Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA

Atribución 4.0 Internacional

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

"Estimación de la huella de carbono en la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021"

Presentado por:

BERROCAL ANGULO, Elsa María

ROL DEL AUTOR del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es PORCENTAJE DE SIMILITUD del 9% por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 05 julio de 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

TESIS

Estimación de la huella de carbono en la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021

Línea de Investigación: Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

PRESENTADO POR: Bach. BERROCAL ANGULO, Elsa María

ICA – PERÚ

2022

INDICE GENERAL

Pág.

Índice General ii
Índice de Tablas iv
Índice de Figuras v
Resumen vi
Abstract vii

I. INTRODUCCIÓN 08
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 10
1.1.1. Formulación del problema 11
1.2. ANTECEDENTES 11
1.2.1. Antecedentes a nivel internacional 11
1.2.2. Antecedentes a nivel nacional 12
1.2.3. Antecedentes a nivel local 13
1.2.4. Justificación e importancia de la investigación 13
1.2.5. Bases teóricas 14
1.2.6. Marco conceptual 24
1.2.7. Marco legal 25

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA 28
2.1. TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 28
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 29
2.2.1. Población 29
2.2.2.Tamaño de la muestra 29
2.3. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN 30
2.3.1. Variable independiente 30
2.3.2. Variables dependiente 30
2.3.3. Operacionalización de variables 30
2.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN 32
2.4.1. Hipótesis principal 32
2.4.2. Hipótesis especificas 32
2.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN 32

DE DATOS
2.5.1. Técnicas 32
2.5.2. Instrumentos 32
2.5.3. Análisis de datos 32

III. RESULTADOS 34
3.1. DIAGNÓSTICO DEL DISTRITO DE PARACAS 34
3.1.1. Descripción de la PTAR 37
3.1.2. Aplicación de la metodología para determinar la HdC en la planta de tratamiento de agua residual 41
IV. DISCUSIÓN 52
4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 52

V. CONCLUSIONES 54
VI. RECOMENDACIONES 55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 56

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Metodologías internacionales 16
Tabla 2: Descripción de los GEI 24
Tabla 3: Fases de la metodología 23
Tabla 3: Operacionalización de variables 26
Tabla 5: Tipos de pozos según usos 29
Tabla 6: Tipos de alcances 32
Tabla 7: GEI y su potencial de calentamiento global 33
Tabla 8: Resultados de la caracterización del afluente 34
Tabla 9: Resultados de la caracterización del efluente 34
Tabla 10: Comparación del volumen del afluente y efluente 44
Tabla 11: Comparación del efluente con el LMP 44
Tabla 12: Fuentes de emisión 47
Tabla 13: Factores de emisión 48

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1: Alcances de la HdC 16
Figura 2: Acciones para minimizar los GEI 18
Figura 3: Esquema conceptual de una PTAR 22
Figura 4: Trenes de tratamiento 23
Figura 5: Actividades de una PTAR 24
Figura 6: Mapa del distrito de Paracas 35
Figura 7: Organigrama de la Municipalidad de Paracas 36

RESUMEN

Hoy en día el calentamiento global, es un desafío que tiene la sociedad y que debe replantear sus actividades productivas, si bien es cierto que esto conlleva al desarrollo económico, tiene graves consecuencias en lo social y ambiental. Por lo que, la reducción de emisiones de GEI, debe ser una estrategia que deben adoptar todas las empresas incluidas las Plantas de Tratamiento de agua. En ese sentido el objetivo planteado en la investigación es: Estimar que la huella de carbono influye significativamente en la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021. La metodología de la investigación es de tipo descriptivo, bajo un enfoque mixto, nivel descriptivo correlacional y diseño no experimental. La muestra de estudio fue el volumen de aguas residuales de la PTAR del distrito de Paracas La metodología para determinar la HdC; se ha realizo en bases a cuatro fases: 1) Caracterización de procesos, 2) Cálculo de la emisión de GEU, 3) Cálculo de la remoción de GEU y 4) Formulación de estrategias. La materia orgánica degradada en el agua fue de 261,165 ton CO2E, el consumo de energía: s de 39 929 MW/h y el total de emisiones de GEI consolidado: 301,094 ton CO2e. No se ha considerado la remoción de los GEI, ya que la biomasa no es significativa en el entorno de la PTAR. Se recomienda que se reemplace la energía eléctrica en las bombas de la PTAR por energía renovable (paneles solares) para el funcionamiento.

Palabras Claves: Huella de carbono, Gases de efecto invernadero, consumo de energía eléctrica, agua residual, planta de tratamiento.

ABSTRACT

Today global warming is a challenge that society has and that must rethink its productive activities, although it is true that this leads to economic development, it has serious social and environmental consequences. Therefore, the reduction of GHG emissions must be a strategy that must be adopted by all companies, including Water Treatment Plants. In this sense, the objective of the research is to estimate that the carbon footprint significantly influences the operation of energy consumption in the water treatment plant sector, Paracas, Pisco, 2021. The research methodology is descriptive. , under a mixed approach, correlational descriptive level and non-experimental design. The study sample was the volume of wastewater from the WWTP of the district of Paracas The methodology to determine the HdC; it has been carried out based on four phases: 1) Characterization of processes, 2) Calculation of GEU emission, 3) Calculation of GEU removal and 4) Formulation of strategies. The organic matter degraded in the water was 261,165 tons CO2E, the energy consumption: 39,929 MW/h and the total consolidated GHG emissions: 301,094 tons CO2e. The removal of GHG has not been considered, since the biomass is not significant in the surroundings of the WWTP. It is recommended that the electrical energy in the WWTP pumps be replaced by renewable energy (solar panels) for operation.

Keywords: Carbon footprint, greenhouse gases, electricity consumption, wastewater, treatment plant.

I. INTRODUCCIÓN

[1] “Uno de los recursos fundamentales que está experimentando dicho detrimento es el agua, que se degrada constantemente debido al crecimiento de la población mundial a un ritmo anual de 1.2% y al patrón de consumo actual”. [1] “Por lo cual, se genera una problemática asociada a la incertidumbre de la capacidad de las masas de agua para abastecer a la población. Más aún, si las reservas de agua dulce están concentradas en determinadas zonas; mientras se reportan muchos casos de escasez en otras áreas”. [1] “Ante ello, surge el concepto de la gestión sostenible del agua que involucra mejorar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, evitar la sobreexplotación y contaminación, identificar recursos alternativos de agua (lluvias, desalinización, reciclaje) y la creación de políticas ambientales”.

Hay que señalar que [2] “El Calentamiento Global es el aumento de la temperatura del planeta Tierra. Según la investigación científica (ONU, 2020) el mundo está muy lejos de cumplir los objetivos prometidos en el Acuerdo de Paris en 2015. Se estima que en el 2020 hubo una disminución entre el 4% y 7% a causa de las medidas del confinamiento por la Pandemia del COVID-19, sin embargo, las concentraciones ya están regresando a niveles previos a la pandemia, asegura la ONU”. [2] “De igual forma el Calentamiento global y los gases de efecto invernadero ya no son ajenos a las empresas, en los últimos 50 años, al menos 20 empresas están detrás del 33% de las emisiones de GEI a nivel mundial”. Resaltando que [2] “Las empresas y sus tratamientos a los vertimientos son grandes generadores de GEI, se prevé que se genera entre un 3% y 7% de GEI”. Por lo tanto, [1] “El tratamiento de aguas residuales es indudablemente un asunto de interés en los países en los que la disponibilidad de agua dulce es limitada, o en aquellos en los que la distribución de dicho recurso es desigual, como es en el caso de Perú”.

[1] “En el Perú, un país en vías de desarrollo, es notorio que el planeamiento y control de las aguas residuales es inadecuado, y que el volumen tratado no es representativo. En efecto, la producción anual de aguas residuales es de 798.5 Hm3, de las cuales solo el 32% recibe algún tipo de tratamiento (260.9 Hm^3). Asimismo, únicamente 30.9 Hm3 del agua residual tratada es reutilizada, y el 59.7% está destinada al regadío”.

La investigación se estructuro en capítulos:

Capítulo I: Se describe la situación problemática de los sistemas de tratamiento de agua residuales, ya que los equipos que emplean para la degradación de la materia orgánica presente en agua, funcionan con energía eléctrica, generando emisiones de HdC, que contribuyen al calentamiento global. Se ha revisado los antecedentes internacionales, nacionales y locales, que ha permitido plantear la justificación e importancia de la investigación.

Capitulo II: Se detalla la estrategia metodológica, donde se establece que la investigación es de tipo descriptivo, bajo un enfoque mixto, nivel descriptivo correlacional y diseño no experimental. La muestra de estudio fue el volumen de aguas residuales de la PTAR del distrito de Paracas.

Capitulo III: La metodología para determinar la HdC; se ha realizo en bases a cuatro fases: 1) Caracterización de procesos, 2) Cálculo de la emisión de GEU, 3) Cálculo de la remoción de GEU y 4) Formulación de estrategias.

Capitulo IV: En base a los resultados de la metodología para el cálculo de la HdC, se determinó que para la degradación de materia orgánica presente en el agua fue de 261,165 ton CO2e, el consumo de energía: s de 39 929 MW/h y el total de emisiones de GEI consolidado: 301,094 ton CO2e. No se ha considerado la remoción de los GEI, ya que la biomasa no es significativa en el entorno de la PTAR del distrito de Paracas.

En los Capítulo V y VI; se especifica las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación y en el capítulo VII se indican las referencias bibliográficas que se han revisado para la elaboración de la investigación.

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Chini and Stillwell [3] “El consumo de energía de los servicios público de agua en los Estados Unidos se estima entre el 1% y el 4% de la generación total de electricidad” [4]. Gib “Para rastrear las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con el agua (huella de carbono) se basa en gran medida en la contabilidad del consumo eléctrico, la demanda de gas natural y el uso de fueloil” [5]. Sin embargo, Gib [5] “las emisiones indirectas asociadas con la generación de electricidad fuera del sitio a menudo se generalizan sin especificidad del sitio o sin considerar la incertidumbre”. Hall [6] “Las emisiones indirectas del consumo de electricidad son generalmente mayores que las emisiones directas de energía (en el sitio) y, por lo tanto, potencialmente tienen un impacto mayor”.

