedio de una vivienda dentro del área de estudio. Asimismo, la implementación de un sistema de recirculación de aguas grises provenientes de lavadoras y duchas permitió reducir la huella azul, logrando un ahorro estimado de 2570.7 m^3/año de consumo de agua potable en la urbanización. Por su parte, la propuesta de segregación de residuos mediante la instalación de contenedores soterrados facilitó la valorización orgánica de al menos 27515.60 kg a través del compostaje. La investigación demuestra que la comparación entre un escenario base y uno de mejora, permite cuantificar los beneficios ambientales de la implementación de estrategias sostenibles en espacios urbanos, constituyendo un referente para futuras investigaciones, facilitando el diseño y planificación de futuros proyectos urbanos sostenibles dentro del contexto peruano, donde aún son limitadas las investigaciones del tema.
- Se comparó el escenario actual con el escenario proyectado mediante la implementación de la infraestructura sostenible propuesta, obteniéndose una reducción significativa de la huella de carbono, de 19.97 tCO_2e a 2.65 tCO_2e, equivalente a una disminución del 86.73 %. Esta reducción se atribuye principalmente a la reducción significativa de las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica proveniente del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Asimismo, las emisiones asociadas al consumo de agua potable y a la generación de residuos sólidos se redujeron a 2.27 tCO_2e y 0.39 tCO_2e, respectivamente, como resultado de la implementación del sistema de recirculación de aguas grises y de la valorización de residuos orgánicos mediante compostaje. Finalmente, el análisis demostró que la implementación conjunta de estrategias sostenibles permitió

reducir la huella de carbono de la urbanización lo cual demuestra la efectividad de las medidas planteadas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Replicar el presente estudio en otras urbanizaciones o distritos con diferentes estratos socioeconómicos y geográficos, facilitaría la toma de decisiones al momento de implementar modelos urbanos sostenibles, ya que permitiría comparar resultados y evaluar la viabilidad de las propuestas planteadas en diferentes contextos.
- Se recomienda evaluar otras fuentes de emisión como el consumo de gas natural y el transporte, para obtener una evaluación integral de la huella de carbono en entornos urbanos.
- Se recomienda implementar un sistema para que la energía sobrante (E_Unused) del sistema fotovoltaico se dirija al alumbrado público, para implementar sistemas de carga de celulares o incluso para el riego de áreas verdes de la municipalidad, a fin de beneficiar tanto a la población como a la municipalidad a través de la reducción del gasto municipal.
- Si bien la guía de caracterización de residuos sólidos del MINAM únicamente solicita realizar un muestreo durante una semana, el cálculo de la huella de carbono requiere el peso total de residuos generados en el año de estudio. Por este motivo, con el fin de obtener una estimación más precisa, se realizó un muestreo de siete días consecutivos en cada mes del año, no obstante, se recomienda ampliar el periodo de muestreo el mayor tiempo posible en futuras investigaciones, de manera que se puedan obtener valores más representativos. Evidentemente, este factor está supeditado al presupuesto y a la mano de obra con los que cuente el proyecto.
- Para este tipo de investigaciones, si el alcance lo permite, se recomienda realizar campañas de caracterización de R.R.S.S. en diferentes épocas del año, por ejemplo, en los meses de enero, febrero, julio y diciembre, con el fin de evaluar la influencia de la estacionalidad sobre la generación y/o composición de los residuos. Estos periodos de tiempo en la zona de estudio coinciden con el verano, vacaciones escolares y festividades como la navidad, situaciones que podrían modificar los patrones de consumo y generación. Evaluar estas modificaciones permitiría obtener estimaciones anuales más precisas, reduciendo la incertidumbre asociada a la extrapolación de datos.
- Posterior a la implementación de estrategias, la principal fuente de emisiones pasó a ser el consumo de agua potable, lo cual indica un cambio en la estructura de las emisiones,

por lo tanto, se deben identificar nuevas oportunidades de mejora enfocada en la eficiencia hídrica.

- Para futuras investigaciones se recomienda complementar las propuestas planteadas en el presente trabajo con un análisis económico - financiero de su implementación. Si bien esta investigación incluyó una estimación referencial de los costos asociados a los recursos necesarios para la instalación de paneles solares, filtros de tratamiento de aguas grises y contenedores de segregación de R.R.S.S.; se sugiere que estudios posteriores incorporen indicadores financieros como el costo - beneficio, periodo de recuperación de la inversión, etc., con el fin de evaluar la factibilidad económica de las medidas propuestas y facilitar la toma de decisiones para su implementación a escala urbana.
- Si bien el presente estudio se centra en evidenciar cómo los sistemas planteados contribuyen a reducir notablemente las emisiones de GEI, realizar un ACV de los procesos de construcción e instalación de dichos sistemas sería interesante para poder obtener un estudio integral sobre todas las implicancias ambientales que presentan los mismos.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Buraiki, A. S., Al-Sharafi, A., & Antar, M. A. (2024). Excess energy recovery from a stand-alone PV system for freshwater production using RO unit: Techno-economic analysis. Desalination, 586(117824), 117824. https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117824

Alghamdi, H., & Alviz-Meza, A. (2023). A novel strategy for converting conventional structures into net-zero-energy buildings without destruction. *Sustainability*, *15*(14), 11229. https://doi.org/10.3390/su151411229

Altarawneh, N. A., & Murtadha, T. K. (2023). Managing engineering challenges in the design and implementation of eco-friendly residential structures. *Results in Engineering*, *19*(101363), 101363. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101363

Alvarado Aldana, J. & Marrache Echaiz, I. (2021). AGUA Y SANEAMIENTO EN EL PERÚ: ESTADO, RETOS Y REFLEXIONES. https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/download/24314/23121/

Alvarado Zuleta, D. J. & Tenezaca González, D. J. (2023) "INVESTIGACIÓN DEL MARGEN DE ERROR DE LA GENERACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN DE SARAGURO, EN FUNCIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y EL NIVEL DE CONFIANZA". https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e0acd875-d14e-4b4c-a33c-56cba977c314/content

Álvarez Mascheroni, L. (2025). SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS E INSTALACIONES PARA CONSEGUIR UNA VIVIENDA SOSTENIBLE Y DE ALTO RENDIMIENTO ENERGÉTICO. https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/ee427961-2689-46e9-a6c9-2fbd09a6139a/content

Alwa. (2022). Huella de Carbono Corporativa Red Energía del Perú (REP) Año 2021 Informe de inventario de GEI. https://www.isarep.com.pe/DocumentosISAREP/Reporte%20Sostenibilidad/HCC%20Huella%20de%20Carbono%20Corporativa%20ISA%20REP%202021.pdf

Anpier. (2022). ANUARIO FOTOVOLTAICO 2022. Asociación nacional de productores de energía fotovoltaica.org. https://anpier.org/

AQUA ESPAÑA. (2016). Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS DE TRATAMIENTO Y CONTROL DE AGUAS. https://aquaespana.org/sites/default/files/documents/files/Guia.tecnica%20grises.pdf

Arbués, F., García-Valiñas, M. Á., & Martínez-Espiñeira, R. (2003). Estimation of residential water demand: A state-of-the-art review. Journal of Socio-Economics, 32(1), 81–102. https://doi.org/10.1016/S1053-5357(03)00005-2.

Arfasa, G. F., Tilahun, Z. A., & Kejela, M. D. (2026). Towards zero-waste cities: Leveraging circular economy strategies for municipal solid waste management and pollution mitigation in East Africa – A systematic review. Next Sustainability, 7(100228), 100228. https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2025.100228

Arroy, & Ramírez. (2020). Vista de Dióxido de carbono, sus dos caras. Analesdequimica.es. https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1316/1893

Autodesk. (2025). Autodesk AutoCAD: software de diseño y dibujo en el que confían millones de usuarios. https://www.autodesk.com/latam/products/autocad/overview?mktvar002=6131273|SEM|16534257292|142872528628|kwd-14891210&utm_source=GGL&utm_medium=SEM&utm_campaign=GGL_DEC_AutoCAD_AMER_PE_eComm_SEM_BR_New_EX_0000_6131273_General&utm_id=6131273&utm_term=kwd-14891210&mkwid=sJK3ocXpW|pcrid|587140853696|pkw|autocad|pmt|e|pdv|c|slid||pgrid|142872528628|ptaid|kwd-14891210|pid|&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=GGL_DEC_AutoCAD_AMER_PE_eComm_SEM_BR_New_EX_ADSK_3360535_General&utm_term=autocad&utm_content=sJK3ocXpW|pcrid|587140853696|pkw|autocad|pmt|e|pdv|c|slid||pgrid|142872528628|ptaid|kwd-14891210|&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwzYLABhD4ARIsALySuCTFySZN2JnCZTycjWqIoKrxQJaQg7NUmAhLOGBmKV0Goy-XX9zPQbUaAl_KEALw_wcB

AutoSolar. (s/f). Inversor Victron Phoenix 48V 1200VA 120V VE.Direct 5-15R. Autosolar.pe.https://autosolar.pe/inversores-48v/inversor-victron-phoenix-48v-1200va-120v-vedirect-5-15r

A.Y. Hoekstra & M.M. Mekonnen. (2012). The water footprint of humanity. https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109

Bala, A., Raugei, M., Teixeira, C. A., Fernández, A., Pan-Montojo, F., & Fullana-i-Palmer, P. (2021). Assessing the environmental performance of municipal solid waste collection: a new predictive LCA model. Sustainability, 13(11), 5810.

Barrera, D. & Rodriguez Amado, C. (2020). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL AHORRO EN EL CONSUMO DE AGUA POTABLE PARA USO DOMÉSTICO A PARTIR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS Y GRISES https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/d014608d-a2a2-45eb-81fe-59f18c6c16d8/content

Bautista Quispe, J.I.; Campos, L.C.; Masek, O.; Bogush, A. (2022). Use of biochar-based column filtration systems for greywater treatment: A systematic literature review. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221471442200352X?via%3Dihub

Bazán, J., Rieradevall, J., Gabarrell, X., & Vázquez-Rowe, I. (2018). Low-carbon electricity production through the implementation of photovoltaic panels in rooftops in urban environments: A case study for three cities in Peru. The Science of the Total Environment, 622–623, 1448–1462. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.003

Boggiano Burga, M. L. (2021). Diagnóstico y caracterización de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Trujillo–Perú, 2019-2020. https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/3834/4451

Borregaard, N., Mendez, R., Morales, F., Baez, O., De Comunicación, U., Del Conocimiento -Fundación, G., Latinoamericano, F., De Derecho, L., Edición, P. (2024). Estado actual de electrificación a nivel residencial en Brasil, Chile y Colombia. Ffla.net. https://www.ffla.net/wp-content/uploads/2021/03/Informe_completo_GAS_Final_singles_pages.pdf

Bui, V. K. H., Nguyen, T. P., Tran, T. C. P., Nguyen, T. T. N., Duong, T. N., Nguyen, V.-T., Liu, C., Nguyen, D. D., & Nguyen, X. C. (2024). Biochar-based fixed filter columns for water treatment: A comprehensive review. The Science of the Total Environment, 954(176199), 176199. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176199

Byrne, J., Mouritz, M., Taylor, M., & Breadsell, J. K. (2020). East Village at Knutsford: A case study in sustainable urbanism. Sustainability, 12(16), 6296. https://doi.org/10.3390/su12166296

CENTCONSI. (2023). Contenedores Soterrados, una solución para reducir el riesgo ambiental en el Perú. https://centconsi.com/contenedores-soterrados-una-solucion-para-reducir-el-riesgo-ambiental-en-el-peru/

Chigne Arriola, W. P.; Jimenez Asenjo, Y. S. (2025). Huella de carbono en una ladrillera industrial y propuesta de mitigación del impacto ambiental, Lambayeque – 2025. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/179782/Chigne_AWP_Yhoser_SJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chinchilla Blanco, L. E.; Peraza Castro, M.; Rojas Villegas, M.; Pacheco Rodriguez, F. (2024). Estudio de composición de residuos sólidos orgánicos en la comunidad de Barro Hondo, cantón Paraíso, provincia de Cartago, Costa Rica. https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1165/1662

COES. (2022). *Estadísticas Anuales*. https://www.coes.org.pe/Portal/publicaciones/estadisticas/estadistica?anio=2022

Compras Estatales. (2024). Minam descarta sobrevaloración en compra e instalación de contenedores soterrados. https://comprasestatales.org/minam-descarta-sobrevaloracion-en-compra-e-instalacion-de-contenedores-soterrados/

Cordero, W. P. A. (2021). OPTIMIZACIÓN EN DIMENSIONAMIENTO Y CONTROL ENERGÉTICO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=288801. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=288801

Cornejo Solórzano, V. H. (2017). Generación distribuida en redes secundarias en Arequipa. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4334

COSUDE. (2005). GUÍA PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS. Elaguapotable.com. http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20multiples%20etapas.pdf

Darnas, Y.; Sembiring, E.; Rahardyan, B.; Erdiwansyah. (2025). Food waste reduction efforts in reducing greenhouse gas emissions and the impact of climate change: A review. https://www-sciencedirect-com.ezproxy.ucsm.edu.pe/science/article/pii/S2772826925000975#bib0004

De la Barrera, N. (2021). Impactante desperdicio de alimentos en Perú. https://www.scidev.net/america-latina/news/impactante-desperdicio-de-alimentos-en-peru/#:~:text=Seg%C3%BAn%20los%20resultados%20del%20trabajo%20publicado%20en%20Sustainability%2C%20el%20promedio,estudio%20anterior%20de%20esa%20entidad

Departamento de Energía de EE. UU. (2019). PV Cells 101: A primer on the solar photovoltaic cell. https://www.energy.gov/cmei/systems/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell

DIGECA. (2023). Hoja de registro consumo eléctrico. http://www.digeca.go.cr/documentos/hoja-de-registro-consumo-electrico

Duarte, R. & Sarasa, C. (2025). El vínculo Macro-Micro para una aproximación integral hacia una economía (más) circular. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10437989.pdf

Duran Feliciano, E. N. (2020). *"RESIDUOS SÓLIDOS EN EL PERÚ"*. Repositorio PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18237/DURAN_FELICIANO_ELIZABETH_RESIDUOS_S%c3%93LIDOS_PER%c3%9a.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Eco Solar Peru. (s/f). Panel Trina Solar Vertex 505W 24V Monocristalino PERC. Paneles solares en Perú, Kits Solares Perú, Energía Solar Perú. https://ecosolarperu.com/producto/panel-trina-solar-vertex-505w-24v-monocristalino-perc/

Eco Solar Peru. (s/f-a). Batería Litio Felicity Solar Perú 5,12kWh 48V 100A | FLA48100. https://ecosolarperu.com/producto/bateria-litio-felicity-solar-peru-512kwh-48v-100a-fla48100/

Eco Solar Peru. (s/f-b). CONTROLADOR MPPT 100A 12/24/48V MUST SOLAR | PC18-10015F.https://ecosolarperu.com/producto/controlador-mppt-100a-12-24-48v-must-solar/

EPA. (2025). Understanding global warming potentials. US EPA. https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. CIT Informacion Tecnologica, 23(1), 163–176. https://doi.org/10.4067/s0718-07642012000100017

EY. (19 de noviembre de 2020). EY Perú recibe el reconocimiento "Huella de Carbono Perú" del MINAM. https://www.ey.com/es_pe/news/2020/11/reconocimiento-huella-de-carbono-eyperu-minam#:~:text=En%20ese%20sentido%2C%20en%20noviembre,GEI%20en%20beneficio%20del%20ambiente.

