

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA EL  
PROYECTO: RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES  
FASE VIII DE LA EMPRESA SOLETANCHE BACHY PERÚ  
S.A.C”**

**PARA OPTAR:  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CARLA MILAGROS ELORREAGA ALFEREZ**

**TACNA – PERÚ**

**2024**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**“ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA EL  
PROYECTO: RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES  
FASE VIII DE LA EMPRESA SOLETANCHE BACHY PERÚ  
S.A.C”**

Tesis sustentada y aprobada el 25 de octubre de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mtra. MILAGROS HERRERA REJAS**

**SECRETARIO : Mtro. RICARDO WILLIAM NAVARRO AYALA**

**VOCAL : Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS**

**ASESOR : Mtra. MARISOL MENDOZA AQUINO**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Carla Milagros Elorreaga Alferez, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 73183753, así como Marisol Mendoza Aquino con DNI 29423898; declaramos en calidad de autora y asesora que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *Estimación de la Huella de Carbono para el proyecto: recrecimiento de la presa de relaves fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Ambiental*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Carla Milagros Elorreaga Alferez

DNI: 73183753

Tacna, 29 de septiembre de 2024

Marisol Mendoza Aquino

DNI: 29423898

## **DEDICATORIA**

A mi familia Yessica Alferez, Fabiola Alferez y David Elorreaga por ser el principal pilar de mi vida, estar conmigo en cada momento, en mi crecimiento personal y profesional y por su amor incondicional que me hace valiente para los retos que se presentan en el camino.

También agradecer a mis amigos más allegados por su apoyo y acompañarme en este proceso.

Carla Milagros Elorreaga Alferez

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme llegar hasta este punto de la vida y de lograr todas mis metas de la mano de mis seres queridos.

A mi madre por su todos los sacrificio que ha realizado para que yo pudiera estar aquí y por luchar junto a mí para lograr mis sueños.

Finalmente, agradecer a la empresa Soletanche Bachy por brindarme una gran oportunidad laboral, ayudarme a crecer profesionalmente, confiar en mi para el desarrollo de esta tesis y por las maravillosas personas que he podido conocer.

Carla Milagros Elorreaga Alferez

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problema específico.....	3
1.3 Justificación e importancia.....	4
1.3.1 Justificación social.....	4
1.3.2 Justificación ambiental.....	4
1.3.3 Justificación económica.....	5
1.3.4 Importancia.....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivos general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de investigación.....	7
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	14
2.1.3 Antecedentes locales.....	18
2.2 Bases teóricas.....	18
2.2.1 Huella de carbono.....	19
2.2.2 Gases de efecto invernadero.....	21

2.2.3 El cambio climático y el calentamiento global.....	23
2.2.4 Relación entre los gases de efecto invernadero y el cambio climático .....	25
2.2.5 CO <sub>2</sub> Equivalente (CO <sub>2</sub> Eq.) y Potencial de Calentamiento Global (PCG).....	26
2.2.6 Normativa internacional y metodologías para la cuantificación de la huella de carbono .....	28
2.2.7 Impacto ambiental y huella de carbono en la minería.....	32
2.2.8 Gestión ambiental y sostenibilidad en la minería.....	36
2.3 Definición de términos.....	37
2.3.1 Bonos de carbono .....	37
2.3.2 Calentamiento global.....	38
2.3.3 Ciclo de vida de los minerales.....	38
2.3.4 Efecto invernadero .....	38
2.3.5 Economía circular .....	38
2.3.6 Factores de emisión.....	39
2.3.7 Gases de Efecto Invernadero (GEI) .....	39
2.3.8 Gestión ambiental .....	39
2.3.9 Lixiviación .....	39
2.3.10 Potencial de calentamiento global.....	40
2.3.11 Responsabilidad Social Empresarial.....	40
2.3.12 t CO <sub>2</sub> eq.....	40
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	41
3.1 Diseño de la investigación.....	41
3.2 Acciones y actividades .....	41
3.2.1 Identificación de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero .....	41
3.2.2 Cuantificación por tipo de emisiones de gases de efecto invernadero.....	42
3.2.3 Cálculo de la Huella de Carbono.....	45
3.3 Materiales y/o instrumentos.....	45
3.3.1 Materiales .....	45
3.3.2 Instrumentos .....	45
3.4 Población y/o muestra de estudio.....	45
3.5 Operacionalización de variables.....	46
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis estadístico .....	47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	48
4.1 Identificación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII. ....	48