[7] “Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es sistema que tiene como objetivo reducir el impacto negativo a los cuerpos de agua donde se descarga el efluente, reduciendo los contaminantes descargados. Las plantas de tratamiento tienen un impacto sobre el medio, que depende de la gestión de cada planta”. Es necesario [1] “fomentar la depuración de aguas residuales constituiría una técnica eficaz para la obtención de recursos hídricos que sustituyan volúmenes importantes de agua de primer uso, en actividades que no demanden el uso de agua potable. Esto es sumamente relevante si se toma en cuenta que Sudamérica experimentará un incremento en el estrés hídrico debido al calentamiento global”.

[1] “Las aguas residuales municipales son la combinación de múltiples corrientes de agua descargadas a los sistemas de drenaje urbano luego de ser empleadas, las cuales adhieren a su composición una gran diversidad de sustancias contaminantes; procedentes de viviendas, instituciones, plantas industriales, entre otros”. El distrito de Paracas, ha experimentado un notable crecimiento económico y turístico, pero que presenta dificultades en relación a su sistema de tratamiento de aguas servidas que no tiene la capacidad suficiente para tratar el elevado volumen de estas aguas, lo que genera la contaminación de los cuerpos de agua que se encuentran en este distrito. Por lo tanto la investigación, evaluara que el aporte a la carga ambiental está en relacionada por el consumo de energía, por lo que, estas PTAR, actualmente aportan emisiones al calentamiento global, precisamente por el elevado consumo eléctrico en la etapas de aeración e impulsión.

1.1.1. Formulación del problema

Problema principal

¿Cómo la estimación de la huella de carbono influye significativamente en la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021?

Problemas específicos

PE1: ¿En qué medida la emisión del gas efecto invernadero se relaciona con la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021?

PE2: ¿De qué manera la huella de carbono influye en la demanda de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021?

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Antecedentes internacional

Zhang et al. [8] “Si bien se han realizado estudios comparativos que contabilizan las emisiones de GEI tanto directas como indirectas del sector del agua en China y Australia”. Strazzabosco et al. [9] “no hay estudios comparables para los Estados Unidos. La falta de estudios comparables se puede atribuir en gran medida a la falta de datos contables de las empresas de agua a escala nacional”. Continua Strazzabosco et al. [9] “el servicio geológico de los Estados Unidos rastrea el uso público del agua, los datos están a escala de condado, se actualizan solo cada cinco años y no incluyen datos de energía”.

Copeland [10] y Rao [11] “el nexo energía-agua detalla la compleja relación e interacciones entre los sectores de energía y agua”. “Dentro del nexo energía-agua, los estudios de las emisiones de los sistemas de agua potable y aguas residuales ayudan a detallar las eficiencias energéticas relacionadas con la producción de agua” Plappally et al [12], “ayudan a alcanzar los objetivos de reducción el gas de efecto invernadero relacionado con el agua”. Zib [5], y “cuantificar las emisiones de GEI previamente ocultas” Zhang [8]. Sin embargo, Zib [5] “la investigación y el desarrollo del gobierno para el sector del agua son limitados en comparación con el sector de la energía, genera falta de modernización de tecnologías del sector del

agua destinadas a mejorar la eficiencia del agua y la energía". "En la actualidad, las intuiciones y organizaciones mundiales hacen referencia a los 17 objetivos del milenio, donde hacen referencia sobre el cambio climático (CC), que también está afectando a la agricultura y producción de alimentos" Hoegh-Guldberg [13].

[2] "Esta investigación tiene como objetivo estimar la huella de carbono de la planta de tratamiento de aguas residuales de un Parque Industrial ubicado en el municipio de Malambo, Atlántico. Para ello se tomó como referencia las directrices del Greenhouse Gas Protocol Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (edición revisada) del Worl Resource Institut - WRI y el World Busine Council for Sustainable Development WBCSD, en la que se estructuraron las siguientes etapas: Fase A: Caracterización de procesos, Fase B: Calculo de Emisiones, Fase C: Calculo de Remoción y Fase D: Formulación de Estrategias de mejora. Se concluye que las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero son de 6925 TonCO2e/año para el 2019, la cual se ve reducida a 6490 TonCO2e/año por las remociones cuyo valor es de 434 Ton/hectarea. En tal sentido, dado estos resultados, es posible inferir que alrededor del 94% de las emisiones emitidas pueden ser compensada por 1 hectárea de *Roystonea Regia*, finalmente estos resultados sugieren que es probable que dadas las extensiones en hectáreas del complejo industrial y partiendo de su diversidad biológica podría existir una emisión neutral"

1.2.2. Antecedentes nacionales

Valderrama et al. [14] "esta situación ha provocado la aparición de nuevos temas en la agenda comercial, siendo la huella de carbono (HC) la que ha cobrado una mayor relevancia". Continua Valderrama et al. [14] "la HC, se entiende como la cantidad de gases efecto invernadero emitidos a la atmósfera, derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, y se ha transformado en un patrón de competitividad."

La investigación tuvo [15] "como objetivo la evaluación de la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) en la producción de cuero, mediante un sistema fotovoltaico con un diseño de autoconsumo directo y sistema de colector solar para calentar el agua que se utiliza en el proceso de curtido, y que permite la reducción del suministro de gas licuado de petróleo (GLP) en la curtiembre Pieles del Sur E.I.R.L. a través de sistemas que aprovechan las fuentes de energía solar como energía renovable. A través de fichas técnicas se inventario las fuentes de emisión

de GEI para identificar las principales fuentes de emisión en las áreas de la empresa, realizando una línea base para poder evaluar la disminución mediante estos sistemas, donde se determinó como la principal fuente de emisiones las producidas en el área de acabado por el uso de GLP, la emisión de GLP en la empresa asciende a 83.37 tn de CO2e en el año 2018, como segunda fuente de emisión de GEI es la energía eléctrica con 37.97 tn de CO2e por año siendo su mayor fuente de emisión en el área de ribera. Con el desarrollo del diseño del sistema de colector solar en su evaluación se logra reducir la emisión de 1.41 tn CO2e por año generada por el consumo de energía eléctrica suministrada por la red y en tanto con el diseño del colector solar se logra reducir 6.41 tn CO2e por año, estos dos diseños tienes una evaluación de disposición de materiales locales y su ubicación adecuada en la empresa".

1.2.3. Antecedentes locales

Se ha revisado la bibliografía en relación al tema de investigación y no se ha encontrado investigación al respecto.

1.2.4. Justificación e importancia de la investigación

El calentamiento global y los gases de efecto invernadero, se constituyen como problemas que las empresas tienen que tomar en cuenta, ya que en sus operaciones y procesos industriales generan residuos y emisiones de los GEI, por lo tanto, este sector industrial debe implementar estrategias para reducir estas emisiones, por lo que la Huella de Carbono (HdC) es una herramienta que debe ser establecida en todas las etapas productivas. Asimismo, la HdC es un indicador de sostenibilidad, porque permite cuantificar las emisiones de los GEI, que está relacionado a una actividad determinada, además permite optimizar el consumo de energía y el empleo de los recursos materiales en los procesos productivos, lo que determina que se valore los impactos generados por las emisiones de los GEI. Por lo tanto, el cálculo de HdC, en la Planta de Tratamiento del distrito de Paracas, se constituirá como punto de partida para iniciar o mejorar el consumo de energía, reduciendo considerablemente la emisión de los GEI.

Importancia

El elevado volumen de aguas residuales que actualmente no están siendo tratadas adecuadamente se constituye en un factor que está relacionado con el cambio climático, frente a esta problemática que está generando impactos ambientales,

económicos y sociales, es necesario que en las plantas de tratamiento de estas aguas, realicen estos tratamientos, pero que en contrapartida generar emisiones, por lo que la HdC es una herramienta que calcula estas emisiones y además permite identificar los puntos de mejora en estas plantas de tratamiento. Por lo que la investigación, determinará el consumo de energía que tiene la Planta de Tratamiento del distrito de Paracas, mediante el indicador ambiental HdC.

Objetivo principal

Estimar que la huella de carbono influye significativamente en la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021.

Objetivos específicos

OE1: Especificar que la emisión del gas efecto invernadero se relaciona con la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021.

OE2: Categorizar que la huella de carbono influye en la demanda de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021.

1.2.5. Bases teóricas

1.2.5.1. Huella de carbono

Liu et al. [16] "la huella de carbono se utiliza para medir los niveles de emisión directa o indirecta de gases de efecto invernadero como el CO_2 producido por la actividad humana o los ciclos de vida de los productos". Mancini et al. [17] "y es uno de los métodos más influyentes entre los métodos de huella ecológica". Liu et al. [16] "el origen del concepto de huella de carbono se remonta a un subconjunto de ´huellas ecológicas´". Alvarez et al. [18] "se está convirtiendo en una herramienta esencial para evaluar los gases de efecto invernadero, con aplicaciones que involucran muchos aspectos, incluidos productos", Lee [19] "empresas" y Zhang et al., [20] "hogares". Li et al. [21] "las huellas de carbono se utilizan especialmente en la evaluación de diversas fuentes de energía, como el carbón", Ji y Chen [22] "la energía eólica", Aviso et al [23] "la biomasa".

Nugent y Sovacool [24] “la fotovoltaica”, etc. Li et al. [21] “aunque la energía eólica tiene bajas emisiones de carbono, sigue siendo un foco de atención en lo que respecta a la huella de carbono”.

[15] **“Ventajas y Desventajas de la Huella de Carbono**

- ✓ El uso de este indicador tiene principal beneficio el de poseer un inventario de emisiones de gases el cual permite a una empresa tomar decisiones que posibiliten reducir costos operativos y a su vez, contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- ✓ Se trata de un indicador ambiental reconocido por el mercado, ya que de forma voluntaria las organizaciones han comenzado a comunicar sus logros en materia de huella de carbono, y hacen publicidad de su reducción de emisiones.
- ✓ Dispone de metodologías de medida, procedimiento de verificación, y etiquetas para publicitar su medida, verificación y compensación.
- ✓ Es un indicador fácil de comprender: la huella de carbono, como ya hemos dicho, mide las emisiones de CO2 equivalentes de un proceso, evento, actividad, persona, etc., por lo tanto, resulta sencillo asociar que, a menor huella de carbono, menor será el potencial de calentamiento global.
- ✓ La reducción de la huella de carbono suele implicar reducción de uso de energía, aumento de eficiencia, mejor gestión de recursos, mejor gestión de residuos...etc., por tanto, es un indicador bastante completo”.

1.2.5.2. Metodología para la medición de la HdC

Existen diferentes metodologías para medir la HdC, pero que están en vinculadas con el Protocolo de Kioto. (Tabla 1 adjunta). Para realizar el cálculo de la HdC, de una empresa, se debe tener en cuenta los siguientes alcances:

[25] “Alcance 1: emisiones relacionadas con el consumo de combustibles fósiles por parte de la compañía, debido a instalaciones fijas y a vehículos”.