Flowen, E. (2021). Tratamiento de aguas grises y su reutilización. Flowen. https://flowen.com.pe/tratamiento-de-aguas-grises-y-su-reutilizacion/

Fong, W. K., Sotos, M., Doust, M., Schultz, S., Marques, A., & Deng-Beck, C. (2021). Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories. Ghgprotocol.org. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GPC_Full_MASTER_RW_v7.pdf

González Hernández, P. C., Mosqueda Ramírez, J. G., Willihado, I., Buenfil, R., & Pizano Martínez, A. (s/f). Sistema para aprovechar el agua residual de lavadoras en casas habitación System to use wastewater from washing machines in residential homes. http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/13703/1/Sistema%20para%20aprovechar%20el%20agua%20residual%20de%20lavadoras%20en%20casas%20habitaci%c3%b3n.pdf

Grafton, R. Q., Ward, M. B., & Kompas, T. (2017). Determinants of residential water consumption: Evidence and analysis from a 10-year panel. Applied Economics, 49(19), 1891–1901. https://doi.org/10.1080/00036846.2016.1221045.

Guzmán Castillo, I. (2023). Gestión de residuos sólidos en Perú: su avance y lo que plantea el Minam. https://gestion.pe/peru/gestion-de-residuos-solidos-en-peru-cual-es-el-avance-y-lo-que-plantea-el-minam-giuliana-becerra-plantas-de-tratamiento-de-residuos-solidos-plantas-de-valorizacion-de-residuos-solidos-oefa-noticia/?ref=gesr

Guzmán Laverde, C.H.; Castaño, J.A. & Agudelo Silva, J.P. (2024). Sistema De Recirculación Y Tratamiento De Agua Para La Reducción Del Consumo Agua (RIVIO). Un Modelo De Negocio Que Aporta A La Sostenibilidad. https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/6894d2d6-f367-40ad-965d-14ed49f876b6/content

Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Al-Musawi, T. J., Al-Jiboory, A. K., Salman, H. M., Ali, B. M., & Jaszczur, M. (2024). RETRACTED: A comprehensive review of international renewable energy growth. Energy and Built Environment. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.12.002

Hernández González, R. J. (2021). PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL AMBARÍ EN LA CIUDAD DE MONTERÍA. https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/5b5b1201-f14c-45ec-8925-d8f818c456a1/content

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). Manual de evaluación de la huella hídrica. Waterfootprint.org. https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

Huang, L.; Long, Y.; Chen, J.; Yoshida, Y. (2023). Sustainable lifestyle: Urban household carbon footprint accounting and policy implications for lifestyle-based decarbonization. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113696

Hussain Lakho, F., Vergote, J., Ihsan-Ul-Haq Khan, H., Depuydt, V., Depreeuw, T., Van Huye, S. W. H, Rosseau, D. P. L. (2021). Total value wall: Full scale demonstration of a green wall for grey water treatment and recycling. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113489

Ibitoye, S. E., Loha, C., Mahamood, R. M., Jen, T.-C., Alam, M., Sarkar, I., Das, P., & Akinlabi, E. T. (2024). An overview of biochar production techniques and application in iron and steel industries. Bioresources and Bioprocessing, 11(1), 65. https://doi.org/10.1186/s40643-024-00779-z

INEI. (2019). RESIDUOS SÓLIDOS. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1756/cap05.pdf

INEI. (2020). *Estado de la población peruana 2020*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1743/Libro.pdf

INEI. (2023). *Población peruana alcanzó las 33 millones 726 mil personas en el año 2023*. https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/795336-poblacion-peruana-alcanzo-los-33-millones-726-mil-personas-en-el-ano-2023

INEI. (2023). Producción de agua potable en Lima Metropolitana aumentó 5,2% en abril de 2023. https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-agua-potable-en-lima-metropolitana-aumento-52-en-abril-de-2023-14392/

INEI. (2025). Condiciones de vida en el Perú. III trimestre de 2024. https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/7548592-condiciones-de-vida-en-el-peru-iii-trimestre-2025

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IPCC. (2006). TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS. Iges.or.jp. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf

Jacquelyn Jestine Sanders Foundation. (2024, septiembre 2). Optimal use of BioChar in biological filtration systems: A guide to containment bag and BioChar preparation & maintenance. https://jacquelynsandersfoundation.org/optimal-use-of-charcoal/

Jahandideh, M., Mahmoudi, A., Rashidi, S., Valipour, M. S., & Zirak, S. (2026). Leveraging renewable energy for mitigating greenhouse gas emissions in Iran. Energy Conversion and Management: X, 30(101632), 101632. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2026.101632

Jhoset, C., Milagros, M., Jesus, G., Cabezas, J., & Peñares, F. (2018). Sistemas fotovoltaicos: un análisis de revisión. Ingenium, 03(01). https://doi.org/10.18259/ing.2018007

Krčmar, D., Tenodi, S., Grba, N., Kerkez, D., Watson, M., Rončević, S., & Dalmacija, B. (2018). Preremedial assessment of the municipal landfill pollution impact on soil and shallow groundwater in Subotica, Serbia. The Science of the Total Environment, 615, 1341–1354. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.283

Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S. (2021). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. Materials Today: Proceedings, 46, 5322–5328. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.785

López Gil, V.; Sepúlveda Vásquez, X. & Zuluaga Castaño, A.F. (2024). Cálculo de la huella hídrica en la Universidad de Antioquia, Seccional Oriente, año 2023. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/2a6eb025-d5be-42d2-884b-1552709a9d2d/content

Lou, X. F., & Nair, J. (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions--a review. Bioresource Technology, 100(16), 3792–3798. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.006

Mandal, D., Labhasetwar, P., Dhone, S., Dubey, A. S., Shinde, G., & Wate, S. (2011). Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. Resources, Conservation, and Recycling, 55(3), 356–361. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.001

Martinez Gutiérrez; D.A. & Saenz Lozano, G.A. (2017). Factibilidad económica para la implementación de sistemas de ahorro de agua potable a partir de la recirculación de aguas lluvias y aguas grises en casas construidas en estratos 4, 5 y 6 en la ciudad de Bogotá. https://ciencia.lasalle.edu.co/items/8c2a27bd-5568-4670-9b3e-34190f00c25d

Martínez Vargas, E. (2021). Consecuencias de la expansión urbana en zona agrícola de Campiña, Arequipa (2010-2020). https://repositorio.ucal.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12637/322/Consecuencias%20expansion%20urbana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martínez, J.; Marti-Herrero, J.; Villacis, S.; Riofrio, A.J. & Vaca, D. (2025). Analysis of energy, CO2 emissions and economy of the technological migration for clean cooking in Ecuador. https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.07788

Matute, A., & Jesús, S. (2020). Análisis de herramientas de modelado y diseño de sistemas de almacenamiento eléctrico en aplicaciones fotovoltaicas. Universidad de Almería.

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things (2002). https://mcdonough.com/writings/cradle-cradle-remaking-way-make-things/

Mendoza Villalobos, B.A. (2022). Análisis de precios unitarios – Presupuesto 1101074 (APU general). https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/costos-y-presupuestos/analisis-de-precios-unitarios-presupuesto-1101074-apu-general/133830446

MINAM. (2018). Huella de Carbono Perú. https://huellacarbonoperu.minam.gob.pe/huellaperu/#/inicio

MINAM. (2019). Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/523785/Gu%C3%ADa_para_la_caracterizaci%C3%B3n_rsm-29012020__1_.pdf?v=1581976231

MINAM. (2019). Kit de gestión integral de los residuos sólidos. Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/274151-kit-de-gestion-integral-de-los-residuos-solidos

MINAM. (2023). PLAN NACIONAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Gob.pe. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5177859/PLANRES%20ENT1-14.09.pdf?v=1695651269

MINAM. (2024). Catálogo de Medidas de Mitigación. Gob.pe. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/426371/357226-catalogo-de-medidas-de-mitigacion-2024.pdf?v=1746736481

MINAM. (2024). Más de 148 500 toneladas de residuos sólidos municipales son valorizados en el país. Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/955458-mas-de-148-500-toneladas-de-residuos-solidos-municipales-son-valorizados-en-el-pais

MINEM. (2023). Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético. Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4710601-sector-residencial

Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social. (2023). Midis, Midagri y PMA suman esfuerzos para la recuperación de alimentos.

https://www.gob.pe/institucion/midis/noticias/842306-midis-midagri-y-pma-suman-esfuerzos-para-la-recuperacion-de-alimentos

Ministerio de Energía y Minas. (2019). Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/1902937-balance-nacional-de-energia-2019

Ministerio de Energía y Minas. (2024). Balance Nacional de Energía 2024. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/10050927/8191036-balance-nacional-de-energia-bne-2024.pdf?v=1779974455

Ministerio de Vivienda, C. y. S. (2025). Familias pueden adquirir viviendas ecoamigables con un bono incrementado y reducir recibos de agua y luz. Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/1303041-familias-pueden-adquirir-viviendas-ecoamigables-con-un-bono-incrementado-y-reducir-recibos-de-agua-y-luz

Ministerio de Vivienda, C. y. S. (2026). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. https://www.gob.pe/vivienda

MINSA. (2018). Población Estimada (2023). https://www.minsa.gob.pe/reunis/data/poblacion_estimada.asp

Molina, J. (2025). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID PARA ABASTECER DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UNA VIVIENDA, UBICADA EN UN SECTOR RURAL DEL CANTÓN ISIDRO AYORA EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS. Edu.ec. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29920/1/UPS-GT006101.pdf

Municipalidad Distrital de Cayma. (2024). Municipalidad de Cayma fortalece la cadena de reciclaje en el distrito. https://www.gob.pe/institucion/municayma/noticias/914961-municipalidad-de-cayma-fortalece-la-cadena-de-reciclaje-en-el-distrito

Municipalidad Provincial de Arequipa. (2017). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) de la provincia de Arequipa. Gob.pe. https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/gestionmanejoresiduos/PIGARS%202017-2028/PIGARS%20final%2022%20de%20Diciembre.pdf

Murgui Mezquita, M., Cabrera Marcet, E., Pardo Picazo, M., & Cabrera. (2009). Obtenido de Estimación del consumo de energía ligado al uso del agua: http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2009/fs/MO01rev.pdf

National Geographic. (2019). La contaminación del aire. https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-del-aire

Niewitecka, K., & Żubrowska-Sudoł, M. (2025). Current research trends and challenges related to the use of greywater in buildings. Water, 17(23), 3431. https://doi.org/10.3390/w17233431

Noborikawa Gushiken, M. K. (2020). ENKEI: Sistema de Segregación de Residuos Domésticos para Zonas Urbanas. https://www.academia.edu/download/95042854/489428148.pdf

Obiuto, N. C., Olu-lawal, K. A., Ani, E. C., Ugwuanyi, E. D., & Ninduwezuor-Ehiobu, N. (2024). Chemical engineering and the circular water economy: Simulations for sustainable water management in environmental systems. *World journal of advanced research and reviews*, *21*(3), 001-009. https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.3.0647

ONU. (s.f.). Cambio climático - Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/

Orfanou, A., Klontza, E., Vakalis, S., Voukkali, I., Zorpas, A. A., & Lekkas, D. F. (2026). Introducing waste generation as a factor affecting carbon footprint in hotel operation and assessment of reduction practices. Energy Nexus, 21(100615), 100615. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100615

Ortiz Bernal, M.A. (2018). ESTUDIO DE LA VIABILIDAD Y BENEFICIO ECONÓMICO SOBRE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS GRISES Y AGUAS LLUVIAS. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e0e8974e-0cf7-44ba-a5b1-a78f55fd4034/content

OSGeo. (2018). QGIS DESKTOP. https://www.osgeo.org/projects/qgis/

OSINERGMIN. (2022). ASPECTOS RELEVANTES DE LA OPERACIÓN DEL SEIN. Gob.pe.

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/Reportes/Osinergmin-DSE-ARO-SEIN-2022-IV.pdf

OSINERGMIN. (2022). *ASPECTOS RELEVANTES DE LA OPERACIÓN DEL SEIN*.