4.2	Cuantificación de la huella de carbono de las fuentes de emisiones del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.....	49
4.3	Formulación de las acciones de mejora para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.....	59
4.3.1	Realización de mantenimientos predictivos y preventivos .....	60
4.3.2	Optimización del ciclo de trabajo .....	60
4.3.3	Capacitación y concientización .....	60
4.3.4	Reducción del consumo de energía. ....	61
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN. ....	63
5.1	Identificación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII. ....	63
5.2	Cuantificación de la huella de carbono de las fuentes de emisiones del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.....	64
5.3	Formulación de las acciones de mejora para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.....	65
	CONCLUSIONES .....	66
	RECOMENDACIONES .....	67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
	ANEXOS .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores Ambientales .....	21
Tabla 2. Resumen de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por Sector de Emisión .....	23
Tabla 3. Impacto comparativo de calentamiento de gases de efecto invernadero (GEI) en un período de 100 años.....	27
Tabla 4. Operacionalización de variables de investigación.....	47
Tabla 5. Fuentes de Emisión según los alcances.....	49
Tabla 6. Consumo mensual de Combustible del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	50
Tabla 7. Consumo de combustible por tipo de equipo y vehículo del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	51
Tabla 8. Consumo de agua mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	52
Tabla 9. Consumo de papel mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	54
Tabla 10. Consumo de cemento mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	55
Tabla 11. Emisión de $CO_2$ equivalente por consumo de combustible anual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	56
Tabla 12. Emisión de $CO_2$ equivalente por consumo de agua anual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	57
Tabla 13. Emisión de $CO_2$ equivalente por consumo de papel anual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	57
Tabla 14. Emisión de $CO_2$ equivalente por consumo de cemento anual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	58
Tabla 15. Emisiones de dióxido de carbono del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	58
Tabla 16. Frecuencia de acción, presupuesto aproximado y responsables de la formulación de acciones de mejora para el Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedio de Temperatura Global por año en relación con los niveles preindustriales (1850-1900) y (1850-2022) en grados .....	25
Figura 2. Mapa de procesos.....	42
Figura 3. Ubicación del área de estudio .....	46
Figura 4. Mapa de la identificación de emisiones por consumo de suministros .....	48
Figura 5. Consumo mensual de Combustible en el Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalés Fase VIII .....	50
Figura 6. Consumo de combustible por tipo de equipo y vehículo del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalés Fase VIII .....	52
Figura 7. Consumo de agua mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalés Fase VIII .....	53
Figura 8. Consumo de papel mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalés Fase VIII .....	54
Figura 9. Consumo de cemento mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalés Fase VIII .....	56
Figura 10. Emisiones de dióxido de carbono del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalés Fase VIII .....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia .....	76
Anexo 2. Ficha de registro del consumo de combustible .....	77
Anexo 3. Ficha de registro del consumo de agua .....	78
Anexo 4. Ficha de registro del consumo de papel .....	79
Anexo 5. Ficha de registro del consumo de cemento .....	80

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal estimar la huella de carbono para el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. Para lo cual se utilizó la metodología del Dr. Abel Crispin Jurado, que implicaba cálculos a partir de la identificación de emisiones de gases de efecto invernadero de manera directa e indirecta de un proyecto y la estimación de la Huella de Carbono, adaptado a las actividades del proyecto. En cuanto a los resultados, se identificaron las principales fuentes de emisión de GEI, siendo el consumo de combustible de manera directa y el consumo de agua, papel y cemento de manera indirecta. Posteriormente, se cuantificaron tales emisiones. El total de emisiones del proyecto fue de 1 279,21 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, con el combustible (705,93 toneladas) y el cemento (567,02 toneladas) como los mayores contribuyentes. Con base en estos resultados, se formularon acciones de mejora enfocadas en la reducción de emisiones, como la implementación de mantenimientos preventivos, la optimización tiempos de trabajo, y la capacitación de operadores en técnicas de conducción eficiente. Estas medidas buscan minimizar el impacto ambiental del proyecto, contribuyendo a la sostenibilidad en la actividad minera. Finalmente, se concluye que la estimación de la huella de carbono es fundamental para la gestión ambiental en proyectos mineros, y que las acciones propuestas permiten una reducción efectiva de las emisiones, contribuyendo al cumplimiento y mitigación del cambio climático.