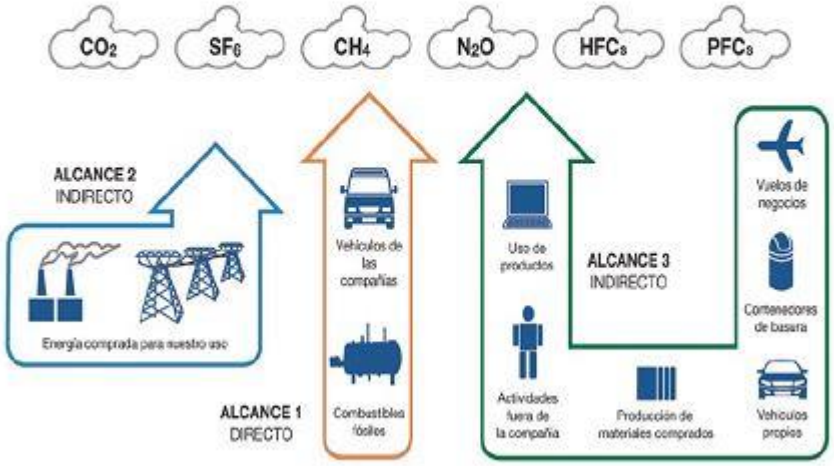
[25] “Alcance 2: contabiliza las emisiones relacionadas con el consumo eléctrico de la compañía (se incluyen aquí también los vehículos eléctricos

propiedad de la empresa), ya que suponen un aumento de la electricidad consumida en el establecimiento".

[25] "Alcance 3: emisiones indirectas de la compañía relacionadas con el consumo de combustibles fósiles (se tendrían en cuenta en este apartado los desplazamientos en avión, vehículos de los/as empleados/as, etc.)".

Figura 1

Alcances de la huella de carbono



Fuente: Escuela de Organización industrial

Tabla 1

Metodologías internacionales

Guías generales	Normas ISO que representan estándares de referencia para la medición de emisiones de GEI Estos se inspiran en general, en estándares y metodologías desarrollados previamente, y tienen como objetivo ser un marco reconocido de confianza a los operadores de proyectos de medición de emisiones de GEI	• ISO 14.040: Sobre Gestión Ambiental y análisis de CDV. • ISO 14.060: Sobre Gases de efecto Invernadero • ISO 14.067: Está inspirada en el PAS 2050 y pretendería "reemplazarlo" y constituir una referencia internacional. • ISO/WD 14.069: Precisa un nuevo estándar para la cuantificación de las emisiones de GEI de las organizaciones (empresas, administraciones).
Guias especificas	Para la contabilidad, cálculo y monitoreo de los gases de efecto invernadero	• GHG Protocolo: Un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas de cálculo de GEI • Bilian Carbone: es el método de cálculo de emisiones de GEI desarrollado por la ADEME, organismo público francés. Esta metodología está basada en un programa en formato Excel, acompañado de guías de utilización • PAS 2050: apunta a "aplicar LCA sobre una amplia variedad de productos en forma consistente para usuarios de la industria, enfocándose solamente en el indicador de Huella de Carbono • PAS 2060: Está dedicado al cálculo de las emisiones de organismos (administración, empresas, sitio de producción), colectividades territoriales y particulares. Responde a las normativas del ISO y del GHG Protocol. • IPCC: El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) es el responsable por analizar la ciencia relacionada con el cambio climático a nivel global"
Herramientas de cálculo	Son para actividades específicas como el transporte o el comportamiento del consumidor.	Excel

Fuente: CEPAL, 2011. |

[25] “Además de definir los alcances, que se denominan el límite operativo de la empresa, debe definirse también los límites de la organización, es decir, el enfoque que se le va a dar al estudio. Este enfoque se refiere a si va a calcularse la huella del 100 % de la compañía, o si se va a realizar por el contrario el cálculo de la huella de una cuota de participación accionaria (esta distinción se realiza principalmente cuando la empresa cuenta con diversas filiales)”.

[25] “Una vez la compañía u organización ha determinado la huella de carbono correspondiente al año de cálculo seleccionado, se pueden realizar una serie de acciones, de carácter voluntario, que permiten una gestión más eficaz y completa de las emisiones de gases de efecto invernadero”.

Figura 2

Acciones para minimizar los GEI

1.2.5.3. Consumo de energía

Kenway et al. [26] “la industria del agua consume cantidades significativas de energía para tratar y suministrar agua dulce, y para recolectar y tratar aguas residuales”. Strazzabosco et al. [9] “para las empresas de agua, la

energía es el segundo gasto más alto, solo superado por los costos laborales". Continua Strazzabosco et al. [9] "el aumento de los costos de la energía y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el consumo de energía están presionando a la industria del agua para encontrar estrategias de gestión de energía".

Zang et al. [8] "los estudios sobre el nexo agua-energía incluyen dos aspectos de las interacciones agua y energía: 'agua por energía'" y Feng et al. [27] "energía por agua", así como su impacto en los GEI. Emisiones (Zhang et al., 2014).

1.2.5.4. Gas efecto invernadero (GEI)

[7] "Los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre son básicamente el dióxido de carbono (CO2), el metano (CH4), y el óxido nitroso (N2O). Estos gases son químicamente estables, están presentes en porcentajes naturales en la atmósfera y poseen la propiedad de dejar pasar la radiación solar y absorber parte de la radiación emitida por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los GEI han aumentado su concentración en la atmósfera durante los últimos 20 años debido a las actividades antropogénicas, ocasionando un cambio en el balance térmico de la tierra".

Rosenzweig et al. [28] "las ciudades y los municipios desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), servicios públicos y su potencial reducción son fundamentales para la formulación por parte de los gobiernos locales".

Estos gases se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2

Descripción de los GEI

Gases de efecto invernadero	Fuente
Dióxido de Carbono (CO_2)	Gas de invernadero producido por uso de combustible fósil (petróleo, gas, carbón, etc.) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas ha contribuido a mantener una temperatura constante dentro de la tierra, sin embargo en la actualidad, es responsable de casi el 76 % del calentamiento global previsto para los próximos años.
Metano (CH_4)	Al igual que el CO_2, es producido por la combustión de combustible fósil, asimismo, se produce en los pozos de petróleo, minas de carbón al aire libre, cultivos de arroz y por la digestión alimenticia de los animales.
Oxido Nitroso (N_2O)	Liberado por la combustión de vehículos motorizados. Diésel, así como el empleo de fertilizantes nitrogenados.
Vapor de agua (H_2O=	Por evaporación, ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo.
Ozono (O_3)	Presente en la estratósfera y la tropósfera
Hidrofluorocarbonos o HFC	Es usado por el hombre como disolvente para los aerosoles, refrigerantes y dispersores de espuma de uso industrial y doméstico
Perfluorocarbonos o PFC	Es provocado por la acción del hombre por la producción de aluminio por electrólisis.
Hexafluoruro de azufre SF_6	Provocado por la acción del hombre en la producción de magnesio.

Fuente: Gestión Ambiental- Universidad Nororiental Privada "Gran Mariscal de Ayacucho

1.2.5.5. Sector de agua

Griggs et al. [29] "una tarea urgente es el análisis de los servicios públicos de agua en el contexto del cambio climático, se espera que las ciudades siempre suministren agua limpia y energía mientras toman medidas climáticas para las generaciones actuales y futuras".

1.2.5.6. Aguas residuales

[7] "Se originan en una variedad de fuentes domésticas, comerciales e industriales y pueden tratarse in situ (no recolectadas), transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas), o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües. Los sistemas de tratamiento y eliminación pueden variar de forma abrupta de un país a otro, también pueden diferir entre los usuarios urbanos de alto nivel de ingresos y los de bajo nivel de ingresos".

1.2.5.7. Tratamiento de aguas residuales

[1] "El objetivo general del tratamiento de aguas residuales es remover las sustancias contaminantes, de origen orgánico o inorgánico, las cuales pueden estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas (Noyola et al., 2013) para alcanzar niveles de calidad de agua determinados por la normativa de descarga. Los objetivos específicos del tratamiento se logran mediante la integración de procesos unitarios. Entiéndase como proceso unitario a aquel que atiende a un grupo específico de contaminantes (Howe et al., 2016). Cada proceso unitario debe eliminar un porcentaje establecido inicialmente con el propósito de satisfacer la normativa al finalizar el proceso de tratamiento (Metcalf & Eddy, 2014)".

[7] "Existen diferentes vías para el tratamiento y la eliminación de las aguas residuales. Los métodos de tratamiento centralizado pueden clasificarse como tratamientos primarios, secundarios y terciarios. En el tratamiento primario, los sólidos más voluminosos se separan de las aguas mediante barreras físicas. Luego se permite la decantación de las partículas residuales. Los tratamientos secundarios consisten en una combinación de procesos biológicos que fomentan la biodegradación por microorganismos. Estos procesos pueden incluir pozas aeróbicas de estabilización, filtros de

goteo y procesos de lodo activado, así como reactores anaeróbicos y lagunas. Los tratamientos terciarios se usan para purificar aún más las aguas residuales de los agentes patógenos, contaminantes, y nutrientes residuales, como los compuestos de nitrógeno y fósforo. Esto se logra mediante uno o varios procesos combinados que pueden incluir pozas de maduración y/o depuración, procesos biológicos, filtraje avanzado, absorción por carbono, intercambio iónico y desinfección".

Figura 3

Esquema conceptual de una PTAR

Fuente: Noyola et., 2013.