Palacios Romero, P.A.; Tenemea Sánchez, W.M & Urgilés Andrade, D.B. (2025). Propuesta de diseño y comparación de sistemas de tratamiento de aguas grises para recirculación en usos no potables: Un enfoque convencional y basado en la naturaleza aplicado a edificios académicos. https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/15904/1/21420.pdf

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5: Desechos. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IPCC Volumen 5 Desechos

Phonphoton, N., & Tongsuntud, S. (2026). System dynamics analysis on greenhouse gas emissions from municipal solid waste disposal under waste management policy: Case study Bangkok, Thailand. Cleaner Waste Systems, 14(100502), 100502. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2026.100502

Putri, Y. W. (2025). A Simple Mathematical Model for Calculating Household Water Usage Based on Linear Functions. Science Get Journal, 2(3), 1–9. https://doi.org/10.69855/science.v2i3.162

Quiroga, L. & Camilo, C. (2023). Estrategias sostenibles para la recirculación del agua en unidades habitacionales: Impacto en la oferta hídrica para la agroindustria. https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/4625/2963

Quispe Ccari, F. (2024). Emisión de metano por la disposición de residuos sólidos urbanos en el botadero a cielo abierto del Distrito de Sandia 2023. Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. https://repositorio.uancv.edu.pe/items/48f98c75-e47b-4b3e-992b-7907ea1be547

Red Hábitat. (2023, octubre 5). CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA VIVIENDA. Red Hábitat; Asociación Taller de Proyectos e Investigaciones de Hábitat Urbano - Rural | Red Hábitat. https://red-habitat.org/calculo-de-la-huella-hidrica-en-la-vivienda/

REDES & SUNASS. (2026). VIVIR EN EL DESIERTO: CUÁNTA AGUA CONSUMIMOS Y QUÉ CALIDAD DE SERVICIO TENEMOS EN LIMA

METROPOLITANA Y CALLAO. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/9416958/7715654-informe-consumo-de-agua-en-lima-y-callao.pdf?v=1770660017

Reyna Babilonia, Gabriel F. (2025). “EMISIONES DE HUELLA DE CARBONO DE LOS HOGARES Y COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LAS FAMILIAS EN LA ZONA DE MASUSA, DISTRITO DE PUNCHANA, LORETO 2025” https://api-repositorio.unapiquitos.edu.pe/server/api/core/bitstreams/817eb3e4-ddfe-4175-b8af-c48ce517c610/content

Ríos Villacorta. Alberto. (2012). *Análisis del crecimiento exponencial en el Perú: Consumo eléctrico y PIB | Conexión ESAN*. https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/crecimiento-peru-consumo-electrico

Rivera, J., Martin, R., Luis, I. J., & Salazar, V. (2018). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA. Edu.pe. https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bbd9f068-72b0-4605-9733-e840dcfd70e2/content

Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, J. L. (2009). Proyección del consumo de energía residencial en el Perú (2005-2030) mediante el software Maed_d. *Industrial Data*, *12*(2), 050. https://doi.org/10.15381/idata.v12i2.6122

Rosales Malpartida, J. Y. (2022). Predicción de la contaminación atmosférica generada por las emisiones del CO2 en el Perú utilizando los métodos ARIMA y Redes Neuronales. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8266605

Ruiz Pérez, M.R. (2020). MODELO DE EVALUACIÓN DE LAS HUELLAS HÍDRICA Y DE CARBONO EN LA RENOVACIÓN DEL ESPACIO URBANO SENSIBLE AL AGUA. https://idus.us.es/bitstreams/4ebce6cb-c776-4c2f-9141-93f2fc91fd88/download

Santos, T. C. D.; Araujo, E. C.; Silva, T. A. D.; Freire, E. V.; Landulfo, E. & Andrade, M. D. F. (2025). Emissions from fuel combustion by stoves in residential kitchens in São Paulo – Brazil. https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-968

SEAL. (2024). Estados financieros al 31 de diciembre de 2024 y de 2023. https://www.seal.com.pe/Documentos/JOA/20250320/3.%20Estados%20Financieros%20al%2031%20de%20diciembre%20de%202024.pdf

SEAL. (2024). Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. https://www.gob.pe/seal

SEDAPAR. (2024). Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa. https://www.sedapar.com.pe/

SENAMHI. (2003). Atlas de energía solar. https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/343

SENAMHI. (2025). Datos Hidrometeorológicos. https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=estaciones

SIGERSOL. (2024). SIGERSOL - informes dinámicos. Gob.Pe. https://site2.minam.gob.pe/informes-din%C3%A1micos

Solarian. (2025, mayo 6). PR (Performance Ratio) calculation in solar power plants. SOLARIAN; Solarian Energy. https://www.solarian.com.tr/en/pr-performance-ratio-calculation-in-solar-power-plants/

Sonibare, O. O., Adeniran, J. A., & Bello, I. S. (2019). Landfill air and odour emissions from an integrated waste management facility. Journal of Environmental Health Science & Engineering, 17(1), 13–28. https://doi.org/10.1007/s40201-018-00322-1

SUNASS (2026). Arequipa: conozca los distritos con mayor consumo de agua potable en el primer trimestre del año. https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/1418780-arequipa-conozca-los-distritos-con-mayor-consumo-de-agua-potable-en-el-primer-trimestre-del-ano

Sun, M., & Ma, S. (2026). The paradox of environmental awareness improvement and carbon footprint: a Maslow's Need-hierarchy perspective analysis in rural China. Journal of Cleaner Production, 538(147304), 147304. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.147304

Telefonica. (2023). Sustainable urbanism: smart urban development. Telefónica. https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/sustainable-urbanism-smart-urban-development/

Universidad Continental. (2023). ¿Cómo se manejan los residuos sólidos en el Perú?. https://blogposgrado.ucontinental.edu.pe/como-manejan-residuos-solidos-peru

Vásquez, P. F. (2019). Criterios de calidad ambiental aplicado al diseño de techos verdes para un centro de reciclaje y compostaje, en El Milagro, en el año 2019 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de http://hdl.handle.net/11537/23668

Villarreal, A. M. (2024). Cálculo de huella de carbono y desarrollo de estrategias de reducción de gases de efecto invernadero en el establecimiento Clínica Cori. Repositorio de la Universidad San Ignacio de Loyola; Universidad San Ignacio de Loyola. https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/31fc2efc-58b1-49dc-8c81-b5438a044100

Walichnowska, P., Kruszelnicka, W., Tomporowski, A., & Mroziński, A. (2025). The impact of energy storage on the efficiency of photovoltaic systems and determining the carbon footprint of households with different electricity sources. Sustainability, 17(6), 2765. https://doi.org/10.3390/su17062765

Wanjiru, E., & Xia, X. (2018). Sustainable energy-water management for residential houses with optimal integrated grey and rain water recycling. *Journal of Cleaner Production*, *170*, 1151–1166. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.212

Wentz, E. A., Kim, Y., & Myint, S. W. (2014). Factors influencing water consumption in multifamily housing in Phoenix, Arizona. Professional Geographer, 66(3), 501–510. https://doi.org/10.1080/00330124.2013.805627.

WHO (2003). The right to water. World Health Organization.

Wooldridge, J. M. (2015). Introductory Econometrics: A Modern Approach (6th ed.). Cengage Learning.

World Bank Group. (2024). Trends in solid waste management. Worldbank.org. https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html

Yukesh Kannah, R.; Merrylin, J.; Poornima Devi, T.; Kavitha, S.; Sivashanmugam, P.; Gopalakrishnan Kumar; Rajesh Banu, J. (2020). Food waste valorization: Biofuels and value added product recovery. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X20301456

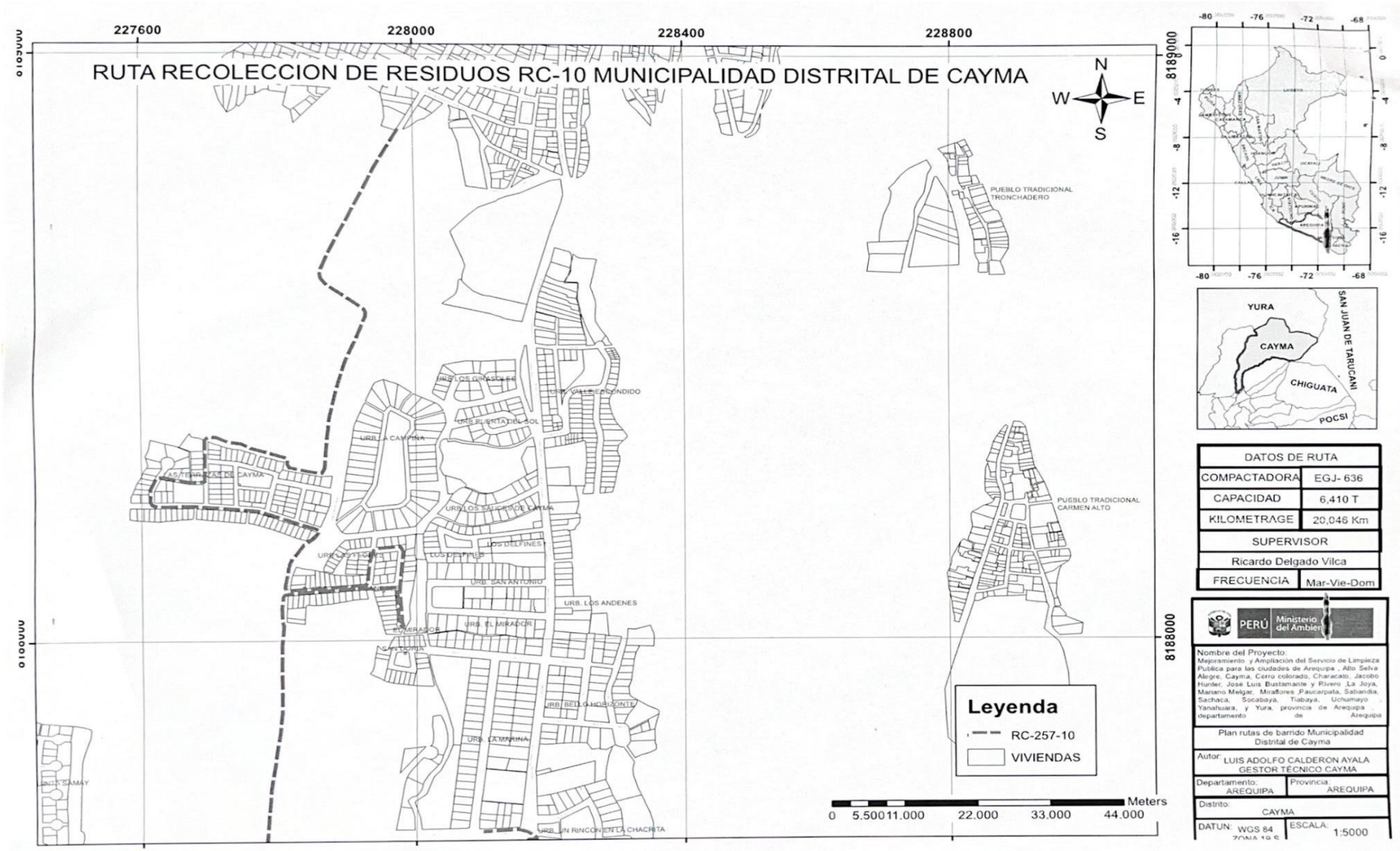
Zhang, J., Li, Y., & Yu, L. (2019). Urban residential water demand modeling using survey data and statistical analysis. Water Resources Management, 33(5), 1751–1764. https://doi.org/10.1007/s11269-018-2196-3.

Zheng, J., Lin, Z.-E., Masanet, E., Deshmukh, R., & Suh, S. (2021). Lifecycle cost and carbon implications of residential solar-plus-storage in California. iScience, 24(12), 103492. https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103492

Zhong, W., Schroeder, T., & Bekkering, J. (2023). Designing with nature: Advancing three-dimensional green spaces in architecture through frameworks for biophilic design and sustainability. *Frontiers of Architectural Research*, *12*(4), 732–753. https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.03.001

ANEXOS

Anexo 1. *Ruta de Recolección de Residuos Sólidos RC-257-05.*



Anexo 2. *Requerimiento de información sobre consumo de agua potable*.

A. Solicitud presentada a la EPS SEDAPAR S.A. mediante mesa de partes virtual.

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

SEÑOR (A):

YANET FELIA MONTOYA VERA
GERENTE GENERAL DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AREQUIPA (SEDAPAR)

Asunto : Carta Reiterativa acerca del requerimiento de información sobre Consumo de Agua en Urb. Las Terrazas de Cayma – Ley N° 27806

Referencia : Ley de transparencia
Expediente N°2025-09863

Fecha : 17 de abril 2025

Yo MAHILY PATRICIA DIAZ CHAVEZ, identificado con DNI , señalando domicilio para estos efectos en Urb. , distrito de provincia y departamento de Arequipa, con celular N° y correo electrónico mahilypatriciadiazchavez@gmail.com a usted con el debido respeto me presento y expongo:

En respuesta al Oficio N° 381-2025/S-70200 de fecha 07 de abril del 2025, en la cual se indica que acuerdo a la Ley N° 29733, en el Articulo N° 36, "no se podrá dar ningún dato sin consentimiento del titular de la conexión", me permito aclarar de manera respetuosa, que se solicitó datos personales identificables; por lo contrario mi requerimiento tiene como único propósito acceder a datos estadísticos anonimizados sobre el consumo de agua potable, expresado en metros cúbicos (m3), correspondiente a algunos usuarios, para el periodo de Enero a Diciembre del año 2024. El consumo de agua expresado en m³, sin vinculación con datos personales, no constituye dato personal según lo definido por el Artículo 2 de la Ley N.° 29733.

La información solicitada no incluye ningún dato personal como nombres, direcciones, ni ningún otro elemento que permita identificar a los usuarios cumpliendo lo establecido por la Ley N° 29733 – Ley de Protección de Datos Personales.

Por otro lado, se reconoce que mediante el aplicativo virtual OV SEDAPAR, se puede acceder a la información solicitada sin embargo solo están disponibles los últimos seis meses.

La finalidad de esta solicitud es exclusivamente académica orientada a una investigación de tesis titulada "DISEÑO DE UNA URBANIZACIÓN SOSTENIBLE ENFOCADO A LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO: UN CASO DE ESTUDIO EN LA URBANIZACIÓN "LAS TERRAZAS DE CAYMA", AREQUIPA, 2024", realizada por mi persona y la Srta. Ana Sofia Nuñez Meza, NO siendo para fines comerciales ni de divulgación individualizada; asimismo aclarar que la información solicitada será codificada (p. ej. Vivienda 1 (10m3), Vivienda 2 (4m3), Vivienda 3(3m3))

DECLARACIÓN JURADA DE CONFIDENCIALIDAD

Nosotros, Mahily Patricia Diaz Chavez, identificada con DNI , con domicilio y Ana Sofia Nuñez Meza identificado con DNI con domicilio En calidad de solicitantes de información académica declaramos bajo juramento lo siguiente:

1. Que la información solicitada a nombre del SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AREQUIPA (SEDAPAR), será utilizada utilizada exclusivamente con fines técnicos y académicos, vinculados al consumo de agua y otros recursos como energía y residuos de una población en específico.

2. Que nos comprometemos a no divulgar, compartir ni utilizar dicha información para fines distintos a los indicados, ni actividades comerciales, publicitarias, políticas ni de otra índole que vulnere el derecho a la protección de datos personales, o que permita la identificación directa o indirecta de los titulares del servicio.

3. Que en caso de que se nos proporcione la información anónima solicitada, respetaremos su carácter confidencial y no intentaremos vincularla con personas naturales.

4. Que asumimos plena responsabilidad por cualquier uso indebido o no autorizado de la información entregada, eximiendo de toda responsabilidad a la entidad proveedora de los datos.

En fe de lo declarado, firmamos la presente en la ciudad de Arequipa, a los 17 días del mes de abril del año 2025.