**Palabras clave:** consumo; dióxido de carbono; emisiones directas e indirectas; huella de carbono.

## ABSTRACT

The main objective of this research is to estimate the carbon footprint for the project: Tailings Dam Phase VIII of the company Soletanche Bachy Peru S.A.C. For which the methodology of Dr. Abel Crispin Jurado was used, which involved calculations based on the identification of direct and indirect greenhouse gas emissions of a project and the estimation of the Carbon Footprint, adapted to the activities of the project. As for the results, the main sources of GHG emissions were identified, being fuel consumption directly and water, paper and cement consumption indirectly. These emissions were then quantified. Total project emissions were 1,279.21 tons of CO<sub>2</sub> equivalent, with fuel (705.93 tons) and cement (567.02 tons) as the largest contributors. Based on these results, improvement actions focused on reducing emissions were formulated, such as the implementation of preventive maintenance, optimization of work times, and training of operators in efficient driving techniques. These measures seek to minimize the environmental impact of the project, contributing to the sustainability of the mining activity. Finally, it is concluded that the estimation of the carbon footprint is fundamental for environmental management in mining projects, and that the proposed actions allow an effective reduction of emissions, contributing to compliance and mitigation of climate change.

**Key words:** consumption; carbon dioxide; direct and indirect emissions; carbon footprint.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, el interés por el cambio climático ha alcanzado un nivel crítico, motivada por un aumento significativo en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global. Este fenómeno, impulsado principalmente por actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la industrialización, ha generado consecuencias alarmantes para el planeta, incluyendo el aumento de la temperatura global, cambios en los patrones climáticos y la pérdida de biodiversidad. En este contexto, la huella de carbono emerge como un concepto fundamental para medir y comprender el impacto ambiental de nuestras acciones.

La huella de carbono (HC) se conoce como la cantidad total de gases de efecto invernadero, indicada en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, que son emitidos, tanto directa como indirectamente, a lo largo de las actividades humanas que contribuyen al cambio climático.

El análisis de la huella de carbono no solo permite identificar las principales fuentes de emisiones, sino que también subraya la necesidad de adoptar enfoques más sostenibles en todos los sectores de la sociedad. Por ejemplo, la transición hacia energías renovables, la implementación de prácticas de eficiencia energética y la promoción de estilos de vida sostenibles son esenciales para mitigar el impacto ambiental y contribuir a la reducción de emisiones.

La presente tesis titulada Estimación de la Huella de Carbono para el Proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la Empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C, tiene como objetivo cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas en dicho proyecto, con el fin de proponer acciones de mejora para mitigar su impacto ambiental. Esta investigación responde a la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de GEI en actividades industriales, como la minería.

Se aborda la situación problemática que justifica la investigación, formulando el problema general y específico de la tesis, así como los objetivos e hipótesis. También se identifican las principales variables y se presenta la importancia social, ambiental y económica del estudio, destacando su relevancia para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Descripción del problema

En la actualidad, la actividad humana ha generado un importante aumento de los gases de efecto invernadero (metano, óxido nitroso, Dióxido de Carbono, entre otros) durante las últimas décadas en el planeta (Naciones Unidas, 2024). La quema de combustibles fósiles como el petróleo, gas y carbón son la principal fuente de estas emisiones que atrapan el calor del sol lo cual trae consigo alteración de patrones climáticos lo cual genera a su vez múltiples riesgos para todas las formas de vida en el planeta según informa (Naciones Unidas, 2021).

A raíz de esta problemática se generan eventos climáticos extremos: inundaciones, olas de calor, incendios, huracanes, sequías, reducción de las fuentes hídricas, etc., lo cual trae consigo escasez de agua y alimentos, incremento de las enfermedades y plagas, destrucción de ecosistemas, pérdida de vidas humanas, desplazamiento de comunidades e incremento de la pobreza (Naciones Unidas, 2021).

De acuerdo al Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023 emitido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente se alcanzó un nuevo récord de incremento de temperatura por encima de los niveles preindustriales siendo ese año el más cálido del que se tiene registro acercándonos cada vez más al límite de temperatura permitida 1,5 °C especificado en el acuerdo de París en 2015 (Naciones Unidas, 2023b; NASA, 2024). Es raíz de estos informes negativos que la conciencia sobre el cambio climático está aumentando debido a la presión y el papel que desempeña la humanidad en su entorno.

Los procesos industriales de las empresas son las principales fuentes de agotamiento y uso de los recursos naturales. De acuerdo con Cornelio Yzaguirre (2023) el principal factor de GEI son aquellos generados por el uso intensivo de energías fósiles (expresados en toneladas de  $CO_2$  eq).

En el contexto nacional peruano, según El Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN, 2023b) en su informe Megatendencias 2050 se menciona que una de las principales causas del daño medioambiental es el crecimiento de la industria. Así mismo, en otro informe emitido por el mismo organismo (CEPLAN, 2023a) se señala a la actividad minera como la principal generadora de infracciones impuestas por el

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) con el 32 % del total de infracciones hasta marzo de 2023.

Por tal motivo, investigar instrumentos de cuantificación de la contaminación atmosférica y mitigar sus efectos al medio ambiente son una necesidad que debe ser prioridad abordar tanto a largo como a corto plazo.