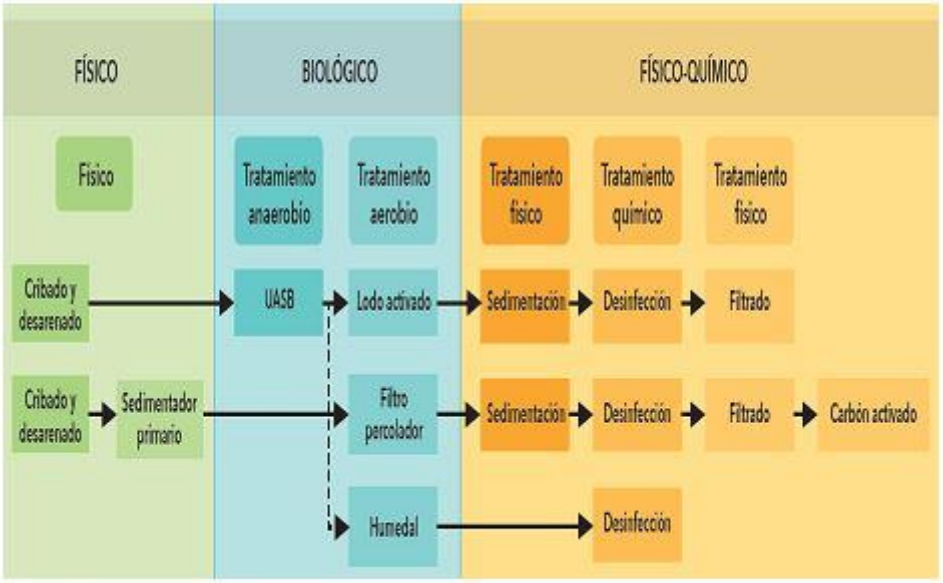
Tecnologías existentes

[1] "La obtención de un agua depurada que cumpla la normatividad requiere combinar necesariamente varias tecnologías de tratamiento, cuyas bases son físicas, químicas o biológicas, los cuales dan lugar a trenes de tratamiento. En otras palabras, el proceso de tratamiento consiste en la eliminación progresiva de contaminantes. Asimismo, el tratamiento de aguas residuales se caracteriza por una mayor facilidad de tratamiento a medida que el tamaño de partícula sea mayor. Por ende, el orden lógico es

quitar en primer lugar las materias en suspensión, seguidamente las sustancias coloidales y después las sustancias disueltas".

Figura 4

Trenes de tratamiento

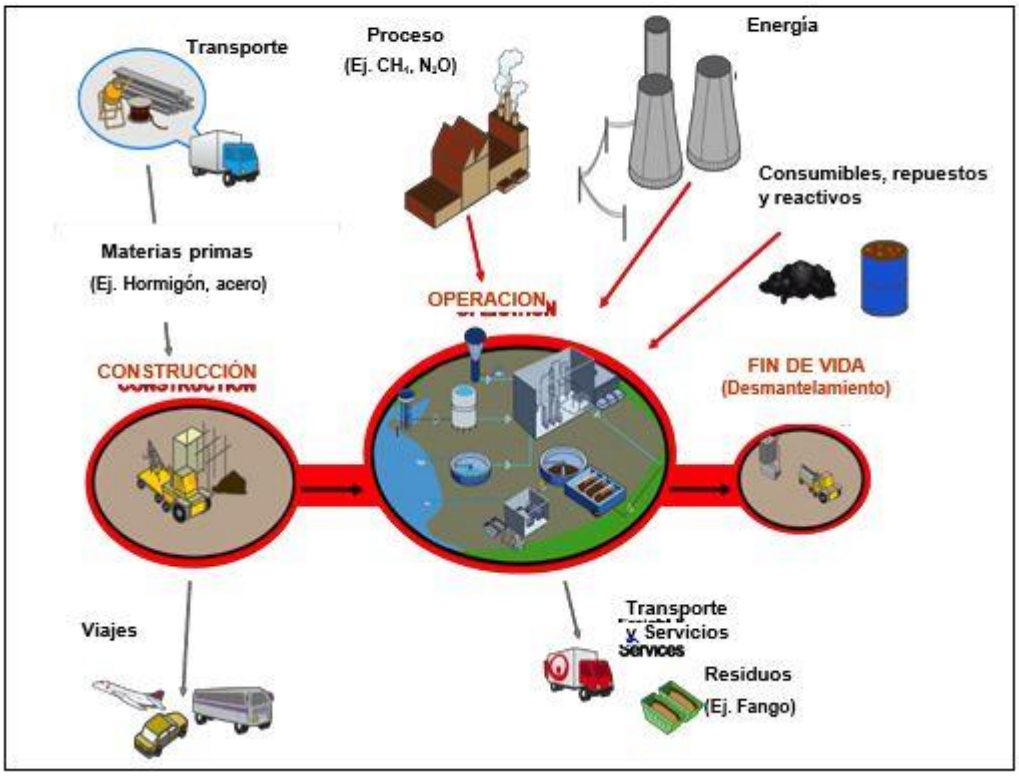


Fuente: Noyola et., 2013

[1] "La integración de los procesos unitarios constituyen los llamados tratamientos primario, secundario y terciario (o avanzado) (Metcalf & Eddy, 2014). Estos pueden resumirse básicamente en dos grupos globales: los tratamientos fisicoquímicos y los biológicos. Los primeros operan básicamente, por procesos físicos (gravedad, filtración por obstrucción física, entre otros). El segundo grupo implica la degradación o transformación de la materia orgánica a través de microorganismos".

Figura 5

Actividades de una planta de tratamiento de agua incluidas en la huella de carbono



1.2.6. Marco Conceptual

[2] **"Calentamiento global:** El Calentamiento global (CG) es un fenómeno físico que se ha ido incrementando, generando efectos negativos que están afectando cada vez más los ecosistemas terrestres. El CG ha sido de la mano con una tendencia hacia un incremento en el CO2 atmosférico, lo que indica que la causa de esta tendencia hacia el calentamiento es una intensificación del efecto invernadero".

[15] **"CO2 equivalente**: Es la unidad para comparar la fuerza de radiación de un gas de efecto invernadero con el dióxido de carbono".

[15] **“Efecto invernadero:** Es un proceso natural que ocurre en nuestro planeta, este proceso consiste en almacenar parte de la energía proveniente del sol en la superficie de la tierra. Este efecto es causado por algunos gases que se encuentran en nuestro planeta, tales como el dióxido de nitrógeno, ozono troposférico, vapor de agua y dióxido de carbono, estos se denominan gases de efecto invernadero, y tienen la capacidad de alterar el equilibrio térmico del planeta, ya que sin estos gases los días serían más calurosos y las noches mucho más frías”..

[25] **“Energías renovables:** son fuentes naturales y prácticamente inagotables de energía, cuyo impacto ambiental en lo referido a emisión de gases de efecto invernadero como el CO_2 es nulo o al menos inferior en comparación con la quema de combustibles fósiles”.

[15] **“Factor de emisión**: se define como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión del contaminante. Estos factores son usualmente expresados como la masa del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o duración”.

[1] **“Lagunas:** Estos sistemas sacan provecho de la combinación entre bacterias y algas para degradar materia orgánica. Por un lado, las primeras consumen el material orgánico y oxígeno, y a partir de estos producen CO2. Por otro lado, las segundas consumen CO2 y generan oxígeno a través de la fotosíntesis. Estos dos funcionamientos combinados mantienen concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto en la parte superior de la laguna”.

[1] **“Lodos activados**: El proceso de lodos activados surge de la observación de aguas residuales sometidas a aireación durante un periodo de tiempo, en el cual reducen su contenido de materia orgánica y, a la vez se forman lodos floculentos”.

[2] **“Saneamiento básico**: Es el conjunto de técnicas que permite eliminar higiénicamente residuos sólidos, excretas y aguas residuales, para tener un ambiente limpio y sano”.

1.2.7. Marco Legal

a. El acuerdo de Paris, ratificado por S.S. Nº 058-2016-RE

[15] "Se establece como meta, en su artículo 2.a, mantener el incremento de la temperatura muy por debajo de 2 grados centígrados y realizar esfuerzos para evitar que la temperatura se incremente más de 1.5 grados centígrados (la primera vez que se reconoce a nivel de acuerdo vinculante dicho umbral de incremento de la de temperatura, antes se había hecho a nivel de acuerdos no vinculantes o Decisiones)".

b. Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Resolución Legislativa, Nº 26185

[15] "El objetivo último de la presente Convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes, es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible".

c. Política Nacional del Ambiente D.S. Nº012-2009-MINAM, Mitigación y Adaptación al Cambio Climático.

[15] "Fomentar el desarrollo de proyectos forestales, manejo de residuos sólidos, saneamiento, usos de energías renovables y otros, para contribuir en la mitigación de los efectos del cambio climático".

[15] "Promover el uso de tecnologías adecuadas y apropiadas para la adaptación al cambio climático y mitigación de gases de efecto invernadero y de la contaminación atmosférica".

d. Ley de Promoción del Uso eficiente de la Energía, Ley Nº 27345

[15] "Declárase de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al

consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos".

[15] "Promover la mayor transparencia del mercado de la energía, mediante el diagnóstico permanente de la problemática de la eficiencia energética y de la formulación y ejecución de programas, divulgando los procesos, tecnologías y sistemas informativos compatibles con el Uso Eficiente de la Energía".

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. TIPO, NIVEL Y DIEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo

Descriptiva, bajo un enfoque mixto

Nivel

Descriptivo-correlacional

Diseño

No experimental de enfoque cuantitativo

2.1.1. Fases de la metodología

En la tabla adjunta se detallan estas fases.

Tabla 3

Fases de la metodologia

Fases	Objetivos
A. Caracterización de procesos	Describir el proceso de tratamiento de agua residual del distrito de Paracas.
B. Cálculo de la emisión de GEI C. Cálculo de remoción de GEI	Cuantificar la cantidad de Gases de Efecto Invernadero emitidos directa e indirectamente por la planta de tratamiento de agua.
D. Formulación de estrategias	Proponer estrategias de mejora para reducir y/o compensar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero emitidos por la planta de tratamiento de aguas residuales.

Fase A: Caracterización de procesos

Para la recolección de datos, se revisó las fuentes primarias y secundarias para determinar cómo se realiza el tratamiento de agua en el distrito.

Fase B: Cálculo de la emisión de los GEI

Se realizó en base a [2] "las directrices de Protocolo de Gases Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (edición revisada) del Worl Resource Institut - WRI y el World Busine Council for Sustainable Development WBCSD (World Business Council for Sustainable Development, 2005) en cual se contempla el desarrollo del cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero".

Fase C: Calculo de la remoción de los GEI

Esta fase se realizó mediante la observación en campo para calcular la remoción de GEI. Esta remoción se realiza en función de la biomasa que se encuentra presente en la planta de tratamiento, por lo que, se descartó esta fase, dado que la biomasa no era significativa.

Fase D: Formulación de estrategias de mejora

Esta fase se realiza en base a los resultados de HdC y la remoción en base a un balance:

$$\text{Balance} = \text{Emisiones totales} - \text{remociones}$$

En función a estos resultados se plantea estrategias para reducir la HdC.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1. Población

Estará conformada por la Planta de Tratamiento de Agua-Distrito de Paracas

2.2.2. Muestra

Diferentes etapas y operaciones para el tratamiento de agua residual de la PTAR del distrito de Paracas.