Bch. Mahily Patricia Díaz Chávez
DNI:
Correo: mahilypatriciadiazchavez@gmail.com

Bch. Ana Sofia Nuñez Meza
DNI:
Correo: ana.sofiacel@gmail.com

B. Histórico de lecturas EPS SEDAPAR S.A.

Consumo de agua potable, periodo 2024 - Ed 22 - Piso 1

EPS SEDAPAR S.A.
MODULO MICROMEDICION
REP0002R

HISTORICO DE LECTURAS

Conexion: 169 Unix: 0643167000 Situacion: ACTIVA Condición: SERVICIO ACTIVO Tip Cuenta: NORMAL Tip U
Nombre : - / Categoria: DOMESTICO Circuito : L-21A Tipo Cons
Dirección : URB LAS TERRAZAS DE CAYMA Mza- Lote- Medidor: PA Ubi Mdr: S/UBICAC

Periodo	Medidor	Fecha Lectura	Actual	Cons.	Prom	Real	Pro	Cond. Serv.	Impedimento Lectura	Observacion Medidor
MAR-2025	PA	21-03-2025	162	6	8	6	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
FEB-2025	PA	18-02-2025	156	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
ENE-2025	PA	20-01-2025	149	9	8	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
DIC-2024	PA	19-12-2024	140	9	8	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
NOV-2024	PA	18-11-2024	131	9	8	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
OCT-2024	PA	19-10-2024	122	8	8	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
SET-2024	PA	19-09-2024	114	4	8	4	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
AGO-2024	PA	21-08-2024	110	10	8	10	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUL-2024	PA	20-07-2024	100	9	8	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUN-2024	PA	21-06-2024	91	8	8	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
MAY-2024	PA	23-05-2024	83	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
ABR-2024	PA	22-04-2024	76	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
MAR-2024	PA	21-03-2024	69	6	7	6	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
FEB-2024	PA	22-02-2024	63	8	8	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
ENE-2024	PA	22-01-2024	55	14	6	14	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
DIC-2023	PA	21-12-2023	41	3	6	3	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
NOV-2023	PA	22-11-2023	38	10	5	10	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
OCT-2023	PA	21-10-2023	28	5	5	5	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
SET-2023	PA	20-09-2023	23	4	6	4	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
AGO-2023	PA	21-08-2023	19	9	4	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUL-2023	PA	20-07-2023	10	4	15	4	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUN-2023	PA	20-06-2023	6	4	15	4	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
MAY-2023	PA	23-05-2023	2	15	15	0	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU

Consumo de agua potable, periodo 2024 - Ca 10

EPS SEDAPAR S.A.
MODULO MICROMEDICION
REP0002R

HISTORICO DE LECTURAS

Conexion: 169 Unix: 0643168000 Situacion: ACTIVA Condición: SERVICIO ACTIVO Tip Cuenta: NORMAL Tip U
Nombre : / / Categoria: DOMESTICO Circuito : L-21A Tipo Cons
Dirección : URB LAS TERRAZAS DE CAYMA Mza- Lote- Medidor: PA Ubi Mdr: EXTERIOR

Periodo	Medidor	Fecha Lectura	Actual	Cons.	Prom	Real	Pro	Cond. Serv.	Impedimento Lectura	Observacion Medidor
MAR-2025	PA	21-03-2025	172	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
FEB-2025	PA	18-02-2025	165	6	8	6	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
ENE-2025	PA	20-01-2025	159	9	8	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
DIC-2024	PA	19-12-2024	150	8	8	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
NOV-2024	PA	18-11-2024	142	10	8	10	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
OCT-2024	PA	19-10-2024	132	8	8	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
SET-2024	PA	19-09-2024	124	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
AGO-2024	PA	21-08-2024	117	8	8	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUL-2024	PA	20-07-2024	109	8	7	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUN-2024	PA	21-06-2024	101	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
MAY-2024	PA	23-05-2024	94	10	7	10	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
ABR-2024	PA	22-04-2024	84	7	7	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
MAR-2024	PA	21-03-2024	77	7	7	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
FEB-2024	PA	22-02-2024	70	7	7	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
ENE-2024	PA	22-01-2024	63	6	8	6	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
DIC-2023	PA	21-12-2023	57	9	8	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
NOV-2023	PA	22-11-2023	48	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
OCT-2023	PA	21-10-2023	41	8	8	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
SET-2023	PA	20-09-2023	33	7	8	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
AGO-2023	PA	21-08-2023	26	7	9	7	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUL-2023	PA	20-07-2023	19	8	15	8	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
JUN-2023	PA	20-06-2023	11	9	15	9	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU
MAY-2023	PA	23-05-2023	2	15	15	0	0	ACT	SIN IMPEDIMENTO DE LECTURA	SIN OBSERVACION DE LECTU

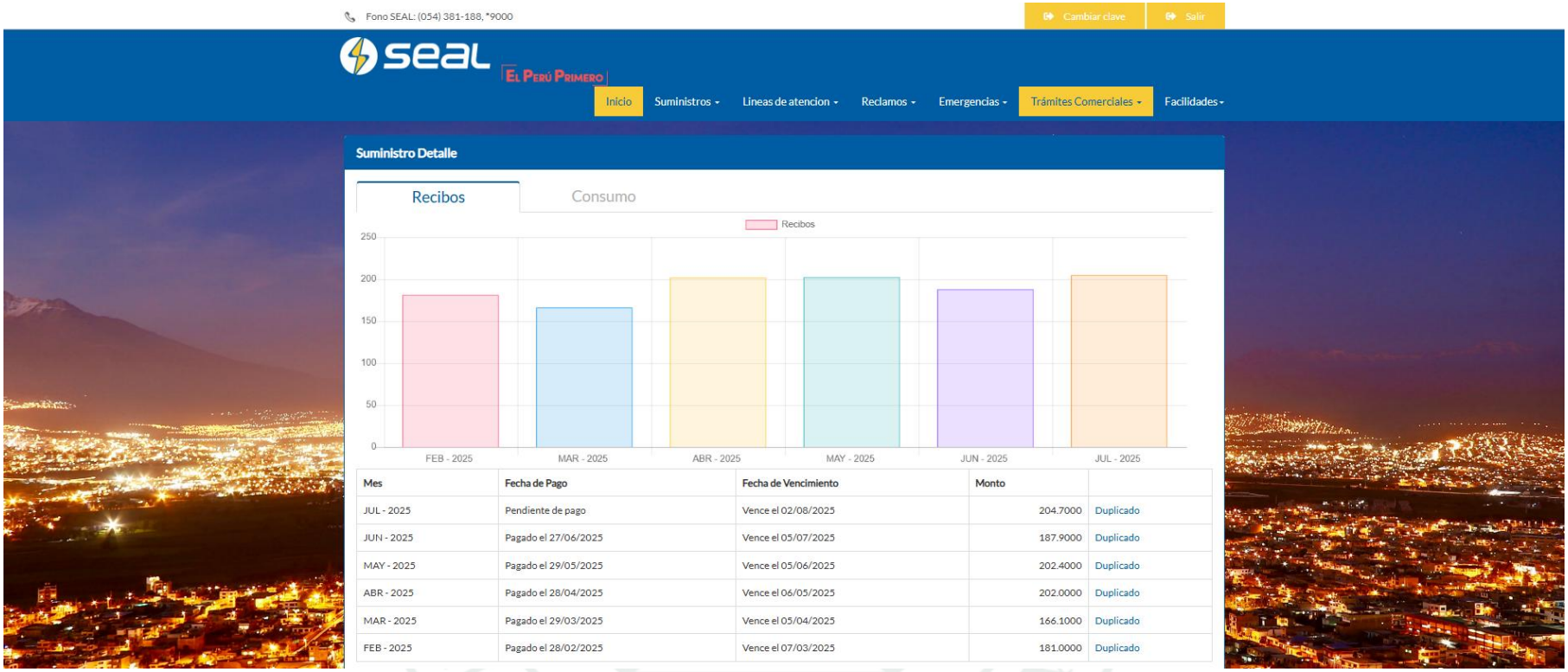
C. Consumo de agua potable (m^3) por vivienda, periodo 2024.

			AGUA (M3)											
Tipo de Vivienda	Zonificación	Código de Vivienda	Cantidad de medidores	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Casa	A	Ca26	1	14	9	11	11	13	16	10	13	14	14	14	18
		Ca29	1	5	5	9	11	11	12	11	6	23	10	14	10
		Ca31	1	27	27	25	34	34	33	32	37	33	47	37	36
		Ca37	1	13	10	16	12	12	12	11	15	12	12	15	13
	B	Ca01	1	15	8	7	10	7	9	8	10	8	8	8	7
		Ca02	1	57	7	15	14	20	27	15	14	18	10	15	17
		Ca05	1	16	23	33	29	30	27	27	20	24	18	12	17
		Ca08	1	31	28	34	40	32	33	36	28	25	31	24	22
		Ca09	1	19	19	17	22	19	18	19	22	22	24	26	25
		Ca10	1	6	7	7	7	10	7	8	8	7	8	10	8
		Ca12	1	10	13	14	21	22	19	26	26	35	39	39	25
		Ca13	1	14	12	7	8	9	6	11	13	9	10	11	11
		Ca14	1	39	37	27	35	34	30	29	27	22	29	30	36
		Ca15	1	20	17	15	19	19	17	15	20	17	18	17	19
		Ca21	1	29	23	15	26	26	14	23	29	21	26	30	29
		Ca22	1	8	8	21	23	22	30	21	27	27	30	25	30
		Ca25	1	17	30	20	23	29	28	38	44	33	31	21	22
		Ca33	1	34	24	36	44	37	35	34	36	28	30	25	38
		Ca35	1	6	11	7	11	10	10	11	10	12	12	14	17
		Ca38	1	0	1	4	2	3	3	1	8	2	3	4	2
	C	Ed12	3	9	7	4	2	0	1	0	0	1	0	0	2
				17	4	6	2	1	1	0	5	0	1	1	9
				10	5	7	7	7	6	21	92	7	8	9	8
		Ed03	4	28	22	21	25	20	22	22	24	25	22	24	31
				12	14	9	10	12	10	10	12	11	10	10	11
				5	5	5	8	6	7	5	6	6	6	7	7
				3	8	27	32	35	20	19	16	16	16	17	17
		Ed05	4	9	27	26	34	3	21	35	25	24	25	26	28
				0	0	6	10	13	13	12	13	9	12	10	10
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

				8	7	8	9	10	16	8	9	8	11	14	13
		Ed10	1	35	30	29	28	43	33	33	36	35	54	53	56
	D	Ed11	4	11	2	8	6	3	7	10	15	11	8	13	9
				11	4	9	11	10	12	11	16	4	0	5	7
				15	12	10	12	20	8	22	23	18	22	23	27
				7	7	7	9	6	7	9	10	10	14	10	4
Edificio		Ed16	4	8	11	11	11	9	8	9	12	9	8	8	16
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				7	7	7	9	6	7	9	10	10	14	10	4
				13	10	17	13	13	12	13	14	11	11	14	12
		Ed20	1	14	16	9	10	10	8	11	9	7	12	11	6
		Ed21	2	18	14	10	16	17	14	15	25	2	8	7	9
				5	28	0	19	28	24	25	22	27	28	25	28
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ed22	1	14	8	6	7	7	8	9	10	4	8	9	9
	E	Ed01	5	5	3	4	1	1	1	0	0	1	2	1	1
				6	5	7	7	8	7	8	8	7	2	2	2
				7	8	20	20	18	15	13	14	15	15	17	22
				3	11	12	17	14	16	14	17	10	17	13	16
				1	1	0	1	0	1	0	1	2	2	2	0
		Ed19	5	10	9	3	1	1	1	0	2	2	2	1	2
				5	0	10	16	14	10	13	18	12	13	12	11
				13	12	14	21	16	19	17	17	14	12	8	15
				11	10	9	16	11	10	10	11	10	11	12	17
				16	16	13	9	10	10	9	12	11	13	11	10
				716	642	674	801	771	741	778	917	731	797	776	821

Anexo 3. *Requerimiento de información sobre consumo de energía.*

A. Obtención de datos mediante la oficina virtual de la EPS SEAL S.A.

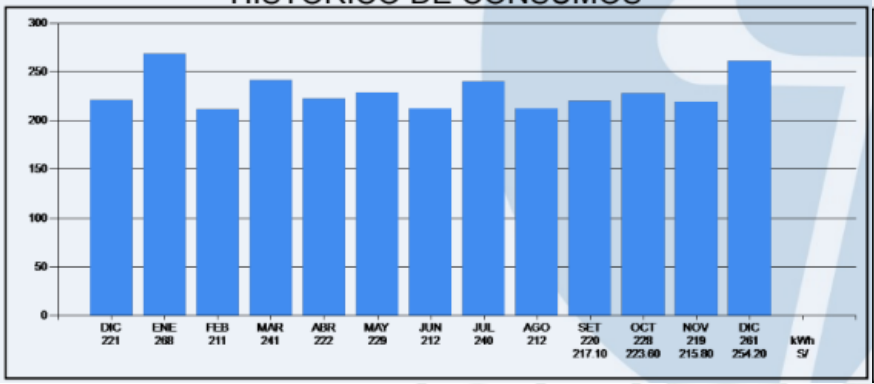


Mes	Fecha de Pago	Fecha de Vencimiento	Monto	
JUL - 2025	Pendiente de pago	Vence el 02/08/2025	204.7000	Duplicado
JUN - 2025	Pagado el 27/06/2025	Vence el 05/07/2025	187.9000	Duplicado
MAY - 2025	Pagado el 29/05/2025	Vence el 05/06/2025	202.4000	Duplicado
ABR - 2025	Pagado el 28/04/2025	Vence el 06/05/2025	202.0000	Duplicado
MAR - 2025	Pagado el 29/03/2025	Vence el 05/04/2025	166.1000	Duplicado
FEB - 2025	Pagado el 28/02/2025	Vence el 07/03/2025	181.0000	Duplicado

Recibo mes de diciembre, 2024 - Ca26

Factor	1.00
CONSUMO FACTURADO	**261.00 kWh**
EL COSTO DE kW.h ES: S/ 0.7452	0.7452
Alicuota AP	0.54
El total a pagar incluye recargo Fose(Ley 27510 y Modificatorias)	6.15

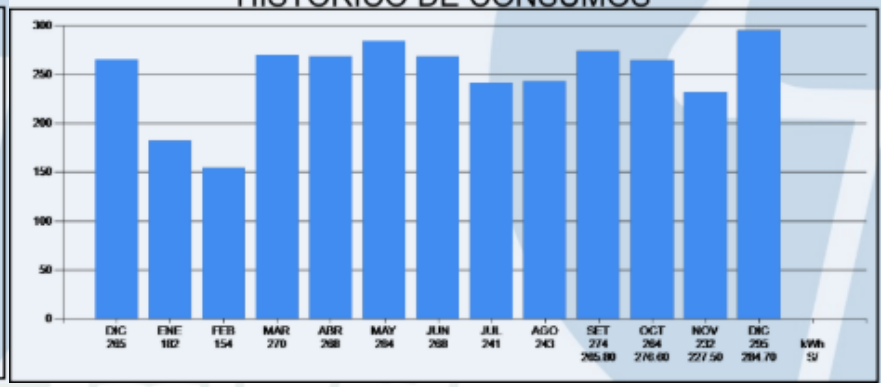
HISTORICO DE CONSUMOS



Recibo mes de diciembre, 2024 - Ed 19 (Piso 1)