La empresa Soletanche Bachy es una empresa constructora multinacional que es líder mundial en cimentaciones y tecnologías de suelo especializada en procesos geotécnicos y puesta en marcha de todo tipo de estructuras: presas, túneles, carreteras, edificios industriales, residenciales, entre otros (Soletanche Bachy, 2019).

Las actividades realizadas por su filial en Perú, Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto la unidad minera Antamina denominada “Proyecto de recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII” cobra mucha relevancia ya que en sus actividades se genera importantes emisiones de GEI. Debido a ello, la empresa plantea alternativas para atender esta problemática, teniendo un compromiso ético con el medio ambiente comprometiéndose con la sostenibilidad.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación es estimar la Huella de Carbono para el mencionado proyecto, así como generar formulas y acciones de mejoras ambientales.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál será la huella de carbono para el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.?

### **1.2.2 Problema específico**

- a. ¿Cuáles son las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII?
- b. ¿Cómo se cuantifica la huella de carbono de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII?

- c. ¿Cuáles son las acciones de mejora para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII?

### **1.3 Justificación e importancia**

En los últimos años, ha habido un aumento en la conciencia de los efectos y la presión que la actividad humana ejerce sobre nuestro entorno, así como los riesgos que puede generar. De esta manera, se demuestra que el calentamiento global es causado por factores antrópicos, en especial la minería, que se basa en las emisiones directas e indirectas de GEI para sus actividades extractivas la cuales han impactado negativamente en el medio ambiente y han generado a una percepción negativa del sector minero (Ting Lo, 2024).

El desarrollo sostenible es una forma de combatir la pobreza y mejorar la calidad de vida en todo el mundo. Es fundamental que la comunidad global cumpla con los ODS acordado por las Naciones Unidas e incluido en los compromisos del Acuerdo de París de 2015 para reducir las emisiones (Naciones Unidas, 2023). En ese sentido, esta investigación es relevante porque al estimar el impacto de la huella de carbono Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C se está contribuyendo principalmente al ODS 13 que trata de la medición y la reducción potencial del impacto de la huella de carbono, contribuyendo así a la acción climática (Naciones Unidas, 2023).

#### **1.3.1 Justificación social**

La presente tesis tendrá una importante relevancia social debido a que la estimación de la huella de carbono en el proyecto de Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C permitirá establecer acciones para reducir el impacto social asociado a la actividad minera.

#### **1.3.2 Justificación ambiental**

La presente tesis tendrá una importante relevancia ambiental debido a que la estimación de la huella de carbono en el proyecto de Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C contribuye a mejorar la gestión ambiental en el sector minero y la adopción de prácticas sostenible lo que ayudará a mantener la salud de los ecosistemas en un país con tanta biodiversidad como el Perú.

### **1.3.3 Justificación económica**

La presente tesis tendrá una importante relevancia económica debido a que la estimación de la huella de carbono en el proyecto de Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C puede ayudar a las empresas mineras a generar reducciones de costos operativos, así como un incremento en su reputación de marca al demostrar responsabilidad ambiental.

### **1.3.4 Importancia**

En Perú, aún existen escasas compañías que han integrado en sus sistemas de administración ambiental la evaluación de sus huellas de carbono y sus estrategias de mitigación, lo que conlleva repercusiones económicas y sociales para la compañía y su área de autoridad, según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2024).

Por tal motivo, la importancia de esta investigación al ampliar la comprensión de la estimación de la huella de carbono que permitirá generar acciones de mejora para su reducción en el sector.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivos General**

Estimar la huella de carbono para el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- a. Identificar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.
- b. Cuantificar la huella de carbono de las fuentes de emisiones del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.
- c. Formular acciones de mejora para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.

## **1.5 Hipótesis**

La determinación de la huella de carbono generados en los procesos del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C, es significativa para la reducción de emisión GEI.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de investigación

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Vandeginste (2024), publicó el artículo titulado: "*Exploratory Review on Environmental Aspects of Enhanced Weathering as a Carbon Dioxide Removal Method*" publicado en la revista Minerals de la editorial académica Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) tiene como objetivo principal de la investigación es proporcionar una comprensión general del "weathering" (meteorización acelerada, es una tecnología de eliminación de dióxido de carbono), enfatizar sus aspectos ambientales y estimular la investigación adicional en este campo. Esta investigación es relevante al brindar estrategias innovadoras para la eliminación del CO<sub>2</sub>.