2.3. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

2.3.1. Variables

Variable independiente

Huella del carbono: *Zib et al.* [30] *"requiere una mejor contabilidad de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para desarrollar estrategias específicas, reducir la huella de carbono, rastrear las emisiones de GEI en este sector la ausencia de una base de datos de agua"*

2.3.2. Variable dependiente

Consumo de energía: *Kenway et al.* [26]*"A pesar de que el calentamiento de agua se destaca como la actividad de uso de energía relacionada con el agua más importante, la mayor parte de la literatura sobre ´energía relacionada con el agua´ se centra en los ´servicios públicos´". Zib et al.* [30] *"La demanda de energía es un factor importante que contribuye a las emisiones operativas de GEI en el sector del agua".*

Variable interviniente

Planta de tratamiento de agua o regeneración de agua: *Strazzabosco et al.* [31] *"en la actualidad, las decisiones relativas a las estrategias de inversión se definen individualmente a nivel de servicios públicos o plantas de tratamiento, sin una estrategia común para toda la industria". Además Strazzabosco et al.* [31] *"esta falta de apoyo institucional para la industria del agua es un tema que debe abordarse para permitir un avance sistemático de todo el sector hacia prácticas más sostenibles".*

2.3.3. Operacionalización de variables

Se detalla en la Tabla 4

Tabla 4

Operacionalización de Variables

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
VI: Huella del carbono	Zib et al. [30] "requiere una mejor contabilidad de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para desarrollar estrategias específicas, reducir la huella de carbono, rastrear las emisiones de GEI en este sector la ausencia de una base de datos de agua"	**$D_{1,1}$:** Emisión del gas efecto invernadero	Emisión de CO_2	CO_2/m^3
Variable Dependiente	**Conceptualización**	**Dimensiones**	**Indicadores**	**Unidad de medida**
VD: Consumo de energía	Kenway et al. [26]"A pesar de que el calentamiento de agua se destaca como la actividad de uso de energía relacionada con el agua más importante, la mayor parte de la literatura sobre ´energía relacionada con el agua´ se centra en los ´servicios públicos´". Zib et al. [30] "La demanda de energía es un factor importante que contribuye a las emisiones operativas de GEI en el sector del agua".	**$D_{2,1}$:** Demanda de energía	Consumo de electricidad (e^-), Consumo de gas natural (GN) y el fuelóleo (FO)	kg CO2*e*/MWh kg CO2*e*/GJ kg CO2*e*/L

2.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis principal

La estimación de la huella de carbono influye significativamente en la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021.

2.4.2. Hipótesis Específicas

HE1: La emisión del gas efecto invernadero se relaciona con la operatividad del consumo de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021.

HE2: La huella de carbono influye en la demanda de energía del sector de planta de tratamiento de agua, Paracas, Pisco, 2021.

2.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

2.5.1. Técnicas

Observación: para la identificación del ámbito de estudio

Revisión de fuentes secundarias: libros, documentos, artículos científicos

2.5.2. Instrumentos

- Fichas bibliográficas: para la sistematización de la bibliografía
- Fichas de registro de datos: para registrar los datos de los procesos en las planta de tratamiento del agua residual.

2.5.3. Análisis de datos

Técnica de procesamiento de datos

- Protocolos de Gases de Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte de World Resource Institute.WRI
- World Busine Council for Sustainable Developmente WBCSD

Análisis e interpretación

- Diagrama de Causa efecto
- Los resultados se presentarán en cuadros y gráficas, de acuerdo a los objetivos planteados en la investigación.

III. RESULTADOS

3.1. DIAGNÓSTICO DEL DISTRITO DE PARACAS

[32] “El distrito de Paracas es uno de los ocho distritos que forman parte de la provincia de Pisco, y cuya jurisdicción se encuentra bajo la administración del Gobierno Regional de Ica. Con Ley 11597, el distrito de Paracas fue creado el 8 de marzo de 1951, durante el gobierno del Presidente Manuel A. Odria (Gobierno del Perú, 1951)”.

El distrito, [32] “posee una extensión territorial de 1,440.68 Km^2, una altura que oscila entre los 2 msnm, y se encuentra a 261 km de Lima; limitando por el norte con el distrito de San Andrés, por el este y sureste con los distritos de Salas y Subtanjalla, todos ellos dentro de la provincia de Pisco, por el sur con la provincia de Ica, y finalmente por el Oeste con el Océano Pacifico”.

- **Población**

  [32] “De acuerdo con el INEI (2017), en el último censo nacional poblacional se determinó que el distrito de Paracas posee 7147 habitantes de los cuales el 97.88 % (6995 hab.) viven en zonas urbanas y el 2.12 % (152 hab.) en zonas rurales; de igual forma la misma institución indico que el distrito muestra un promedio de crecimiento poblacional de 0.96 % anual durante los últimos cinco años”.

  [32] 2De acuerdo con lo indicado por el INEI (2017), se determinó que en el distrito de Paracas existen 13 centros poblados; en los cuales habitan 7,147 habitantes y que ocupan un total de 2,910 viviendas. Entre estos poblados destacan los que tienen mayor cantidad de población: a) Cercado de Paracas, con 2,841 habitantes; b) Apupiste de Antillas, con 815 habitantes; y c) Santa Cruz, con 3,339 habitantes”

- **Necesidades básicas de la población**

  [32] “El acceso a los servicios de agua y alcantarillado; de acuerdo con el informe del INEI (2018) estos servicios son suministrado a 1750 viviendas a través de la red pública u otra forma de acceso; sin embargo, dentro del distrito de Paracas este servicio sigue siendo inexistente para 1422 viviendas; según los objetivos de desarrollo sostenible este servicio debe ser accesible a la totalidad de la población.

Además, el distrito de Paracas a pesar de ser uno de los principales destinos dentro de la región Ica, debido a su influencia turística; según el INEI (2017) no cuenta con energía eléctrica en un 18.11% de las viviendas, con un total de 317 familias sin acceso a este servicio básico, siendo imperante la búsqueda de mecanismos que solucionen este déficit".

- **Servicio de agua**

  Tiene un sistema de abastecimiento de agua conformados por pozos que se ubican en el Fundo Santo Domingo. El abastecimiento es de 2 horas/día, por lo que algunas viviendas tienen acceso al agua. Por lo que este distrito presenta el porcentaje más bajo en relación del abastecimiento de agua por red pública.

Tabla 5

Tipo de pozos según uso

Distrito	Domestico	Industrial	Agrícola	Pecuario	Total
PARACAS	43	28	108	01	180

Fuente: INRENA, 2017.

Figura 6

Mapa del distrito de Paracas

[32] “El distrito de Paracas se caracteriza por poseer una ubicación geográfica estratégica dentro del litoral peruano, que le permite desarrollar diversas actividades económicas relacionadas al sector turismo y comercio marítimo entre otras. La cercanía con la capital del país le abre un abanico de oportunidades dentro del mundo empresarial como, por ejemplo, la de ser sede de diversas actividades tales como congresos y foros económicos, los cuales impulsan la actividad turística en la región. Es necesario también mencionar que, dentro de los límites territoriales del distrito, se encuentra la Reserva Nacional de Paracas que es una de las más importantes del país y una de las principales fuentes de ingreso para la economía del distrito”.

- **Actividades energéticas**

  En la Bahía de Paracas está ubicada la empresa PLUSPETROL, tiene instalado la planta de fraccionamiento de los líquidos de Gas de Camisea, en un terreno de 44,7 ha.

- **Actividades metalúrgicas**

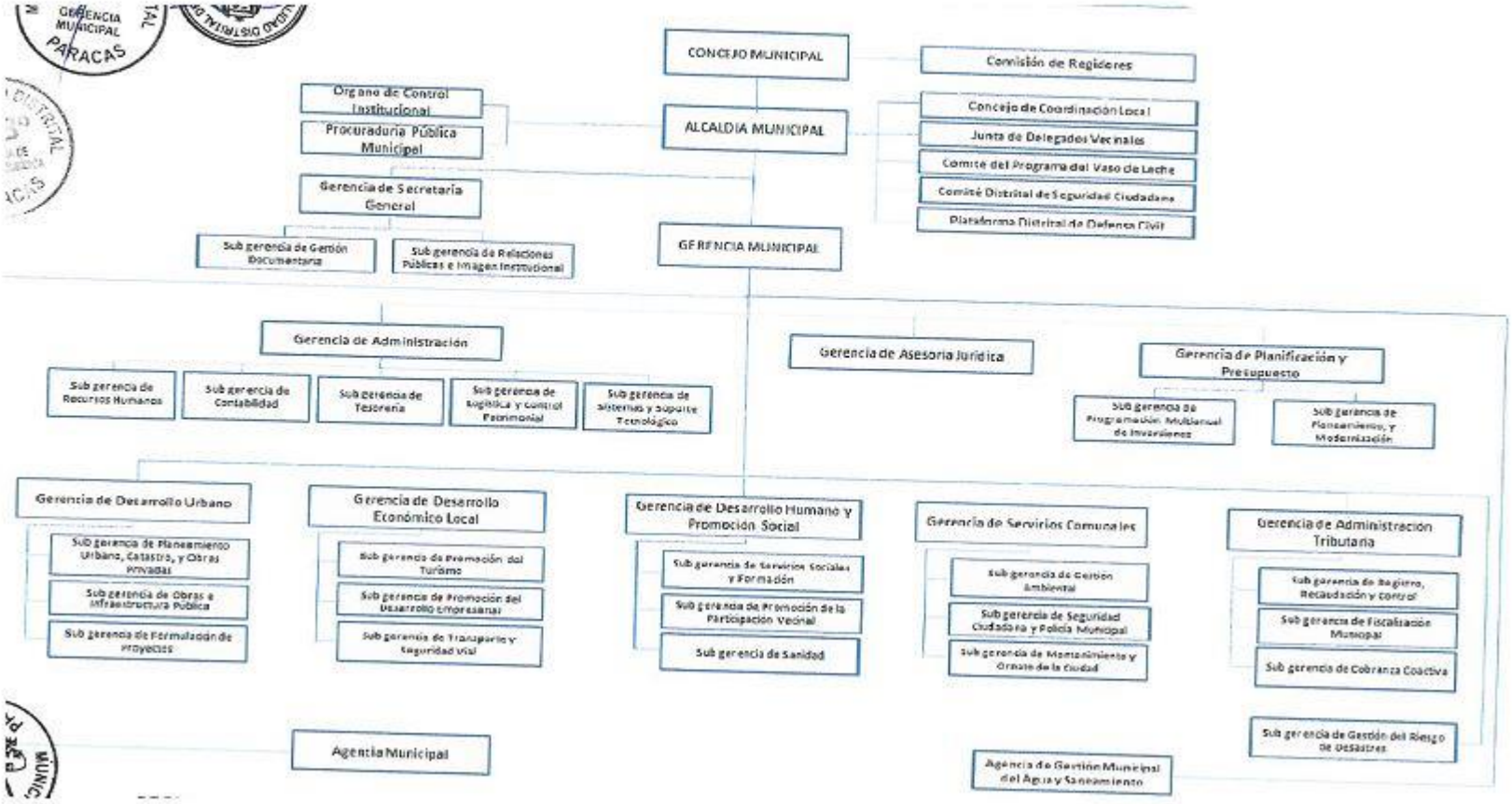
  En la carretera Panamericana, se ubica la planta de producción Aceros Arequipa S.A., que produce anualmente: 250 000 tn de barras, alambrón y 60 000 tn de acería y láminas.