Factor	1.00
CONSUMO FACTURADO	**295.00 kWh**
EL COSTO DE kW.h ES: S/ 0.7452	0.7452
Alicuota AP	0.54
El total a pagar incluye recargo Fose(Ley 27510 y Modificatorias)	6.93

HISTORICO DE CONSUMOS



B. Consumo de energía (kW/h) por vivienda, periodo 2024.

				LUZ (KWh)											
Tipo de Vivienda	Zonificación	Código de Vivienda	Cantidad de medidores	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Casa	A	Ca26	1	268	211	241	222	229	212	240	212	220	228	219	261
		Ca29	1	137	101	123	135	149	128	125	82	116	124	110	118
		Ca31	1	345	357	377	389	398	378	415	438	420	373	386	413
		Ca37	1	196	177	187	217	211	207	197	204	209	203	197	169
	B	Ca01	1	166	122	148	148	129	137	139	133	111	111	107	119
		Ca02	1	143	87	110	130	126	111	139	118	127	133	112	126
		Ca05	1	124	71	178	162	227	223	304	251	194	184	221	213
		Ca08	1	116	99	126	117	105	95	99	85	94	103	98	111
		Ca09	1	158	132	160	139	141	132	136	135	139	138	140	143
		Ca10	1	65	64	68	69	71	68	71	65	63	71	62	63
		Ca12	1	100	103	129	118	130	132	141	145	150	166	187	191
		Ca13	1	236	233	230	168	177	169	197	224	171	180	176	202
		Ca14	1	25	25	60	81	96	82	91	41	70	108	95	99
		Ca15	1	88	79	81	76	78	77	104	86	84	85	79	83
		Ca21	1	173	142	148	132	137	127	135	122	125	122	113	124
		Ca22	1	167	140	242	263	246	255	261	245	283	298	272	293
		Ca25	1	106	92	121	122	147	170	182	177	154	138	123	139
		Ca33	1	398	264	366	385	427	412	473	421	418	401	384	444
		Ca35	1	117	126	154	141	145	147	218	157	168	136	157	158
		Ca38	1	1	0	11	11	22	16	10	35	36	38	48	40
Edificio	C	Ed12	1	149	134	144	133	140	143	164	173	149	159	160	156
	D	Ed03	4	109	105	111	105	113	103	108	116	116	120	113	122
				135	144	150	143	139	165	166	149	163	154	132	163
				143	157	131	149	183	186	182	147	149	159	148	160
				38	0	56	56	60	63	65	58	58	61	64	70
		Ed05	4	201	175	153	203	202	189	220	181	208	211	203	243
				0	1	24	69	75	99	85	79	71	101	83	101
				1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
				141	120	137	140	134	128	185	155	139	123	139	165
		Ed10	4	9	0	0	0	11	7	7	8	11	185	237	185
				179	141	208	162	185	188	215	179	196	178	178	218
				84	81	78	83	81	68	58	62	59	118	92	107
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ed11	4	69	51	55	57	58	56	59	57	44	51	55	48
				78	80	84	77	86	78	80	75	75	80	69	93
				35	88	97	127	133	111	124	125	117	110	103	110
				37	35	49	62	53	33	34	35	48	56	51	47
		Ed16	4	0	0	1	2	0	0	19	41	52	63	44	53
				34	54	63	52	47	48	59	58	48	54	60	97
				92	1	57	91	96	85	88	47	79	89	76	82
				126	112	133	119	126	127	131	130	134	119	128	134
		Ed20	1	142	115	112	142	153	144	146	88	107	131	137	147
				28	23	28	20	19	22	18	15	19	18	18	20

		Ed21	2	75	73	66	79	81	57	71	65	64	84	81	86
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ed22	1	99	100	103	103	89	84	111	106	85	114	115	121
	E	Ed01	5	87	81	52	1	0	0	0	0	0	0	3	1
				0	0	0	7	8	0	0	0	0	0	0	0
				79	81	92	101	106	115	111	138	65	13	101	94
				57	0	112	214	156	100	155	279	110	105	12	0
				57	48	73	58	67	54	70	68	76	56	48	68
		Ed19	5	182	154	270	268	294	268	241	243	274	264	232	295
				135	128	145	131	135	158	161	163	130	134	120	152
				40	41	70	80	80	78	76	73	55	83	75	81
				139	118	143	134	173	173	175	157	161	170	155	173
				1	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0
				5910	5066	6257	6393	6676	6411	7061	6647	6415	6703	6518	7101

Anexo 4. *Registro de viviendas participantes en el estudio.*

N°	Zonificación	Código	N° de habitantes por vivienda	¿En qué horario se puede recoger las bolsas de las muestras?	¿Entrega sus residuos inorgánicos a un reciclador?	¿Los residuos orgánicos son usados como alimentos para animales u otros usos?
1	A	Ca26	3	5:00 p.m.	Sí	No
2		Ca29	3	5:00 p.m.	Sí	No
3		Ca31	2	5:00 p.m.	Sí	No
4		Ca37	3	5:00 p.m.	Sí	No
5	B	Ca01	3	7:00 p.m.	Sí	No
6		Ca02	2	5:00 p.m.	Sí	No
7		Ca05	4	5:00 p.m.	Sí	No

8		Ca08	2	7:00 p.m.	Sí	Sí
9		Ca09	3	5:00 p.m.	Sí	No
10		Ca10	3	5:00 p.m.	Sí	Sí
11		Ca12	6	8:00 p.m.	Sí	Si
12		Ca13	4	5:00 p.m.	Sí	No
13		Ca14	3	5:00 p.m.	Sí	No
14		Ca15	2	5:00 p.m.	Sí	No
15		Ca21	2	5:00 p.m.	Sí	No
16		Ca22	2	5:00 p.m.	Sí	No
17		Ca25	9	5:00 p.m.	Sí	Sí
18		Ca33	3	5:00 p.m.	Sí	No
19		Ca35	3	5:00 p.m.	Sí	Si
20		Ca38	4	5:00 p.m.	Sí	No
21	C	Ed12	2	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No

			2	5:00 p.m.	Sí	No
			2	6:00 p.m	Sí	No
			2	5:00 p.m.	Sí	No
22		Ed03	2	6:00 p.m	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
			2	6:00 p.m	Sí	No
			3	6:00 p.m	Sí	No
23		Ed05	4	5:00 p.m.	Sí	No
	D		2	5:00 p.m.	Sí	No
			2	6:00 p.m	Sí	No
			2	5:00 p.m.	Sí	No
24		Ed10	4	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
			4	6:00 p.m	Sí	No
25		Ed11	2	5:00 p.m.	Sí	No

			2	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
26		Ed16	2	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
			2	5:00 p.m.	Sí	No
27		Ed20	2	5:00 p.m.	Sí	Si
28		Ed21	2	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
29		Ed22	3	5:00 p.m.	Sí	No
			1	5:00 p.m.	Sí	No
			1	5:00 p.m.	Sí	No
30	E	Ed01	2	5:00 p.m.	Sí	No
			2	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No

			3	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
31		Ed19	2	5:00 p.m.	Sí	No
			3	5:00 p.m.	Sí	No
			1	6:00 p.m.	Sí	No

Anexo 5. *Ficha de registro de pesos de muestreo para el análisis de composición de residuos sólidos.*

Ca-B-12								
Tipo de residuo Sólido	Día 0 (Kg)	Día 1 (Kg)	Día 2 (Kg)	Día 3 (Kg)	Día 4 (Kg)	Día 5 (Kg)	Día 6 (Kg)	Día 7 (Kg)
1.Residuos Orgánicos								
1.1. Residuos de alimentos		2.50	0.75	1.20	1.65	0.50	0.90	1.45
2. Residuos Inorgánicos								
2.1. Papel								
Blanco		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
Mixto		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.2. Cartón		0.05	0.00	0.00	0.05	0.10	0.10	0.20
2.3. Tetra brik		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
2.4. Plástico		0.10	0.10	0.05	0.10	0.00	0.20	0.55
2.5. Vidrio		0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.10	0.00
2.6. Metales		0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
2.7. Textiles		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ed-D-16 (Piso 2)								
Tipo de residuo Sólido	Día 0 (Kg)	Día 1 (Kg)	Día 2 (Kg)	Día 3 (Kg)	Día 4 (Kg)	Día 5 (Kg)	Día 6 (Kg)	Día 7 (Kg)
1.Residuos Orgánicos								
1.1. Residuos de alimentos		0.75	0.60	0.90	0.25	0.45	1.75	2.35
2. Residuos Inorgánicos								
2.1. Papel								
Blanco		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mixto		1.10	0.20	1.00	0.45	0.55	0.15	0.95
2.2. Cartón		0.15	0.40	0.00	0.15	0.00	0.25	0.10
2.3. Tetra brik		0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
2.4. Plástico		0.15	0.00	0.00	0.25	0.00	0.20	0.10
2.5. Vidrio		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.6. Metales		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.7. Textiles		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 6. *Uso de la Calculadora Pública de Huella de Carbono del MINAM.*

A. Alcances definidos por el MINAM.

Alcance 1 - Emisiones directas		
Nombre	**Descripción**	**Nivel de actividad**
Generación electricidad	Emisiones de GEI, como resultados de la generación de energía eléctrica	Consumo de combustible, por tipo
Generación otra energía	Emisiones de GEI, como resultados de la generación de otro tipo de energía,	Consumo de combustible, por tipo
Transporte propio	Emisiones de GEI, generadas por la quema de combustible en los vehículos privados	Consumo de combustible, por tipo
Refrigerantes	Emisiones de GEI, generadas por la liberación del gas refrigerante.	Fugas de refrigerantes, por uso y tipo
Uso de fertilizante	Emisiones de Oxido Nitroso (N2O) generadas por el uso de fertilizantes	Cantidad y tipo de fertilizantes usados
Crianza de ganado	Emisiones de metano (CH4) generadas por la fermentación entérica	Cantidad y tipo de ganado en las instalaciones
Fugas de SF6	Fugas de SF6 en los equipos de transformación y distribución. Aplica para empresas de generación y T&D	Fugas de hexafluoruro de azufre
Fugas de PFCs	Fugas de PFC en los equipos o contenedores	Fugas de perfluorocarbonados
Otras fuentes	Esta hoja permite **resumir los cálculos** de emisiones GEI de otras **fuentes directas**, no incluida en la HC Perú	

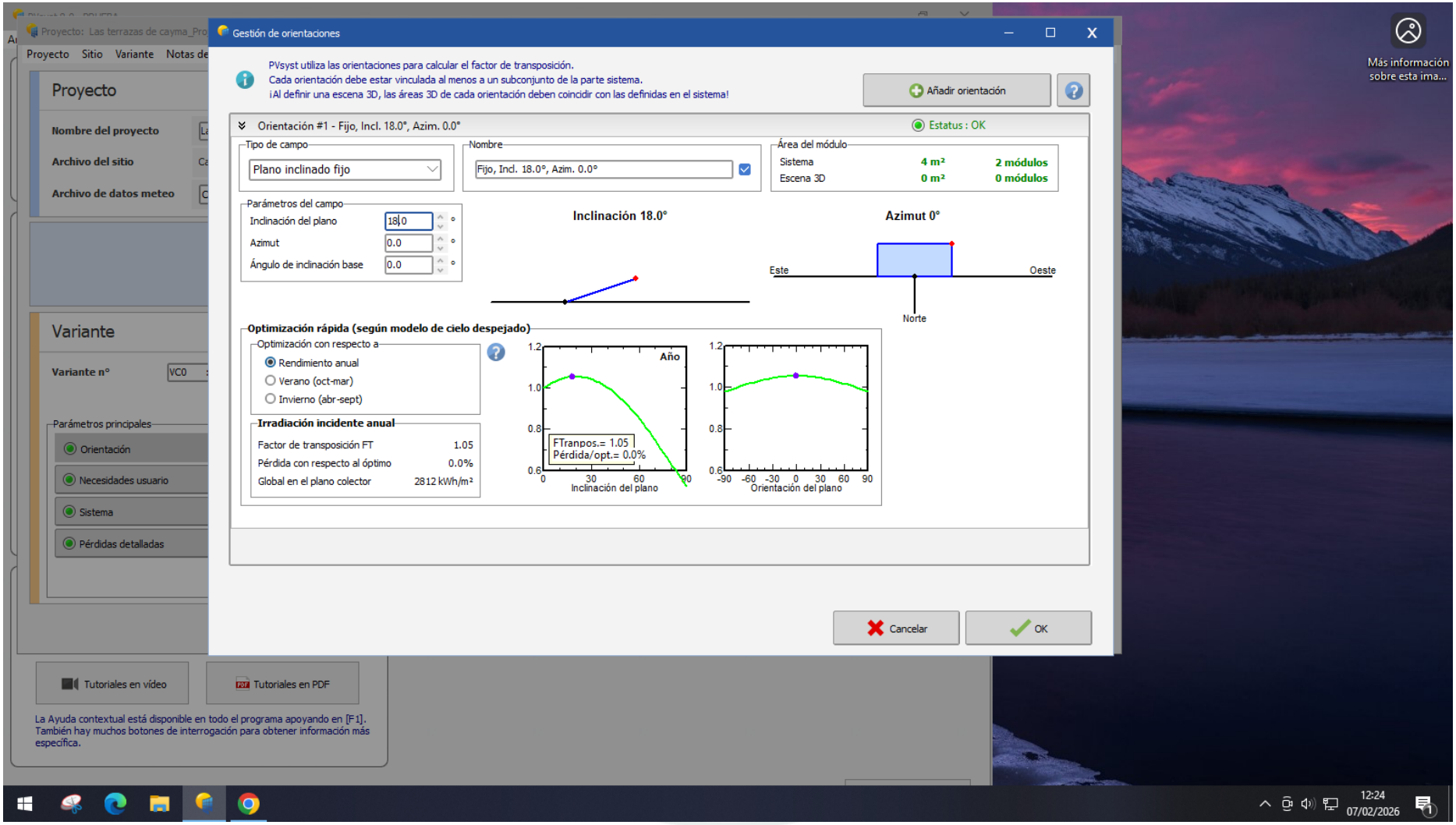
Alcance 2 - Emisiones indirectas por consumo de energía generada por un tercero		
Nombre	**Descripción**	**Nivel de actividad**
Consumo de electricidad del SEIN	Emisiones GEI, generadas por el consumo de energía eléctrica del SEIN	Consumo mensual de electricidad
Pérdidas por T&D	Pérdidas de energía eléctrica, generadas en la transmisión y distribución, hasta el usuario final. Aplica para empresas que **transmiten y distribuyen** energía eléctrica.	Pérdidas mensuales de electricidad
Consumo de otra energía	Esta te permite ingresar las emisiones indirecta por el consumo de otra energía (no eléctrica), generada por un tercero	Ingresar las emisiones GEI estimadas
Otras fuentes	Esta hoja permite **resumir los cálculos** de emisiones de GEI de otras **fuentes indirectas, de Alcance 2**, no incluidas en la HC Perú	