La tesis de González y Otero (2024), titulada : "Evaluación preliminar de huella de carbono de planta de procesamiento de minerales auríferos de Vetas Santander" defendida en la Universidad Industrial de Santander se planteó como objetivo analizar y cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante el procesamiento de minerales auríferos, a su vez identificar áreas muy afectadas que requieran mejoras gradualmente y plantear soluciones sostenibles para mitigar el impacto ambiental. La metodología aplicada en el estudio es tipo cuantitativa, con un alcance descriptivo y exploratorio. Se realizó un punto de análisis de ciclo de vida como parametro principal abarcando un horizonte temporal de un año para la recolección de datos. Las normas utilizadas incluyen la ISO 14064 y PAS 2050. Las técnicas de recolección de datos incluyeron la recopilación de información de consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> a través de visitas técnicas y análisis de registros internos. Se concluye que el proceso de molienda, específicamente el molino de bolas, es el que genera más emisiones de CO<sub>2</sub>, aportando un 77,7 % de los kilogramos CO<sub>2</sub> equivalentes. Se establece que la huella de carbono total de la mina Reina de Oro es de 9961,73 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> al año, lo que representa aproximadamente el 0,00018 % total. Se propone la instalación de paneles solares y la forestación en zonas aledañas a la mina como soluciones para reducir la huella de carbono. Esta investigación es de suma importancia que proporciona una metodológico y evidencia sobre la importancia de evaluar las emisiones en el contexto de la minería, lo que puede ser aplicado para mitigar el impacto ambiental de las operaciones relacionadas con los relaves mineros.

Ting Lo (2024), en su artículo titulado: "*Reclaiming the future: Innovative paths for post-mining prosperity*" publicado en la revista *Canadian Mining Journal* indexada en la Base de datos académica Proquest tiene como objetivo analizar cómo la industria minera y metalúrgica está buscando transformarse hacia un futuro más sostenible y responsable centrándose en tres áreas claves: Gestión de desechos, gestión del agua y gestión de cierre de minas. En cuanto a la metodología El texto presenta una revisión de las tendencias actuales en la industria minera y metalúrgica, utilizando ejemplos de proyectos innovadores y estudios de caso. Esta investigación es relevante debido a que ofrece una visión general de las tendencias y las iniciativas que están impulsando la sostenibilidad en la industria, lo que puede ser útil para la investigación sobre la huella de carbono.

La tesis doctoral de Adrianto (2023), titulada: "*Environmental Perspectives on Emerging Resource Recovery Systems of Mine Tailings: A Life Cycle Consideration*", fue defendida en la Universidad de Zurich, Suiza tuvo como objetivo principal evaluar las implicaciones ambientales del reprocesamiento de relaves de cobre utilizando herramientas de ecología industrial. La metodología de investigación utilizada abarca un enfoque de Ciclo de Vida prospectiva, con un alcance que incluye la evaluación de diferentes escenarios de gestión de relaves en un horizonte temporal que se extiende hasta 2050. Se aplicaron normas y protocolos internacionales, como ISO 14040 y 14044, para asegurar la calidad del análisis. La tesis concluye que la implementación de sistemas de recuperación de recursos a partir de relaves puede contribuir a la sostenibilidad en la minería, pero también subraya la necesidad de considerar cuidadosamente las compensaciones entre diferentes impactos ambientales y la importancia de desarrollar tecnologías más eficientes y sostenibles en el futuro. La relevancia de este estudio radica en que proporciona un marco metodológico robusto y datos sobre las emisiones asociadas a la gestión de relaves. Además, las soluciones propuestas y el enfoque en la sostenibilidad pueden guiar la toma de decisiones en la gestión de residuos mineros, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono en proyectos similares.

La investigación de Islam et al (2022), titulada: "Ecological footprint accounting of mining areas and metal production of the world", publicado en la revista *Resources, Conservation & Recycling* tuvo como principal objetivo calcular la huella ecológica de la tierra construida (áreas modificadas por actividades humanas) y la tierra de absorción de carbono (áreas de tierra que tienen la habilidad de infiltrar y almacenar dióxido de carbono) asociada a las actividades mineras a nivel global, utilizando un conjunto de

datos de 295 minas en 43 países. Para abordar este problema, los autores propusieron soluciones que incluyen la revisión de los factores de rendimiento y equivalencia de la tierra construida, así como la implementación de tecnologías más sostenibles en la minería para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. La metodología de investigación utilizada fue de enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental transversal. Se emplearon técnicas de análisis de datos basadas en la revisión de literatura y la corrección de factores de rendimiento y equivalencia, utilizando datos de producción y características de las minas. La relevancia de este estudio radica en que proporciona un marco metodológico sólido y se muestra las emisiones por consecuencia de actividades mineras.