- **Turismo**

  [32] “La más importante actividad economica del distrito de Paracas es el turismo, principalmente impulsado por sus hermosas playas, que forman parte del litoral peruano; pero sobre todo, por el hecho que dentro de su territorio se encuentra la Reserva Nacional de Paracas – RNP; esta afirmación fue sustentada por Modonese (2004), quien menciono que la RNP es la generadora de más de 800 puestos de trabajo, obteniendo una recaudación cercana a los 10 millones de dólares anuales, generando no solo ingresos para la región Ica, sino para todo el Perú”.

Figura 7

Organigrama der la Municipalidad del Distrito de Paracas



3.1.1. Descripción de la PTAR del distrito

3.1.1.1. Sistema de agua potable

Anteriormente abastecía de agua potable mediante un ramal de tubería pvc. Ø 1.5" de la tubería matriz que alimenta ENAPU, siendo almacenada el agua en un reservorio rústico de material noble de 120 m^3 de capacidad que carecía de válvulas de funcionamiento y sus muros erán de ladrillo.

Actualmente el reservorio tiene una capacidad de 30.0 m^3 de concreto armado y casetas de válvulas que permiten su optima operatividad y eficiencia. Este sistema comprende:

[33] **"Línea de Aducción:** Con dos salidas de agua: una de tubería pvc Ø 1.5" – 53.0 m. y otra tubería pvc. A 7.5 Ø 1" -70.0 m; enterradas en zanjas de 0.45 m. x 0.80 m. de profundidad, rellenadas con material propio debidamente compactado. Al final de la línea, tiene una válvula de compuerta de control".

[33] **"Reservorio de 30.0 m^3**: Estructura de concreto fc'=210 kg/cm^2 con refuerzo de armadura fy'=4,200 kg/cm2, de dimensiones 3.90 x 3.90 x 2.30 m (medidas interiores) espesor de muros 0.20 m., espesor de losa de techo 0.13 m., espesor de losa de fondo variable 0.20 a 0.20 m.
La altura interior es de 2.30 m. de altura neta de agua de 2.00 m. Semienterrado siendo sus niveles:

- Nivel de terreno = 5.40 m.
- Nivel de salida de agua = 4.30 m.
- Nivel de techo terminado = 6.63 m"

[33] "El control de nivel de agua en el reservorio se realiza por una válvula flotador de alta presión de Ø 1.5". El terreno donde se ubica el reservorio es areno-arcilloso, por lo que, el piso presenta uñas de 0.20 m de espesor x 1.10 m. en todo el perímetro, y el reservorio está semienterrado a una profundidad de 1.65 m. y altura sin enterrar 1.23 m".

[33] **"Caseta de Válvulas**: Es una estructura de concreto armado de dimensiones 1.20 x 1.0 x 0.85 de altura (medidas interiores) espesor de

muros 0.15 m. con tapa de metal y candado. En la caseta presenta las válvula de entrada Ø 1.5", de salida Ø 1.5", 1" y de rebose y limpieza Ø 4".

3.1.1.2. Sistema de desagüe

[33] **"Buzón de reunión:** Para la recepción del desagüe del distrito. Es de concreto armado fc'= 210 kg/cm^2 con diámetro 1.20 m espesor de muros 0.20 m. Losa de techo de concreto con tapa de fierro de Ø 0.60 m., altura de 2.50 m. Con cota de terreno - 0.50, Cota de ingreso -1.70 m y cota de salida -3.10 m".

[33] **"Cámara de rejas**: Retiene los sólidos como latas, papeles, trapos, etc. que afectan el normal funcionamiento del tanque séptico. En la cámara desemboca el desagüé proveniente del buzón y que pasa "colado" al tanque séptico. Es de concreto armado fc'= 210 kg/cm^2 de dimensiones 3.35 m. de largo y ancho 1.15 m. Presenta como niveles:

- Cota de terreno = -2.65 m.
- Cota de ingreso = -3.20 m.
- Cota de salida = -3.35 m".

[33] **"Tanque séptico:** Su función es el tratamiento primario de las aguas servidas para su posterior eliminación en el campo de absorción. Consta de dos cámaras de dimensiones 4.30 m x 2.15 m y 2.15 m. x 2.15 m. con una altura de 2.00 m. (medidas interiores. Espesor de muros 0.20 m., espesor de techo 0.20 m. espesor de piso 0.20-0.40 m. Sus niveles son:

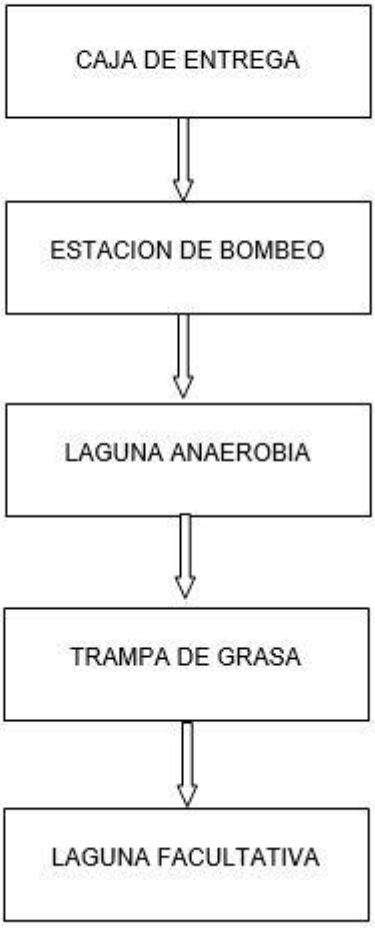
- Cota de ingreso = - 4.10 m.
- Cota de ingreso = -4.60 m.
- Cota de salida = -4.70 m".

[33] **"Campo de absorción:** Tendrá como función eliminar las aguas servidas que han sido previamente tratadas en el tanque séptico. Consta de drenes de percolación de tuberías pvc- C7.5 Ø 4" en 8 filas de 20.0 m. de longitud cada una. Estos drenes tienen ranuras de Ø 3/4" a 0.20 m. El interconectado hacia los drenes es mediante cajas distribuidoras de

concreto armado fc'=175 kg/cm^2 de dimensiones 0.60 x 0.60 x 0.50m. (medidas interiores, espesor de muros 0.10 m. Las tuberías percoladoras están enterradas en zanjas de 0.45 x 0.65 m. con un perfil transversal constituido por: A 0.65 m de profundidad con una capa de h=0.10 m de grava o piedra de Ø 1". A continuación la tubería ranurada Ø 4", luego otra capa de 0.05 m. de grava o piedra de Ø 1" y finalmente una capa de 0.40 m de terreno natural".

Figura 8

Diagrama de bloques del sistema de tratamiento de agua residual



3.1.2. Aplicación de la metodología para determinar la HdC en la planta de tratamiento de agua residual

I. FASE: CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS

El cálculo de las emisiones, se realizaron en cinco etapas:

- **Primera etapa:** Se estableció los límites organizacionales bajo el enfoque operacional y se definió los límites operacionales. (Tabla adjunta).

Tabla 6

Tipos de alcances

Alcance 1: Emisiones directas de GEI	Emisiones directas que ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa	Ejemplo: Procesos industriales donde se ve involucrada la materia orgánica, vertimiento industrial tratado.
Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI	Incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa.	Electricidad adquirida se define como la que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la empresa
Alcance 3: Otras emisiones indirectas	Incluye las emisiones indirectas expandidas que ocurren fuera de la organización a partir de fuentes no pertenecientes o controladas por la misma, pero que están ligadas a sus actividades.	

- **Segunda Etapa:** Selección del año base, en función a la disponibilidad de datos para calcular los GEI.

  Año base: enero 2021

- **Tercera Etapa:** Identificación de los factores de emisión, en base a las actividades de la planta.

- **Cuarta etapa:** Cuantificación de los GEI

Emisiones de GEI = Datos de actividad x factor de emisión

Donde:

[2] "Dato de actividad es: medida cuantitativa de la actividad que produce una emisión".

[2] "Factor de emisión: El factor de emisión depende del tipo y características del proceso de transformación o tipo sectorial".

- Se realiza la conversión de CH_4 a CO2-eq

Tabla 7

GEI y su potencial de calentamiento global para un horizonte de 100 años

Gases de efecto invernadero (GEI)	Potencia de calentamiento Global (para obtener CO2eq se multiplica por	
Dióxido de Carbono (CO_2)	1	1
Metano (CH_4)	25	28
Óxido Nitroso (N_2O)	298	265
Hidrofluorcarbonados (SF_6)	22800	23500
Hidrofluorocarbonados (HFC`S)	124 – 14800	< 13900
Perfluorocarbonados (PFCS)	7390 – 12 200	<12400
Triflluoro de Nitrógeno (NF_3)	---	17200

Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.

Emisiones de (CO2eq) = Emisiones de GEI x Potencial de Calentamiento Global

Quinta Etapa: Se realiza la cuantificación de GEI

II. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se realizó un análisis fisicoquímico del sistema de tratamiento de aguas residuales. (Tablas adjuntas).