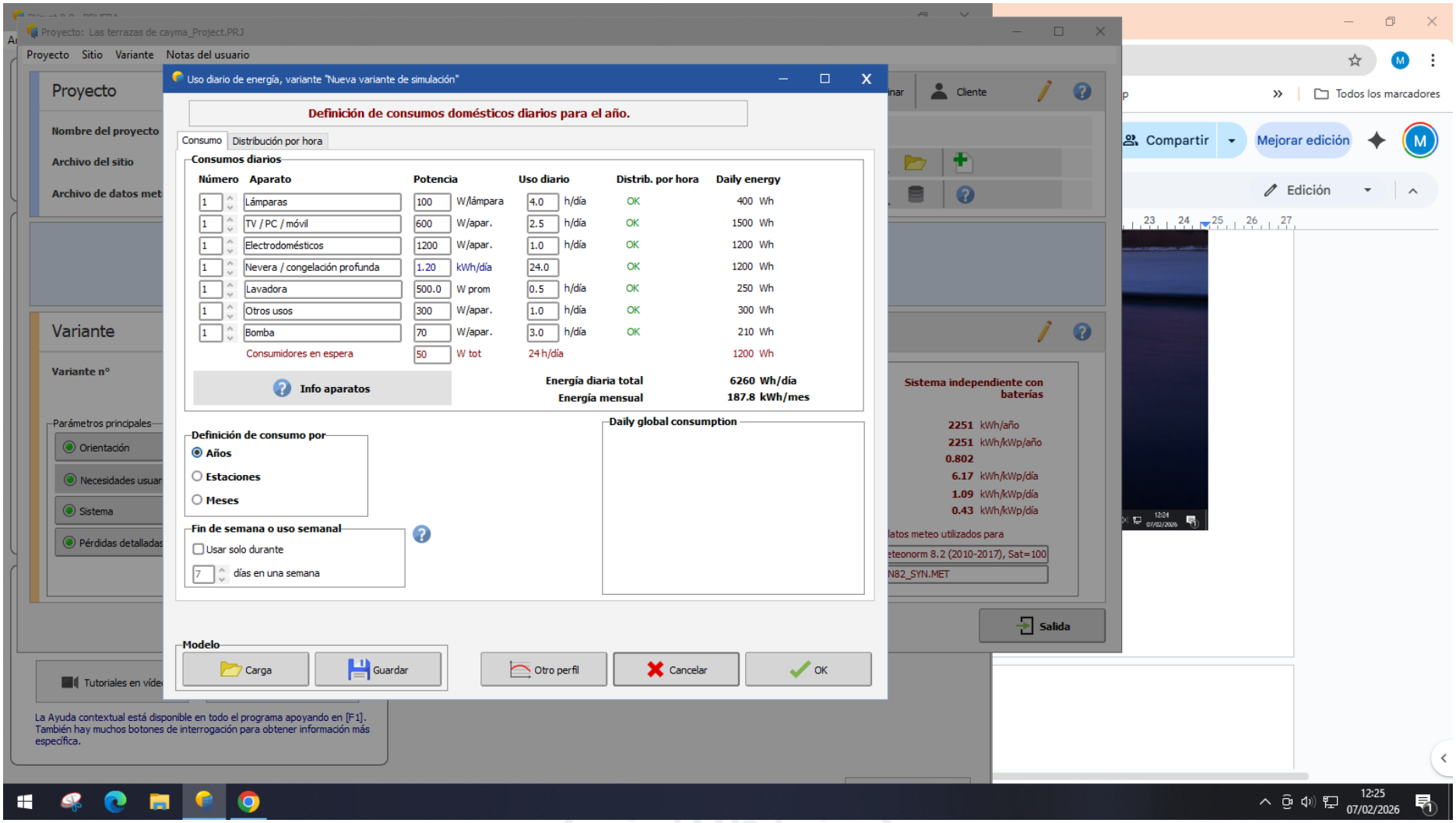
Alcance 3 - Otras emisiones indirectas		
Nombre	**Descripción**	**Nivel de actividad**
Transporte casa-trabajo	Emisiones GEI, generadas por la combustión vehicular en el transporte local	Distancias recorridas y tipo de transporte
Transporte aéreo	Emsiones GEI, generadas por la quema de combustible Jet A1 en el transporte aéreo	Distancias recorridas
Transporte terrestre	Emisiones GEI, generadas por la combustión vehicular en el transporte interprovincial o departamental	Distancias recorridas
Consumo de papel	Emsiones GEI, generadas por la compra de papel en las instituciones	Cantidad de papel consumido
Consumo de agua	Emisiones GEI, generadas por las actividades para obtener agua potable en la red.	Consumo mensual de agua de la red
Transporte de insumos	Emisiones de GEI generadas por el consumo de combustible en el servicio de transporte de carga.	Distancia recorrida y peso de carga
Generación de residuos	Son emisiones de metano, que se generan por la descomposición de algunos residuos, en condiciones anaerobias.	Cantidad y tipo de residiuos
Generación de NF3	Emisiones indirectas de trifluoruro de nitrogeno, empleado en la fabricación de pantallas plasma	Cantidad y medidas de pantallas plasma
Otras fuentes	Esta hoja permite **resumir los cálculos** de emisiones de GEI de otras **fuentes indirectas, de Alcance 3**, no incluida en la HC Perú	

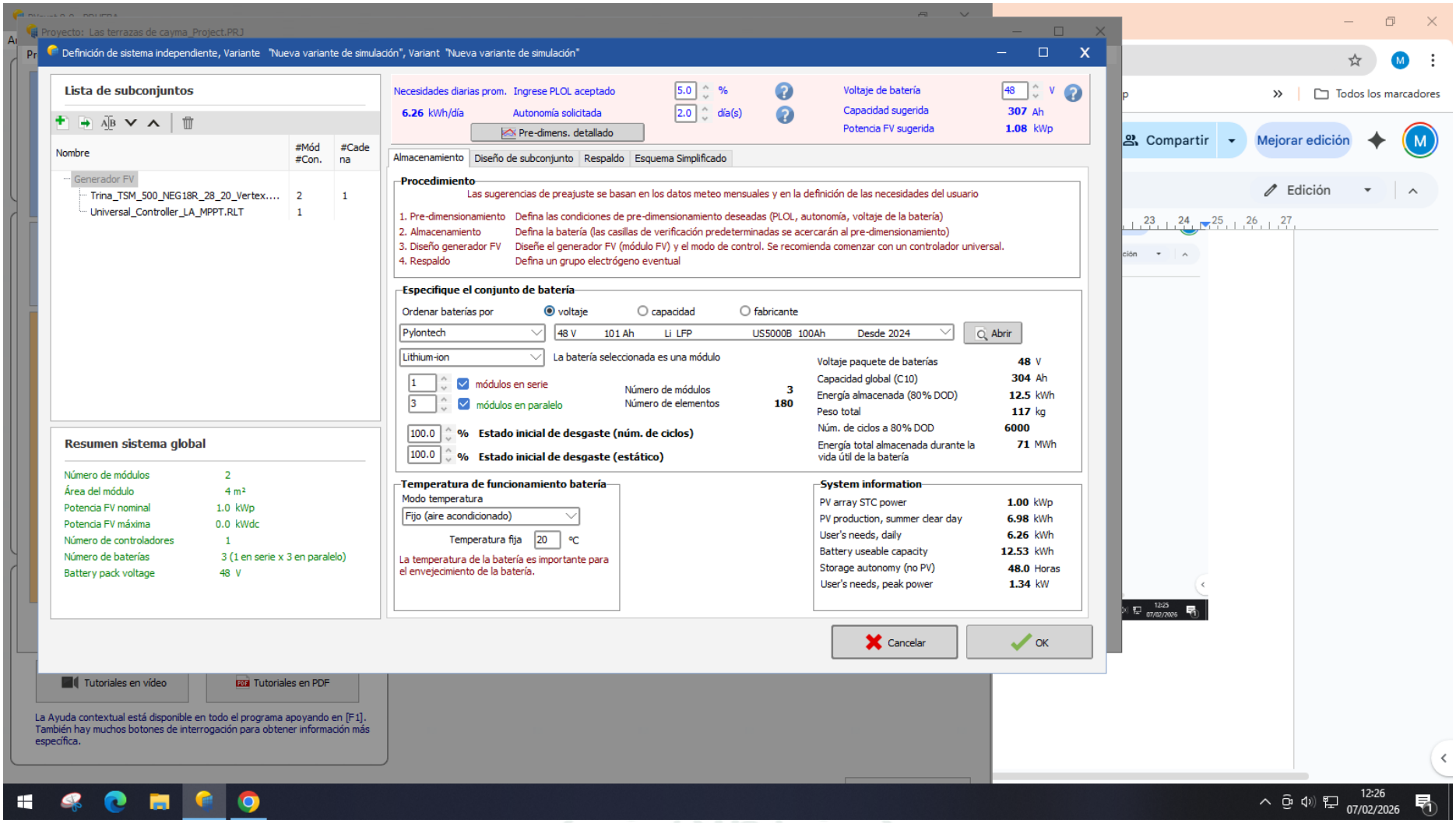
B. Resumen del cálculo de la Huella de Carbono.

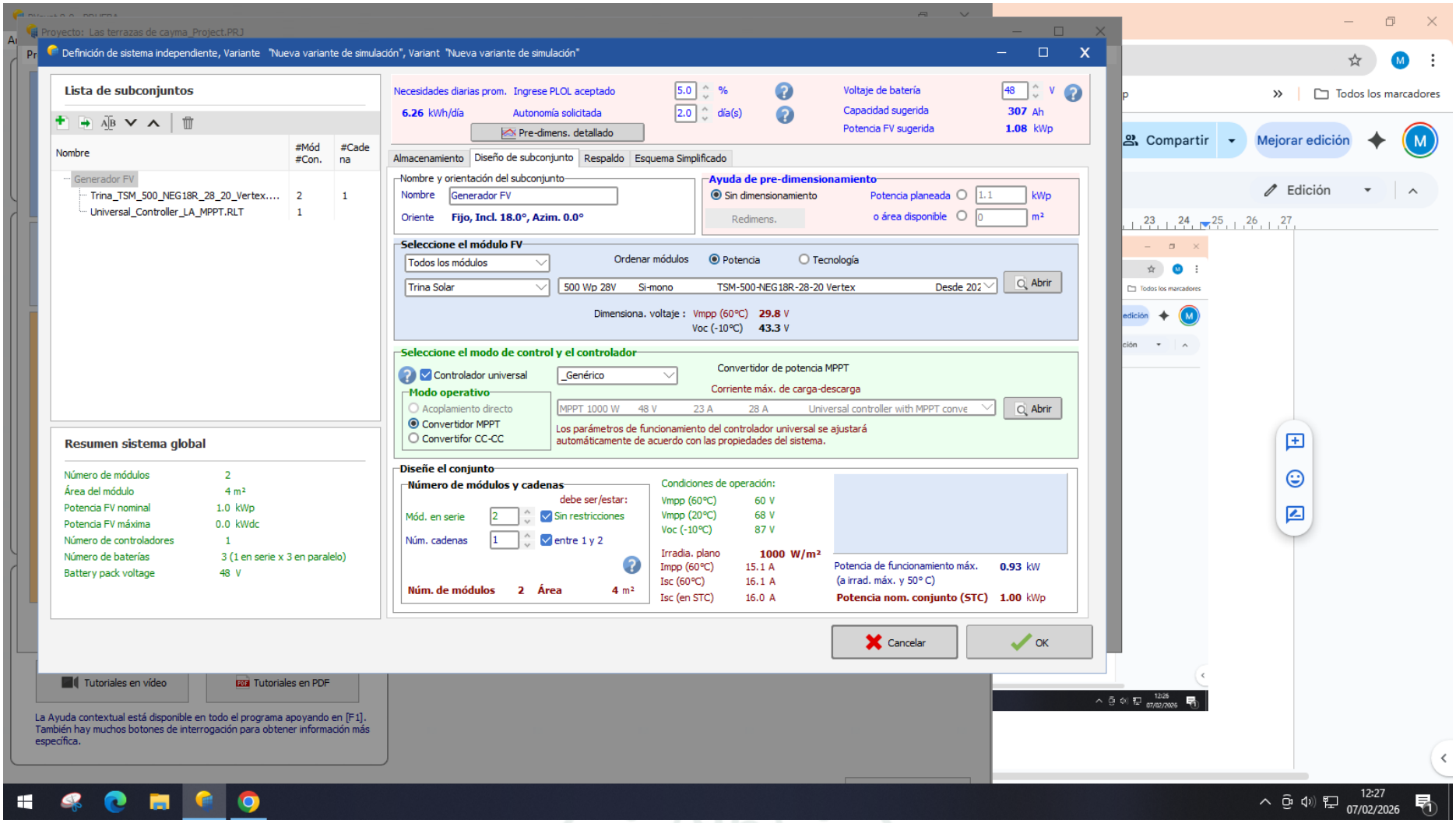
Alcances	Dioxido de carbono [tCO2]	Metano [tCH4]	Óxido Nitroso [tN2O]	Hexafluoruro de azufre [tSF6]	Hidrofluorocarbonos [tHFC]	Perfluorocarbonos [tPFC]	Trifluoruro de nitrógeno [tNF3]	Emisiones GEI [tCO2e]	Participación general [%]
Alcance 1								0.00	0.00%
Generación electricidad	0.00	0.0000	0.0000					0.00	0.00%
Generación otra energía	0.00	0.0000	0.00000					0.00	0.00%
Fuentes fijas biogénicas		0.0000	0.00000					0.00	
Transporte propio	0.00	0.0000	0.0000					0.00	0.00%
Fuentes móviles biogénicas		0.0000	0.00000					0.00	
Refrigerantes					0.0000			0.00	0.00%
Uso de fertilizante			0.00					0.00	0.00%
Crianza de ganado		0.00	0.00					0.00	0.00%
Fugas de SF6				0.0000				0.00	0.00%
Fugas de PFCs						0.00		0.00	0.00%
Otras fuentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%
Alcance 2								13.18	65.99%
Consumo de electricidad del SEIN (en KWh)	13.13	0.00	0.000					13.18	65.99%
Pérdidas por T&D	0.00	0.00	0.00					0.00	0.00%
Generación otra energía	0.00	0.00	0.00					0.00	0.00%
Otras fuentes	0.00	0.00	0.00					0.00	0.00%
Alcance 3								6.79	34.01%
Transporte casa-trabajo	0.00	0.0000	0.0000					0.00	0.00%
Transporte aéreo								0.00	0.00%
Transporte terrestre	0.00	0.0000	0.0000					0.00	0.00%
Consumo de papel								0.00	0.00%
Consumo de agua potable de la red pública (en m3)								3.15	15.79%
Transporte de insumos								0.00	0.00%
Generación de residuos sólidos		0.1300						3.64	18.22%
Generación de NF3							0.00	0.00	0.00%
Otras fuentes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%
TOTAL HUELLA DE CARBONO	**13.13**	**0.13**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**19.97**	**100%**