La investigación de tesis de Urrutia (2022), titulada "Evaluación del potencial de reducción de huella de carbono en tronadura a partir de hidrógeno verde" defendida en la Universidad de Chile tuvo como objetivo principal el análisis de cómo la producción de nitrato de amonio a partir de hidrógeno verde puede contribuir a la reducción de la huella de carbono asociada a la minería, específicamente en los procesos de tronadura. Para abordar este objetivo, la tesis propone soluciones que incluyen la implementación de tecnologías de electrólisis para obtener hidrógeno verde, así como la producción de amoníaco verde como insumo para la fabricación de explosivos, lo que permitiría disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en la minería. La metodología de investigación utilizada en esta tesis es de carácter cuantitativo y descriptivo, con un enfoque en la evaluación de procesos productivos. Se empleó una estrategia de análisis de casos, considerando diferentes escenarios de producción de nitrato de amonio, y abarcando un horizonte temporal que se centra en el presente y proyecciones a futuro. Se utilizó el GHG Protocol como norma para la medición de la huella de carbono y se realizaron balances de masa y análisis de emisiones para calcular la huella de carbono asociada a cada caso. Las técnicas de recolección de datos incluyeron la revisión de literatura existente y el análisis de datos secundarios relacionados con la producción de hidrógeno y amoníaco. Esta tesis es un antecedente relevante ya que proporciona datos específicos sobre la producción de insumos con menor huella de carbono y ofrece estrategias concretas para mitigar las emisiones en procesos industriales relacionados con la minería, lo que puede ser fundamental para el desarrollo de proyectos sostenibles en este sector.

El artículo de Qarahasanlou et al. (2022), titulado : "*Introducing sustainable development and reviewing environmental sustainability in the mining industry*" que fue publicado en la revista Rudarsko-geološko-naftni zbornik (Revista de Minería, Geología

y Petróleo) tuvo objetivo principal analizar las prácticas de desarrollo sostenible y la sostenibilidad ambiental en la industria minera, identificando los problemas ambientales más críticos asociados con las operaciones mineras, como el fracaso de presas de relaves, la degradación del suelo y la contaminación del agua. Para abordar estos problemas, los autores proponen soluciones que incluyen la implementación de tecnologías limpias, la optimización de procesos mineros y la adopción de un enfoque integral que minimice la utilización de material y energía en todas las etapas de la minería. La metodología de investigación utilizada fue un enfoque de revisión sistemática, con un alcance descriptivo que abarcó estudios previos y documentos relevantes en el campo. La estrategia de investigación fue cualitativa, con un horizonte temporal que consideró investigaciones recientes. Se emplearon normas de revisión bibliográfica y técnicas de análisis de contenido para evaluar la información recopilada. Este artículo es un antecedente relevante para la investigación al ofrecer soluciones prácticas que pueden ser aplicadas para mitigar las emisiones y tener una mejora en la gestión en el enfoque ambiental para proyecto del área minera.

El artículo de Bascompta et al (2022), titulado *"Corporate Social Responsibility Index for Mine Sites"* fue publicado en la revista *"Sustainability"* y tuvo como objetivo principal de estudio el desarrollo de un índice cuantitativo que permita analizar el nivel de responsabilidad social corporativa (CSR) en sitios mineros, facilitando la identificación de impactos positivos y negativos en las dimensiones socioeconómicas y ambientales. Para abordar este desafío, los autores proponen un sistema que incluye 30 elementos que pueden ser adaptados a las características específicas de cada actividad minera, promoviendo así la mejora continua y el compromiso de los interesados. El plan de desarrollo de la investigación con su metodología tuvo una vista cuantitativa con un diseño no experimental transversal. La investigación concluye que el índice propuesto para analizar el nivel de responsabilidad social corporativa (CSR) en sitios mineros es una herramienta útil y flexible que puede adaptarse a las características específicas de cada proyecto minero. Este artículo es un antecedente relevante ya que proporciona un marco metodológico que puede ser adaptado para evaluar el potencial de contaminación ambiental en las mineras, incluyendo la huella de carbono, y sugiere la importancia de involucrar a todos los interesados en el proceso de evaluación y mejora.

Wang et al. (2021), en su investigación titulada: *"A novel design of low carbon footprint Ultra-High Performance Concrete (UHPC) based on full scale recycling of gold tailings"* publicado en la revista *Construction and Building Materials* en 2021 tuvo

objetivo principal el diseño un concreto de alto rendimiento con una baja huella de carbono utilizando relaves de oro, abordando así la creciente necesidad de materiales de construcción sostenibles el impacto ambiental de los relaves mineros. Para lograr este objetivo, los autores proponen la utilización de relaves de oro como sustitutos simultáneos de cemento y arena en la mezcla de UHPC, lo que no solo mejora la sostenibilidad del material, sino que también optimiza el proceso de reciclaje. La aplicación fue cuantitativo, no experimental como diseño que incluyó la evaluación de las propiedades mecánicas y ambientales del concreto de ultra alto rendimiento. Se utilizaron normas estándar para la recolección de datos y análisis, y se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión, durabilidad y toxicidad de lixiviación. Este artículo es un antecedente relevante ya que proporciona un modelo práctico de cómo los materiales de desecho pueden ser reciclados y utilizados de manera efectiva en la construcción, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y promoviendo prácticas más sostenibles en la industria de la construcción.