Tabla 8

Resultados de la caracterización del afluente entrada a la PTAR

Parámetros	Unidad	LMP	Resultados
Aceites y grasas	mg/L	20	25
Coliformes Totales	NMP/100 ml	10000	1.8×10^6
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	N.D	3.7×10^5
DBO_5	mg/L	100	315
DQO	mg/L	200	355
pH	Unidad de pH	6.5 -8.5	8.63
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	129.3
Temperatura (Max.)	°C	< 35	31.3

Tabla 9

Resultados de la caracterización del efluente entrada a la PTAR

Parámetros	Unidad	LMP	Resultados
Aceites y grasas	mg/L	20	0,75
Coliformes Totales	NMP/100 ml	10000	3.9×10^6
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	N.D	3.7×10^5
DBO_5	mg/L	100	69
DQO	mg/L	200	135.1
pH	Unidad de pH	6.5 -8.5	7,82
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	78,3
Temperatura (Max.)	°C	< 35	26

Tabla 10

Comparación del volumen afluente y el afluente de la PTAR

Parámetros	Afluente	Efluente
Aceites y grasas	25 mg/L	0.75 mg/L
Coliformes Totales	1.8 x10^6 NMP/100 ml	3.9 x10^6 NMP/100 ml
Coliformes Termotolerantes	3.7 x 10^5 NMP/ 100 ml	3.7 x 10^5 NMP/100 ml
DBO_5	315mg/L	69 mg/L
DQO	355 mg/L	135.1mg/L
pH	8.63	7.82
Solidos Totales Suspendidos	129.3 mg/L	78.3 mg/L
Temperatura (Max.)	31.3 °C	26 °C

Tabla 11

Comparación del efluente con los LMP

Parámetros	Efluente	LMP
Aceites y grasas	0,75 mg/L	20
Coliformes Totales	3.9 x10^6 NMP/100 ml	10000
Coliformes Termotolerantes	3.7 x 10^5 NMP/100 ml	N.D
DBO_5	69 mg/L	100
DQO	135.1mg/L	200
pH	7,82	6.5 -8.5
Solidos Totales Suspendidos	78,3 mg/L	150
Temperatura (Max.)	26 °C	< 35

III. VERTIMIENTO TRATADO (DQO)

La estación de bombeo tiene una capacidad de 3,6 l/s, se realizó el cálculo para un año.

$$= 2,6\ \frac{L}{s} \times \frac{60\ s}{L\ min} \times \frac{60\ min}{L\ h} \times \frac{24\ h}{día} \times \frac{355\ día}{1\ año}$$

$$= 81\ 993\ 600\ L/año$$

Empleando el valor de DQO = 135,1 m O_2/l, (mayor concentración) se determina la DQO* (capacidad de bombeo)

$$= 81\ 993600\ \frac{L}{año} \times \frac{135,1\ mg\ O_2}{L}$$

$$= 11\ 077\ 335,360\ mg\ O_2$$

Convirtiendo a Kg:

$$= 11\ 077\ 335\ 360\ \frac{mg\ O_2}{año} \times \frac{1\ kg}{1000000\ mg}$$

$$= 11\ 077,335\ KgO_2/\ año$$

IV. MATERIA ORGÁNICA DEGRADABLE

$$TOW = P * DBO * 0,001 * I * 365$$

[2] “Donde TOW: total de materia orgánica en las aguas residuales del inventario kg de DBO/año; P: población del país o lugar del año inventario;

0,001: conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO; I: Factor de corrección de DBO; 365: el número de días de un año".

Se ha considerado para la población e Índice de generación de DBO/persona a la población que vive en el cercado del distrito = 2841 personas.

Por lo tanto:

[2] "El DBO per cápita según (Cristancho, Gamez, Guerra, & Dueñas, 2018) es de 50 g/persona/día, este valor también fue comprobado por (Hidalgo & Mejía, 2010). Y el factor de corrección para el DBO industrial adicional al que ingresan a la PTAR por intermedio de los alcantarillados (1,25)"

Reemplazando:

TOW = 17 887,646 kg de materia orgánica

V. CONSUMO DE ENERGÍA ELECTRICA

Se ha tomado como referencia la motobomba centrifuga que corresponde a 6 HP

Conversión de HP a MW:

$$= 6\ HP \times \frac{1\ MW}{1341{,}02\ HP}$$

$$= 0{,}00444\ MW$$

La PTAR, funciona las 24 horas al día, entonces:

Número de horas en un año = 8760,00 horas

Expresado en MW/h:

= 0,00444 MW x 8760 h

= **39,929 MW/h (consumo de energía de la PTAR)**

VI. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN

[2] "Permite construir un inventario general de emisiones, el cual este compuesto por actividades o procesos, estos, son considerados por su alto consumo, por la alta frecuencia de la actividad o por la intensidad de emisiones de GEI. Los gases de efecto invernadero que se van a cuantificar son: metano (CH4), dióxido de carbono (CO2)".

- En las emisiones fugitivas se encuentran las emisiones de CO_2 (digestión aerobia) CH_4 (digestión anaerobia) y las emisiones de N_2O (subproducto de la Rx de nitrificación-desnitrificación)

La PTAR, está compuesta por instalaciones, por lo tanto, se utilizará el enfoque operacional; porque permite identificar y reducir los GEI.

Tabla 12

Fuentes de emisión según su alcance y datos de actividad

Tipo de emisión	Actividad
Alcance 1	Vertimiento tratado (Laguna anaeróbica)
	Materia orgánica degradable en aguas residuales
Alcance 2	Consumo de energía

Se va asumir que en el Alcance 1, las emisiones directas son controladas por los trabajadores de la PTAR (residuos líquidos), en relación al Alcance 2, que es por el uso de electricidad que consume la motobomba para que funcione la PTAR.

Tabla 13

Factores de emisión para aguas residuales

Capacidad máxima de producción	CMP	0.25
Factor de corrección	FC	0,8
Potencial global	PGC	28
		$kgCH_4/kg$ DQO

Fuente: Directrices del IPPC

Hallando factor de emisión:

F.E. = 0,25 x 0,8 x 28

F.E. = 5,6 Kg CH_4 e/kg DQO

El Factor de Emisión de la red eléctrica para el Perú es 0,52144 t CO2eq/MWh (recomendado por el MINAM).

VII. VERTIMIENTO TRATADO

Calculando el HdC, se utilizara la fórmula:

$$TOW\ T.S. = V.I.T * F.E. * PCC$$

[2] "Donde: TOW T.S es el total de emisión según su tipo de sistema de tratamiento de residuos líquidos industriales; V.I.T es vertimiento industrial tratado". [2] "F.E es el factor de emisión; PCC es el potencial de calentamiento global".

Reemplazando:

TOW T.S. = 11 077,335 KgO_2/ año x 0, 52144 t CO2eq/MWh x 28

TOW T.S. = 161 732,635 kgCO2e

Convirtiendo a ton:

TOW T.S. = 161,732 ton CO2e

VIII. MATERIA ORGÁNICA DEGRADABLE EN EL AGUA

$$TOW\ M.O. = M.O.D * F.E. * PCC$$

[2] "Donde: TOW P.I es el total de emisión de materia orgánica degradable en las aguas domesticas; M.O.D es materia orgánica degradable en aguas residuales domesticas; F.E es el factor de emisión; PCC es el potencial de calentamiento global".

TOW M.O. = M.O.D * F.E. * PCC

TOW M.O. = 17 887,646 kg x 0, 52144 t CO2eq/MWh x 28

TOW M.O. = 261 165. 355 kg CO2e

Convirtiendo Kilos a Toneladas:

TOW M.O. = 261, 165tn CO2e

IX. CONSUMO DE ENERGÍA PARA EL CALCULO DE HdC

Se aplica la fórmula:

$$TOW = C.E. * F.E.$$

[2] "Donde: TOW es el total de emisión por consumo de energía; C.E es el consumo de energía y F.E el factor de emisión".

TOW = 39,929 MWH x 0, 52144 t CO2eq/MWh

TOW = 831,344 ton CO2e

X. TOTAL EMISIÓN

$$\text{Emisiones GEI consolidado} = \text{Alcance 1} + \text{Alcance 2}$$

Emisiones GEI consolidado = 301,094 ton CO2e

XI. FASE C: CALCULO DE LA REMOCIÓN DE LOS GEI

Esta fase se realizó mediante la observación en campo para calcular la remoción de GEI. Esta remoción se realiza en función de la biomasa que se encuentra presente en la planta de tratamiento, por lo que, se descartó esta fase, dado que la biomasa no era significativa.

XII. FASE D: FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA

Esta fase se realiza en base a los resultados de HdC y la remoción en base a un balance:

$$\text{Balance} = \text{Emisiones totales} - \text{remociones}$$

En función a estos resultados se plantea estrategias para reducir la HdC.

- Aplicar un programa de saneamiento, que permita el ahorro económico en la PTAR.
- Disminuir las horas de operación de la bomba, para de esta forma disminuir el consumo de energía.
- Mantenimiento continúo del motor, bomba y el sistema de fluidos de la PTAR.
- Regulación continúa de la válvula de descarga.
- Instalar un indicador de presión que permita conocer cuando apagar la bomba.
- Analizar la posibilidad de emplear fuentes de energías renovables (paneles solares).
- Para la remoción de los GEI a través de la biomasa vegetal, realizar la reforestación en las áreas colindantes de la PTAR.

IV. DISCUSIÓN

4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Para el cálculo de las emisiones de los GEI, se realizó en base a [2] “las directrices de Protocolo de Gases Efecto Invernadero. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (edición revisada) del Worl Resource Institut - WRI y el World Busine Council for Sustainable Development WBCSD (World Business Council for Sustainable Development, 2005)”.

- Hay que señalar que para medir la HdC, [34] “Pandey, Agrawal y Pandey (2011) indican que se han establecido diversas iniciativas metodológicas. Las más relevantes han sido las metodologías PAS 2050, en Gran Bretaña, BPX30-323, en Francia, la norma ISO 14040/44, y el protocolo GHG del World Resource Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Además, mencionan los estándares del DEFRA en Gran Bretaña y de la Agencia Ambiental (EPA) de Estados Unidos. Pandey *et al.* (2011), Mc Kinnon (2010) y Radu, Scrieciu y Caracota (2013) coinciden en que el protocolo GHG del WRI y del WBCSD es la metodología más sólida para el estudio de la huella de carbono, tanto para el caso corporativo como para el de un producto”.

- La caracterización de las aguas residuales de la PTAR, se realizó análisis fisicoquímicos y microbiológicos, los que se compararon con los LMP, establecidos en la normativa, para poder establecer los límites operacionales. [34] “Las organizaciones interesadas en realizar estudios de emisiones y remoción de estos gases deben establecer los límites operativos”.

- Se ha utilizado el enfoque operacional para identificar y reducir los GEI, donde el valor de TOW T.S. = 161.32 ton CO2e, ya que [2] “para la medición de a huella de carbono (HdC), el presente estudio se sustentará mediante la metodología de Greenhouse Gas Protocol (GHG), puesto que provee guías para identificar fuentes de emisión a partir de actividades antropogénicas o procesos que se consideren fuente de emisión de GEI y además es una metodología de trayectoria donde se tiene que es una de las más usadas”.