Anexo 7. *Modelamiento Fotovoltaico.*




Proyecto: Las terrazas de cayma_Project.PRJ
Proyecto Sitio Variante Notas del usuario
Proyecto
Nombre del proyecto
Archivo del sitio
Archivo de datos met
Variante
Variante nº
Parámetros principales
Orientación
Necesidades usuar
Sistema
Pérdidas detalladas
Tutoriales en víde
La Ayuda contextual está disponible en todo el programa apoyando en [F1]. También hay muchos botones de interrogación para obtener información más específica.
Uso diario de energía, variante "Nueva variante de simulación"
Definición de consumos domésticos diarios para el año.
Consumo
Distribución por hora
Consumos diarios
Número Aparato Potencia Uso diario Distrib. por hora Daily energy
1 Lámparas 100 W/lámpara 4.0 h/día OK 400 Wh
1 TV / PC / móvil 600 W/apar. 2.5 h/día OK 1500 Wh
1 Electrodomésticos 1200 W/apar. 1.0 h/día OK 1200 Wh
1 Nevera / congelación profunda 1.20 kWh/día 24.0 OK 1200 Wh
1 Lavadora 500.0 W prom 0.5 h/día OK 250 Wh
1 Otros usos 300 W/apar. 1.0 h/día OK 300 Wh
1 Bomba 70 W/apar. 3.0 h/día OK 210 Wh
Consumidores en espera 50 W tot 24 h/día 1200 Wh
Info aparatos
Energía diaria total 6260 Wh/día
Energía mensual 187.8 kWh/mes
Definición de consumo por
Años
Estaciones
Meses
Fin de semana o uso semanal
Usar solo durante
7 días en una semana
Daily global consumption
Modelo
Carga
Guardar
Otro perfil
Cancelar
OK
Cliente
Sistema independiente con baterías
2251 kWh/año
2251 kWh/kWp/año
0.802
6.17 kWh/kWp/día
1.09 kWh/kWp/día
0.43 kWh/kWp/día
Salida
Compartir
Mejorar edición
Edición
Todos los marcadores
12:25
07/02/2026


Proyecto: Las terrazas de cayma_Project.PRJ
Definición de sistema independiente, Variante "Nueva variante de simulación", Variant "Nueva variante de simulación"
Lista de subconjuntos
Nombre
#Mód #Con.
#Cadena
Generador FV
Trina_TSM_500_NEG18R_28_20_Vertex....
Universal_Controller_LA_MPPT.RLT
Resumen sistema global
Número de módulos 2
Área del módulo 4 m²
Potencia FV nominal 1.0 kWp
Potencia FV máxima 0.0 kWdc
Número de controladores 1
Número de baterías 3 (1 en serie x 3 en paralelo)
Battery pack voltage 48 V
Necesidades diarias prom. 6.26 kWh/día
Ingrese PLOL aceptado 5.0 %
Autonomía solicitada 2.0 día(s)
Pre-dimens. detallado
Voltaje de batería 48 V
Capacidad sugerida 307 Ah
Potencia FV sugerida 1.08 kWp
Almacenamiento
Diseño de subconjunto
Respaldo
Esquema Simplificado
Procedimiento
Las sugerencias de preajuste se basan en los datos meteo mensuales y en la definición de las necesidades del usuario
1. Pre-dimensionamiento Defina las condiciones de pre-dimensionamiento deseadas (PLOL, autonomía, voltaje de la batería)
2. Almacenamiento Defina la batería (las casillas de verificación predeterminadas se acercarán al pre-dimensionamiento)
3. Diseño generador FV Diseñe el generador FV (módulo FV) y el modo de control. Se recomienda comenzar con un controlador universal.
4. Respaldo Defina un grupo electrógeno eventual
Especifique el conjunto de batería
Ordenar baterías por voltaje capacidad fabricante
Pylontech
48 V 101 Ah Li LFP US5000B 100Ah Desde 2024
Abrir
Lithium-ion
La batería seleccionada es una módulo
módulos en serie
módulos en paralelo
Número de módulos 3
Número de elementos 180
Estado inicial de desgaste (núm. de ciclos)
Estado inicial de desgaste (estático)
Voltaje paquete de baterías 48 V
Capacidad global (C10) 304 Ah
Energía almacenada (80% DOD) 12.5 kWh
Peso total 117 kg
Núm. de ciclos a 80% DOD 6000
Energía total almacenada durante la vida útil de la batería 71 MWh
Temperatura de funcionamiento batería
Modo temperatura
Fijo (aire acondicionado)
Temperatura fija 20 °C
La temperatura de la batería es importante para el envejecimiento de la batería.
System information
PV array STC power 1.00 kWp
PV production, summer clear day 6.98 kWh
User's needs, daily 6.26 kWh
Battery useable capacity 12.53 kWh
Storage autonomy (no PV) 48.0 Horas
User's needs, peak power 1.34 kW
Cancelar
OK
Tutoriales en vídeo
Tutoriales en PDF
La Ayuda contextual está disponible en todo el programa apoyando en [F1]. También hay muchos botones de interrogación para obtener información más específica.
Compartir
Mejorar edición
Edición
Todos los marcadores
12:26
07/02/2026


Proyecto: Las terrazas de cayma_Project.PRJ
Definición de sistema independiente, Variante "Nueva variante de simulación", Variant "Nueva variante de simulación"
Lista de subconjuntos
Nombre
#Mód #Con.
#Cadena
Generador FV
Trina_TSM_500_NEG18R_28_20_Vertex....
Universal_Controller_LA_MPPT.RLT
Resumen sistema global
Número de módulos 2
Área del módulo 4 m²
Potencia FV nominal 1.0 kWp
Potencia FV máxima 0.0 kWdc
Número de controladores 1
Número de baterías 3 (1 en serie x 3 en paralelo)
Battery pack voltage 48 V
Necesidades diarias prom. 6.26 kWh/día
Ingrese PLOL aceptado 5.0 %
Autonomía solicitada 2.0 día(s)
Pre-dimens. detallado
Voltaje de batería 48 V
Capacidad sugerida 307 Ah
Potencia FV sugerida 1.08 kWp
Almacenamiento
Diseño de subconjunto
Respaldo
Esquema Simplificado
Nombre y orientación del subconjunto
Nombre Generador FV
Oriente Fijo, Incl. 18.0°, Azim. 0.0°
Ayuda de pre-dimensionamiento
Sin dimensionamiento
Potencia planeada 1.1 kWp
Redimens.
o área disponible 0 m²
Seleccione el módulo FV
Todos los módulos
Ordenar módulos Potencia Tecnología
Trina Solar
500 Wp 28V Si-mono TSM-500-NEG18R-28-20 Vertex Desde 202
Abrir
Dimensiona. voltaje : Vmpp (60°C) 29.8 V
Voc (-10°C) 43.3 V
Seleccione el modo de control y el controlador
Controlador universal
_Genérico
Convertidor de potencia MPPT
Corriente máx. de carga-descarga
Modo operativo
Acoplamiento directo
Convertidor MPPT
Convertifor CC-CC
MPPT 1000 W 48 V 23 A 28 A Universal controller with MPPT conve
Abrir
Los parámetros de funcionamiento del controlador universal se ajustará automáticamente de acuerdo con las propiedades del sistema.
Diseñe el conjunto
Número de módulos y cadenas
debe ser/estar:
Mód. en serie 2 Sin restricciones
Núm. cadenas 1 entre 1 y 2
Núm. de módulos 2 Área 4 m²
Condiciones de operación:
Vmpp (60°C) 60 V
Vmpp (20°C) 68 V
Voc (-10°C) 87 V
Irradia. plano 1000 W/m²
Impp (60°C) 15.1 A
Isc (60°C) 16.1 A
Isc (en STC) 16.0 A
Potencia de funcionamiento máx. (a irrad. máx. y 50° C) 0.93 kW
Potencia nom. conjunto (STC) 1.00 kWp
Cancelar
OK
Tutoriales en vídeo
Tutoriales en PDF
La Ayuda contextual está disponible en todo el programa apoyando en [F1]. También hay muchos botones de interrogación para obtener información más específica.
Todos los marcadores
Compartir
Mejorar edición
Edición
12:27
07/02/2026

Anexo 8. *Cálculo huella hídrica.*

A. Cálculo de la huella hídrica antes de aplicar el sistema de recirculación de agua.

Tipo de Vivienda	Zonificación	Código de Vivienda	Cantidad de medidores	Huella hídrica azul (m^3)	Huella hídrica gris (m^3) tomando como base la DBO	Huella hídrica verde (m^3)	Huella Hídrica total
Casa	A	Ca26	1	157.00	4322.20	3.30	4482.48
		Ca29	1	127.00	3496.30	3.30	3626.58
		Ca31	1	402.00	11067.10	3.30	11472.33
		Ca37	1	153.00	4212.10	3.30	4368.36
	B	Ca01	1	105.00	2890.70	3.30	2998.92
		Ca02	1	229.00	6304.40	3.30	6536.64
		Ca05	1	276.00	7598.30	3.30	7877.55
		Ca08	1	364.00	10020.90	3.30	10388.19
		Ca09	1	252.00	6937.60	3.30	7192.83

		Ca10	1	93.00	2560.30	3.30	2656.56
		Ca12	1	289.00	7956.20	3.30	8248.44
		Ca13	1	121.00	3331.10	3.30	3455.40
		Ca14	1	375.00	10323.80	3.30	10702.02
		Ca15	1	213.00	5863.90	3.30	6080.16
		Ca21	1	291.00	8011.20	3.30	8305.50
		Ca22	1	272.00	7488.20	3.30	7763.43
		Ca25	1	336.00	9250.10	3.30	9589.35
		Ca33	1	401.00	11039.50	3.30	11443.8
		Ca35	1	131.00	3606.40	3.30	3740.70
		Ca38	1	33.00	908.50	3.30	944.76
Edificio	C	Ed12	3	26.00	715.80	0.00	741.78
				47.00	1293.90	0.00	1340.91

		187.00	5148.10	0.00	5335.11
Ed03	4	286.00	7873.60	0.00	8159.58
		131.00	3606.40	0.00	3737.43
		73.00	2009.70	0.00	2082.69
		226.00	6221.80	0.00	6447.78
Ed05	3	283.00	7791.00	0.00	8073.99
		108.00	2973.20	0.00	3081.24
		121.00	3331.10	0.00	3452.13
Ed10	1	465.00	12801.50	0.00	13266.45
Ed11	4	103.00	2835.60	0.00	2938.59
		100.00	2753.00	0.00	2853.00
		212.00	5836.40	0.00	6048.36
		100.00	2753.00	0.00	2853.00

			120.00	3303.60	0.00	3423.60
	Ed16	3	100.00	2753.00	0.00	2853.00
			153.00	4212.10	0.00	4365.09
	Ed20	1	123.00	3386.20	0.00	3509.19
	Ed21	2	155.00	4267.20	0.00	4422.15
			259.00	7130.30	0.00	7389.27
	Ed22	1	99.00	2725.50	0.00	2824.47
			20.00	550.60	0.00	570.60
			69.00	1899.60	0.00	1968.57
	Ed01	5	184.00	5065.50	0.00	5249.52
E			160.00	4404.80	0.00	4564.80
			11.00	302.80	0.00	313.83
	Ed19	5	34.00	936.00	0.00	970.02

	134.00	3689.00	0.00	3823.02
	178.00	4900.30	0.00	5078.34
	138.00	3799.10	0.00	3937.14
	140.00	3854.20	0.00	3994.20
TOTAL	9165.00	252312.45	65.40	261542.85

B. Cálculo de la huella hídrica después de aplicar el sistema de recirculación de agua.

1. Cálculo de ahorro por vivienda unifamiliar y multifamiliar.

Casas				Edificios			
Uso	**Sin reciclaje (m^3/año)**	**Con reciclaje (m^3/año)**	**Ahorro (m^3/año)**	**Uso**	**Sin reciclaje (m^3/año)**	**Con reciclaje (m^3/año)**	**Ahorro (m^3/año)**
Inodoros	19.7	0.0	19.7	**Inodoros**	19.7	0.0	19.7
Duchas + lavamanos + lavadora	47.3	47.3	0.0	**Duchas + lavamanos + lavadora**	47.3	47.3	0.0

Cocina	15.8	15.8	0.0	**Cocina**	15.8	15.8	0.0
Pérdidas / fugas	7.9	7.9	0.0	**Pérdidas / fugas**	7.9	7.9	0.0
Riego jardín	17.3	0.0	17.3				
TOTAL	108.0	71.0	37.0	**TOTAL**	90.7	71.0	19.7
		Reducción	34%			**Reducción**	22%

2. Cálculo de la huella hídrica considerando el ahorro estimado.

Tipo de Vivienda	Zonificación	Código de Vivienda	Cantidad de medidores	Huella hídrica azul (m^3)	Huella hídrica gris (m^3) tomando como base la DBO	Huella hídrica verde (m^3)	Huella hídrica total	% Reducción
Casa	A	Ca26	1	103.60	3078.9	3.30	3185.8	29%
		Ca29	1	83.80	2490.6	3.30	2577.7	29%
		Ca31	1	265.30	7883.6	3.30	8152.2	29%
		Ca37	1	101.00	3000.5	3.30	3104.7	29%