Otro artículo relevante en el ámbito de la gestión de relaves mineros y su impacto ambiental es el artículo de investigación de Lazorenko et al (2021), titulado: "Utilization of Mine Tailings in Geopolymers: Physicochemical and Environmental Aspects", publicado en la revista *Process Safety and Environmental Protection* cuyo objetivo principal fue analizar las propiedades fisicoquímicas de los relaves mineros y su potencial para ser convertidos y usado como materia prima en la producción de geopolímeros, ofreciendo una alternativa sostenible a los materiales de construcción convencionales. Para abordar este objetivo, los autores proponen soluciones que incluyen la incorporación de relaves en matrices de geopolímeros, lo que no solo ayuda en la gestión de residuos mineros, sino que también reduce la huella de carbono asociada con la producción de cemento. La metodología de investigación utilizada fue de enfoque cuantitativo y descriptivo, con un alcance exploratorio que revisó literatura existente y estudios de caso. El estudio concluye que los relaves mineros tienen un gran potencial para ser utilizados como materia prima en la producción de geopolímeros, lo que puede contribuir a la gestión sostenible de residuos en la industria minera. Se emplearon técnicas de análisis químico y mineralógico para evaluar la composición de los relaves, así como métodos de caracterización de materiales para determinar las propiedades de los geopolímeros producidos. La relevancia de este artículo en radica en que proporciona evidencia sobre cómo la reutilización de relaves puede mitigar los impactos ambientales negativos y contribuir a la sostenibilidad en la industria minera.

El artículo de Arias et al. (2021), titulado "Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera de El Bajo Cauca Antioqueño en el sector de la construcción", publicado en la revista Revista EIA en 2021 tuvo como objetivo principal del estudio el análisis de los diferentes aprovechamientos de los suelos degradados y relaves mineros en el sector de la construcción, proponiendo su uso en la fabricación de mezclas de concreto. Las soluciones propuestas incluyen la transformación de estos residuos en materiales útiles para la construcción. La metodología de investigación utilizada fue de tipo experimental, con un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo. La estrategia de investigación se desarrolló en un horizonte temporal de varios meses, durante los cuales se realizaron pruebas de laboratorio siguiendo normas técnicas para la caracterización de los materiales.

El artículo académico de Valderrama et al. (2019), titulado: "Minería Chilena: Captura, Transporte, y Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Relaves mediante Líquidos Iónicos y Carbonatación Mineral" publicado en la revista Información Tecnológica que forma parte de la Base de Datos Académica Scopus tiene como objetivo principal analizar la situación actual de la minería chilena en relación con los temas medioambientales, con especial atención al tratamiento de relaves mineros y la emisión de CO<sub>2</sub>. Busca proponer soluciones para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mitigar el impacto ambiental de la industria minera, específicamente a través de la captura, transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en relaves mineros. Esta investigación se basa en una revisión bibliográfica y análisis de datos existentes para analizar El cambio climático y la huella de carbono en la industria minera, La situación actual de la minería chilena y el tratamiento de relaves, así como tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, incluyendo la carbonatación mineral y el uso de líquidos iónicos. Esta investigación es un antecedente relevante porque proporciona un marco conceptual y técnico para la evaluación de la huella de carbono en proyectos de recrecimiento de represas de relaves mineros.

La tesis doctoral de Rodríguez (2018), titulada "Análisis de los principales impulsores de las emisiones de CO<sub>2</sub> en diferentes economías: los casos de España y Chile", defendida en la Universidad de Sevilla tuvo como objetivo principal de examinar los emisores de de CO<sub>2</sub> en las diversas economías, con el fin de comprender como se relacionan entre si las diferentes variables de las las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para abordar este análisis, la autora propone soluciones centradas en la promoción de fuentes de energía renovables y la mejora de la eficiencia energética como estrategias clave para mitigar el cambio climático. La metodología de

investigación utilizada incluye un enfoque cuantitativo y descriptivo, con una estrategia de análisis basada en el método Log-Mean Divisia Index (LMDI I) para la descomposición de las emisiones, complementada por el Innovative Accounting Approach (IAA) para examinar las relaciones entre los factores a corto y largo plazo. Esta investigación tiene un horizonte temporal que abarca desde 1991 hasta 2013 para Chile y de 1995 a 2009 para España. La relevancia de esta tesis radica en su análisis exhaustivo de los factores que influyen en las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que puede proporcionar un marco metodológico y conceptual útil para evaluar el impacto ambiental de proyectos similares en el sector minero. Además, las soluciones propuestas pueden guiar la implementación de prácticas sostenibles en el contexto específico de la gestión de presas de relaves.