- En relación al Factor de Emisión de la red eléctrica para el Perú es 0,52144 t CO2eq/MWh (recomendado por el MINAM). [34] “Sobre el uso de factores de emisión de gases de efecto invernadero para establecer las emisiones de carbono equivalente, el estándar de ciclo de vida de un producto del Protocolo GHG del WRI y del WBCSD (2011) sugiere emplear los (factores de emisión) que establece el IPCC. El estándar del protocolo GHG muestra dos formas de recolectar las emisiones de gases de efecto invernadero, una es midiéndolas de forma directa, y la otra, recolectando información sobre las actividades y estableciendo sus factores de emisión. Estos últimos son las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad, los cuales al multiplicarse por el dato de la actividad dan como resultado la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero”.

- El valor de 39,929 MW/h (consumo de energía de la PTAR) determina [34] “que los medios para enfrentar el cambio climático contemplan la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la rehabilitación de los bosques y un cambio profundo en el sistema energético”.

V. CONCLUSIONES

1. Se concluye que en la Planta de Agua Residual del distrito de Paracas para el año base 2021 se emitieron de GEI: 301, 094 ton CO2e (Alcance 1). En relación al consumo de energía en la PTAR (emisiones de Alcance 2), se emitieron 831.344 tonCo2e/año, valores que contribuyen significativamente al calentamiento global.

2. El consumo energético representa el mayor impacto en el total de las emisiones cuando se emplea el Factor de Emisión de la red eléctrica para el Perú es 0,52144 t CO2eq/MWh (recomendado por el MINAM), que es relevante cuando se calcula la HdC.

3. Las PTAR del distrito de Paracas, presentan laguna para la remoción de carga orgánica, actualmente estos sistemas no son eficientes para al cálculo de las emisiones de GEI, debido a que el área total de la PTAR, no permite capturar totalmente los gases generados (Por ejemplo N_2O y CH_4); es decir, este sistema presenta como característica ser solamente un generador de CO2.

4. En la investigación, no se incluyó las emisiones generadas por los equipos y el consumo de energía propio de la operación de la PTA (oficinas, caseta de vigilancia), se excluyeron estos datos de la carga orgánica del agua residual, que es la que donde existe mayor emisión de GEI.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para la reducción de la HdC, se recomienda que toda la energía que utilice la PTAR, provenga de otras fuentes de energía renovable, como por ejemplo el uso de paneles solares, que son menos emisores de CO2 y que se instale bombas de alta eficiencia, para la alimentación al sistema de tratamiento de agua residual.

2. En la PTAR del distrito de Paracas, se debe realizar el cálculo de la HdC, anualmente para evaluar su variación en relación al año base y de esta manera cuantificar y aplicar las medidas de reducción de la HdC.

3. Para el cálculo de la HdC, se recomienda tener en cuenta los valores operacionales de la PTAR, es decir los variaciones diurnas, el diseño de la planta y el tipo de tratamiento que se aplica, asimismo, debe aplicarse un Manual de buenas prácticas para la estimación de las emisión y remoción de los GEI.

4. Se recomienda para completar el total de las emisiones de las PTAR, incorporar las emisiones del Alcance 3 (transporte externos de la PTAR, caseta de vigilancia) y la inclusión de las emisiones de N_2O y CH_4, que permita de esta manera considerar el total de los impactos e emisiones generados y aplicar estrategias en la gestión e innovación de la PTAR.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. Torre García, “Diseño y análisis ambiental de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Huaraz,” Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2018.

[2] H. J. Iglesias Fernández and J. E. Laguna Ibarra, “Calculo de la huella de carbono de una planta de agua residual de un parque industrial ubicado en Malambo, Atlantico,” Universidad de la Costa, 2021.

[3] C. M. Chini and A. S. Stillwell, “The State of U.S. Urban Water: Data and the Energy-Water Nexus,” *Water Resour. Res.*, vol. 54, no. 3, pp. 1796–1811, 2018.

[4] U.S.EPA, “Energy Efficiency in Water and Wastewater Facilities,” *U.S. Environmental Protection Agency*. p. 49, 2014.

[5] L. Zib, D. M. Byrne, L. T. Marston, and C. M. Chini, “Operational carbon footprint of the U.S. water and wastewater sector’s energy consumption,” *J. Clean. Prod.*, vol. 321, no. December 2020, p. 128815, 2021.

[6] M. R. Hall, J. West, B. Sherman, J. Lane, and D. de Haas, “Long-term trends and opportunities for managing regional water supply and wastewater greenhouse gas emissions.,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 12, pp. 5434–5440, 2011.

[7] M. G. Ramírez Melgarejo, “Propuesta metodológica para estimar N2O en inventarios de emisión y evaluaciones de eco-eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales,” Universidad Politècnica de Catalunya, 2021.

[8] Q. Zhang, J. Nakatani, T. Wang, C. Chai, and Y. Moriguchi, “Hidden greenhouse gas emissions for water utilities in China’s cities,” *J. Clean. Prod.*, vol. 162, pp. 665–677, 2017.

[9] A. Strazzabosco, S. J. Kenway, and P. A. Lant, “Quantification of renewable electricity generation in the Australian water industry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 254, p. 120119, 2020.

[10] C. Copeland, “Energy-Water Nexus : The Water Sector ’ s Energy Use.” Congressional Research Service, p. 13, 2014.

[11] P. Rao, R. Kostecki, L. Dale, and A. Gadgil, “Technology and Engineering of the Water-Energy Nexus,” *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 42, pp. 407–437, 2017.

[12] A. K. Plappally and J. H. Lienhard V, “Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 7, pp. 4818–4848, 2012.

[13] Hoegh-Guldberg O., Jacob D., Taylor M., Bindi M., Brown S., Camilloni I., Diedhiou A., Djalante R. et al. (Achlatis M. listed as contributing author), “Chapter 3: Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In: Global Warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways [...],” *Spec. Report, Intergov. Panel Clim. Chang.*, no. ISBN 978-92-9169-151-7, pp. 175–311, 2018.

[14] J. O. Valderrama, C. Espíndola, and R. Quezada, “Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias,” *Form. Univ.*, vol. 4, no. 3, pp. 3–12, 2011.

[15] R. R. Condori Quispe, “‘Evaluación de la reducción de gases de efecto invernadero en la producción de cuero, mediante el sistema de colector solar y sistema fotovoltaico para la industria de curtiembre Pieles del Sur E.I.R.L. en Arequipa, 2018,’” Universidad Nacional De San Agustín de Arequipa, 2021.

[16] P. Liu, L. Liu, X. Xu, Y. Zhao, J. Niu, and Q. Zhang, “Carbon footprint and carbon emission intensity of grassland wind farms in Inner Mongolia,” *J. Clean. Prod.*, vol. 313, no. June, p. 127878, 2021.

[17] M. S. Mancini *et al.*, “Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation,” *Ecol. Indic.*, vol. 61, pp. 390–403, 2016.

[18] S. Alvarez, M. Sosab, and A. Rubioa, “Product and corporate carbon footprint using the compound method based on financial accounts. The case of Osorio wind farms,” *Appl. Energy*, vol. 139, pp. 196–204, 2015.

[19] K. H. Lee, “Integrating carbon footprint into supply chain management: The case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 19, no. 11, pp. 1216–1223, 2011.

[20] Q. Zhang, C. Wu, X. Fei, B. A. Jang, and D. Liu, “Time-dependent behavior of rock joints considering asperity degradation,” *J. Struct. Geol.*, vol. 121, no. December 2018, pp. 1–9, 2019.

[21] J. Li, S. Li, and F. Wu, “Research on carbon emission reduction benefit of wind power project based on life cycle assessment theory,” *Renew. Energy*, vol. 155, pp. 456–468, 2020.

[22] S. Ji and B. Chen, “Carbon footprint accounting of a typical wind farm in China,” *Appl. Energy*, vol. 180, pp. 416–423, 2016.

[23] K. B. Aviso, C. L. Sy, R. R. Tan, and A. T. Ubando, “Fuzzy optimization of carbon management networks based on direct and indirect biomass co-firing,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 132, no. July, 2020.

[24] D. Nugent and B. K. Sovacool, “Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions

from solar PV and wind energy: A critical meta-survey," *Energy Policy*, vol. 65, pp. 229–244, 2014.

[25] N. Cruz Pérez, J. C. Santamarta Cerezal, C. García, P. Rodríguez Lozano, and D. Tirado, *La huella de carbono en las infraestructuras hidráulicas de las Islas Baleares*. 2021.

[26] S. J. Kenway *et al.*, "Defining water-related energy for global comparison, clearer communication, and sharper policy," *J. Clean. Prod.*, vol. 236, p. 117502, 2019.

[27] K. Feng, K. Hubacek, Y. L. Siu, and X. Li, "The energy and water nexus in Chinese electricity production: A hybrid life cycle analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39. Elsevier, pp. 342–355, 2014.

[28] C. Rosenzweig, W. Solecki, S. A. Hammer, and S. Mehrotra, "Cities lead the way in climate-change action," *Nature*, vol. 467, pp. 9–11, 2010.

[29] D. Griggs *et al.*, "Sustainable development goals for people and planet," pp. 5–7, 2015.

[30] L. Zib, D. M. Byrne, L. T. Marston, and C. M. Chini, "Operational carbon footprint of the U.S. water and wastewater sector's energy consumption," *J. Clean. Prod.*, vol. 321, no. July, p. 128815, 2021.

[31] A. Strazzabosco, S. J. Kenway, and P. A. Lant, "Solar PV adoption in wastewater treatment plants: A review of practice in California," *J. Environ. Manage.*, vol. 248, no. March, p. 109337, 2019.

[32] C. M. Aquije Heredia, C. E. Arribasplata Caballero, F. J. Da Cruz Cárdenas, and S. E. Herrera Chumpitaz, "Índice de Progreso Social para el Distrito de Paracas," Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2019.

[33] SERNANP and MINAGRI, "'Reservorio de agua potable y planta de tratamiento de aguas residuales en el Centro de Interpretación de la Reserva Nacional de Paracas,'" Paracas, 2009.

[34] N. Robles Obando, "Modelo para la Identificación y Reducción de la Huella de Carbono de una Cadena de Suministros Industrial," Universidad Nacional Costa Rica, Tecnologico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, 2018.