	Ca01	1	69.30	2059.2	3.30	2131.7	29%
	Ca02	1	151.10	4490.9	3.30	4645.3	29%
	Ca05	1	182.20	5412.6	3.30	5598.1	29%
	Ca08	1	240.20	7138.4	3.30	7381.9	29%
	Ca09	1	166.30	4942.0	3.30	5111.6	29%
	Ca10	1	61.40	1823.8	3.30	1888.5	29%
B	Ca12	1	190.70	5667.6	3.30	5861.6	29%
	Ca13	1	79.90	2372.9	3.30	2456.1	29%
	Ca14	1	247.50	7354.1	3.30	7604.9	29%
	Ca15	1	140.60	4177.1	3.30	4321.0	29%
	Ca21	1	192.10	5706.8	3.30	5902.1	29%
	Ca22	1	179.50	5334.2	3.30	5517.0	29%
	Ca25	1	221.80	6589.3	3.30	6814.3	29%

		Ca33	1	264.70	7864.0	3.30	8131.9	29%
		Ca35	1	86.50	2569.0	3.30	2658.8	29%
		Ca38	1	21.80	647.2	3.30	672.2	29%
Edificio	C	Ed03	4	20.30	602.6	0.00	622.9	16%
				36.70	1089.3	0.00	1126.0	16%
				145.90	4334.0	0.00	4479.9	16%
				223.10	6628.5	0.00	6851.6	16%
				102.20	3036.1	0.00	3138.3	16%
				56.90	1691.9	0.00	1748.8	16%
				176.30	5237.9	0.00	5414.2	16%
		Ed05	3	220.70	6559.0	0.00	6779.7	16%
				84.20	2503.1	0.00	2587.3	16%
				94.40	2804.4	0.00	2898.8	16%

	Ed10	1	362.70	10777.1	0.00	11139.8	16%
	Ed11	4	80.30	2387.2	0.00	2467.5	16%
			78.00	2317.7	0.00	2395.7	16%
			165.40	4913.5	0.00	5078.8	16%
			78.00	2317.7	0.00	2395.7	16%
	Ed16	3	93.60	2781.2	0.00	2874.8	16%
			78.00	2317.7	0.00	2395.7	16%
			119.30	3546.0	0.00	3665.4	16%
	Ed20	1	95.90	2850.7	0.00	2946.7	16%
	Ed21	2	120.90	3592.4	0.00	3713.3	16%
			202.00	6002.8	0.00	6204.8	16%
	Ed22	1	77.20	2294.5	0.00	2371.7	16%
E	Ed01	5	15.60	463.5	0.00	479.1	16%

		53.80	1599.2	0.00	1653.0	16%
		143.50	4264.5	0.00	4408.0	16%
		124.80	3708.3	0.00	3833.1	16%
		8.60	254.9	0.00	263.5	16%
		26.50	788.0	0.00	814.5	16%
		104.50	3105.7	0.00	3210.2	16%
Ed19	5	138.80	4125.4	0.00	4264.3	16%
		107.60	3198.4	0.00	3306.0	16%
		109.20	3244.7	0.00	3353.9	16%
	TOTAL	6594.30	195940.8	65.40	202600.5	23%

C. Datos meteorológicos utilizados para el cálculo de la huella hídrica verde.

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/02/2024	26.6	15.2	54.7	0
2/02/2024	25.8	15	63	0
3/02/2024	26	13	65.1	0
4/02/2024	26.2	13.4	62.8	0
5/02/2024	25.4	12.4	73.9	4.1
6/02/2024	24.8	12.2	71.4	0
7/02/2024	26.8	13.2	73.2	0
8/02/2024	26.8	13.8	71.6	0
9/02/2024	28	12.4	60.4	0
10/02/2024	26.4	13	63.7	0

11/02/2024	26.6	13.6	62.7	0
12/02/2024	26.2	14.8	66.5	0
13/02/2024	26.4	12.8	67.2	0
14/02/2024	27.6	12.6	47.7	0
15/02/2024	28.8	15.2	48.9	0.3
16/02/2024	28.4	15	57.2	0
17/02/2024	26.6	16.8	66.3	0
18/02/2024	27.2	16	60.1	0.4
19/02/2024	26.8	15	70.4	0.1
20/02/2024	24.6	14.4	72.7	5.3
21/02/2024	19.4	11.8	80.9	0
22/02/2024	23.8	11.2	67.7	0
23/02/2024	23.2	10	70	0.1

24/02/2024	23.2	13.4	79.4	8.9
25/02/2024	21	13.2	84.7	5.1
26/02/2024	19.2	13.2	88.1	6.8
27/02/2024	22.8	13.8	80.4	0.1
28/02/2024	24.8	14.8	74.1	0
29/02/2024	25	15.4	67.5	0.2
1/03/2024	21.8	15.2	67.2	1.2
2/03/2024	24	13.8	72.7	0.4
3/03/2024	23	15	73.3	0
4/03/2024	23.6	12.6	78	0
5/03/2024	23.8	13.4	76.1	5.1
6/03/2024	25.2	13.2	70.1	0
7/03/2024	25	13.2	74.3	11.2

8/03/2024	25	13.6	74	0
9/03/2024	25.6	14.4	62.4	0
10/03/2024	24	14.2	63.7	0
11/03/2024	26.2	14	57.6	0
12/03/2024	27.2	15	57.7	0
13/03/2024	28.2	15.6	59.6	0
14/03/2024	26	16.2	59.7	0
15/03/2024	26.8	14	69.8	0
16/03/2024	25.8	13.8	72.1	0
17/03/2024	26.8	15.8	69	0
18/03/2024	25.2	15.2	62.3	0
19/03/2024	26.8	14.8	65.5	0
20/03/2024	25.4	12	71.7	2.2

21/03/2024	25.2	12.4	68.4	0
22/03/2024	23.8	13.4	70.4	0
23/03/2024	25	12.8	69.1	0
24/03/2024	25.4	12.8	63.5	0
25/03/2024	25.2	14	56.3	0
26/03/2024	23.2	14.6	67.3	10.1
27/03/2024	23	11.8	68.1	0.2
28/03/2024	23.8	13.8	65.7	0
29/03/2024	24.4	12.8	66.4	0
30/03/2024	25.4	12	60.7	0
31/03/2024	26	13.8	59.9	0

Anexo 9. *Panel Fotográfico.*

A. MEDIDORES DE AGUA



Nota: a. Medidor Ed 05 (Piso 3); b. Medidor Ed 12 (Piso 2); c. Medidor Ca 37; d. Medidor Ed 21 (Piso 1); e. Medidores Ed 03; f. Medidor Ed 11 (Piso 1).

B. MEDIDORES DE LUZ



Nota: a. Medidor Ed 05 (Piso 1); b. Medidor Ca 26; c. Medidor Ca 33; d. Medidor Ca 05; e. Medidores Ed 01 y Ed 19; f. Medidores Ed 05.

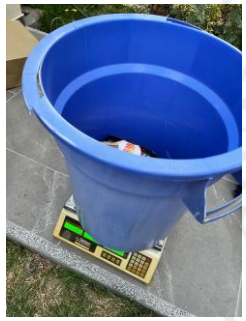
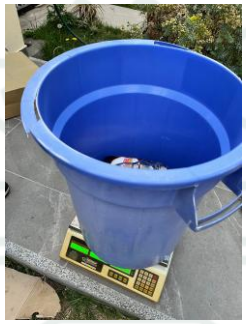
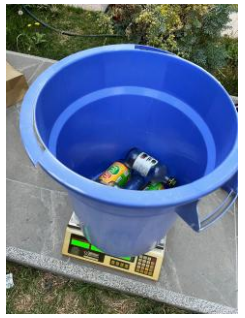
C. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS



Nota: a. Rotulado de bolsas; b., c., d. y e.; Recolección y segregación de residuos muestreados.

Papel Blanco						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**
						
Papel Mixto						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**
						
Cartón						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**

						
Tetra Brik						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**
						
Plástico						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**

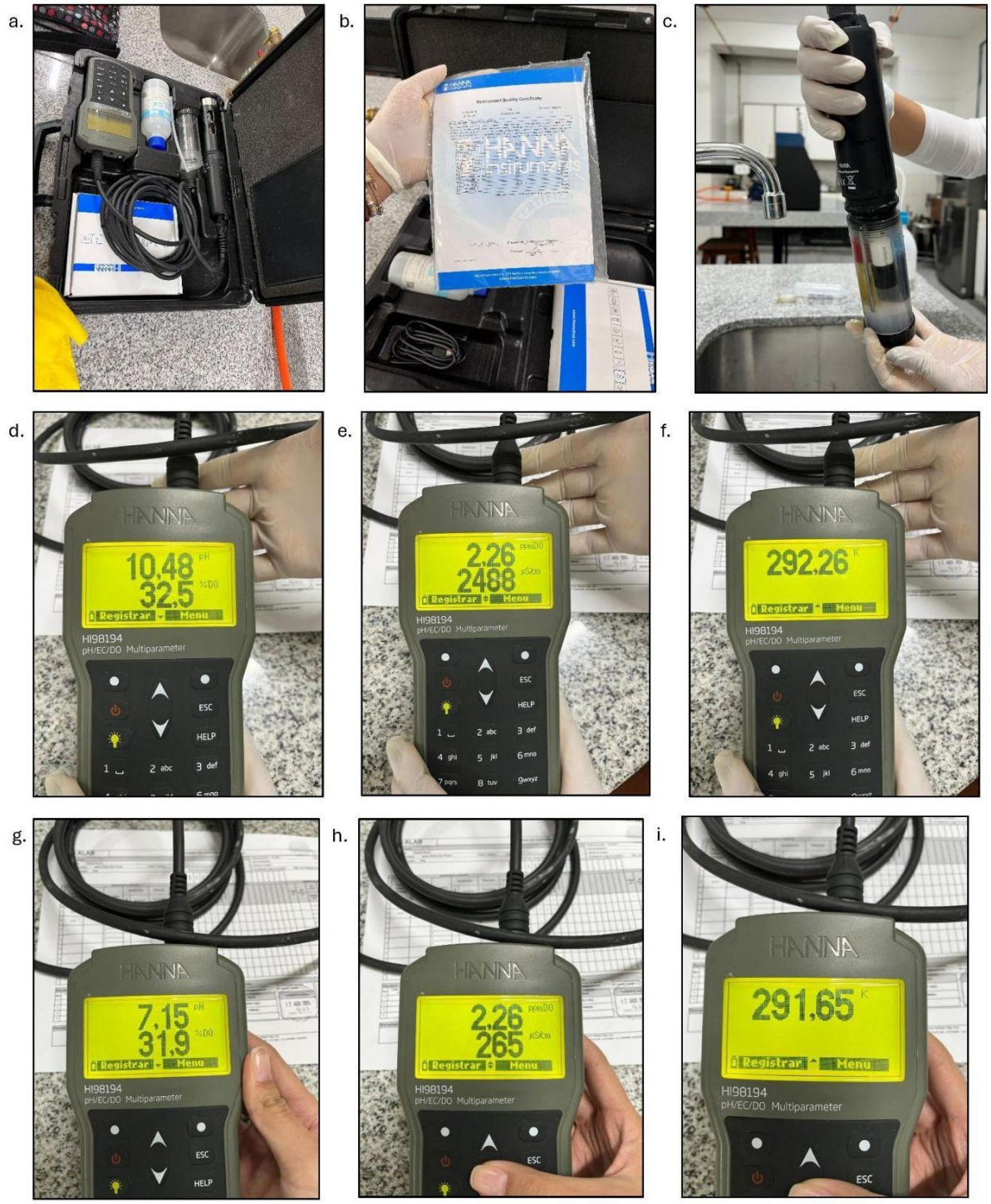
						
Vidrio						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**
						
Metales						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**

						
Textiles						
Día 1	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**	**Día 6**	**Día 7**
	NO HUBO GENERACIÓN		NO HUBO GENERACIÓN			NO HUBO GENERACIÓN

D. Análisis de aguas residuales provenientes de ducha y lavadora.



Nota: a. Toma de muestra de agua residual de lavadora; b. Toma de muestra de agua residual de ducha; c.,d.,e.,f. Preparación de muestras para enviar a laboratorio.



Nota: a.,b. Preparación del multiparámetro; c. Uso del multiparámetro para la medición de la muestra de agua residual; d.,e.,f. Resultados de los parámetros de agua residual de lavadora; g.,h.,i. Resultados de los parámetros de agua residual de ducha.

Anexo 10. *Fórmula eficiencia de paneles solares.*

$$\eta = \frac{P_{máx}}{G*A}\ x\ 100$$

Dónde:
η*:* eficiencia del panel
$P_{máx}$: potencia nominal (Wp)
G: irradiancia estándar (W/m^2)
A: área del módulo (m^3)

Anexo 11. *Análisis estadístico proyección futura.*

Datos base 2024 — Total en urbanización

Periodo 2024	Consumo Agua (m³)	Consumo Residuos (kg)	Energía (kWh)
Enero	716	636.2	5910
Febrero	642	77.88	5066
Marzo	674	589.19	6257
Abril	801	82.06	6393
Mayo	771	584.83	6676
Junio	741	85.97	6411
Julio	778	616.07	7061
Agosto	917	103.28	6647
Setiembre	731	576.9	6415
Octubre	797	98.02	6703
Noviembre	776	592.55	6518
Diciembre	821	120.12	7101
TOTAL 2024	**9165**	**4163.07**	**77158**

Análisis estadístico — Consumo mensual 2024

Indicador	Agua (m³)	Residuos (kg)	Energía (kWh)
Media mensual	763.75	346.9225	6429.833333
Mediana mensual	773.5	348.51	6466.5
Desviación estándar (pobl.)	68.56277537	252.9861001	516.4832739
Mínimo mensual	642	77.88	5066
Máximo mensual	917	636.2	7101
Coeficiente de variación (%)	0.089771228	0.729229439	0.080326075
Total anual 2024	9165	4163.07	77158

Supuestos del modelo

Origen	Agua (m³)	Residuos (kg)	Energía (kWh)
Línea base 2024 (total anual)	9165	4163.07	77158

Meta de reducción a 5 años	0.23	0.1878	0.7614
Tasa de reducción ANUAL constante (r)	0.05093022	0.040748257	0.249183016

Proyección anual 2024-2034

Año	n (años)	Agua (m^3)	Residuos (kg)	Energía (kWh)
2024	0	9165	4163.07	77158
2025	1	8698.224536	3993.432154	57931.53682
2026	2	8255.222048	3830.706755	43495.98173
2027	3	7834.781775	3674.612131	32657.5218
2028	4	7435.754617	3524.878092	24519.82201
2029	5	7057.05	3381.245454	18409.8988
2030	6	6697.632892	3243.465595	13822.46469
2031	7	6356.520977	3111.300026	10378.14124
2032	8	6032.781967	2984.519973	7792.084702
2033	9	5725.531055	2862.905986	5850.429532
2034	10	5433.9285	2746.247558	4392.601854