La tesis de Jarsún (2018), que es relevante en el ámbito del tratamiento de relaves mineros, denominada "estudio de óxido de grafeno y biopolímeros para la floculación en el tratamiento de relaves mineros" y defendida en la Universidad de Chile tuvo como objetivo principal estudiar el desempeño del óxido de grafeno como coagente floculante y el efecto de biopolímeros en suspensiones acuosas de arcillas y minerales particulados finos presentes en los relaves chilenos. La autora propone soluciones que incluyen la utilización de estos nuevos agentes floculantes para mejorar la eficiencia en la recuperación de agua de los relaves, lo que podría reducir la huella de carbono del proceso minero. La metodología de investigación utilizada en esta tesis es experimental, con un enfoque cuantitativo que incluye ensayos de floculación y análisis de turbiedad del sobrenadante. Este estudio es un antecedente relevante ya que proporciona evidencia sobre el uso de materiales innovadores que pueden mejorar la sostenibilidad del tratamiento de relaves y optimizar la recuperación de recursos hídricos.

La investigación de Accorsi et al. (2018), titulada "*Input-Output table and Carbon Footprint: Estimation and Structural Decomposition Analysis*" que fue publicado en el departamento de Economía de la Universidad de Chile se centra en la medición y asignación de la huella de carbono en varios sectores de la economía chilena, incluyendo el sector minero. Su objetivo principal es comparar dos metodologías para medir la huella de carbono: la metodología de Balance Energético (BE) y la metodología basada en la Matriz Insumo-Producto (MIP). A través de su análisis, los autores proponen que la metodología MIP ofrece una estimación más precisa de las emisiones atribuibles a cada sector, lo que tiene implicaciones significativas para el diseño de políticas de mitigación de emisiones. La investigación utiliza un enfoque estructural, con un alcance descriptivo y un horizonte temporal que abarca los años 2008 a 2013. Se

basa en normas del IPCC para la medición de la huella de carbono y emplea técnicas de análisis de descomposición estructural para desagregar los cambios en las emisiones. Este artículo proporciona un marco metodológico sólido y evidencia empírica sobre cómo las interacciones sectoriales influyen en las emisiones, lo que puede ser crucial para evaluar el impacto ambiental de proyectos mineros específicos.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Luna (2023), realizó la tesis titulada: “Cálculo de la Huella de Carbono en la empresa Industrial de Revestimiento de Piezas con Caucho para Minería, Arequipa, 2020”. El objetivo principal de la investigación es calcular la huella de carbono en la empresa industrial de revestimiento de piezas con caucho para minería, en Arequipa, durante el año 2020. Los GEI son gases que atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al calentamiento global. La metodología empleada en la investigación se basa en la norma ISO 14064-1:2018, la cual se divide en seis categorías que nos ayudaran a relacionar y cuantificar las emisiones de GEI. Los resultados de la investigación muestran que la huella de carbono de la empresa de revestimiento de caucho es de 217,14 tCO<sub>2</sub>eq. Las fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> más significativas se encuentran en la Categoría 1 (emisiones vehículos, equipos, etc.) con un 52,84 %, seguida de la Categoría 3 (emisiones indirectas de GEI por transporte) con un 32,83 %. Esta investigación es relevante ya que proporciona una base para comprender los procesos de cálculo, la comprensión de fuentes de emisión y medidas de la mitigación o reducción de estas.

Por su parte Cornelio (2023), elaboró la tesis titulada: “Estimación de la Huella de Carbono, utilizando la Metodología Greenhouse Gas Protocol y la Norma ISO 14064-1, en la Empresa Posada Perú SAC – 2021” El objetivo de la investigación fue medir la huella de carbono de la empresa Posada Perú S.A.C. y dar soluciones para disminuir los GEI emitidos por cada fuente de emisión. La investigación define el concepto de HC como la cantidad total de gases de GEI emitidos por una persona, organización, evento o producto, expresada en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>eq). Los GEI son gases que atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al calentamiento global. La investigación se basó en la ISO 14064-1, el cual menciona los parámetros para realizar los de inventarios de gases de efecto invernadero. Este protocolo se utiliza para cuantificar las emisiones de GEI de una organización, incluyendo las emisiones directas (categoría 1), indirectas por consumo de energía eléctrica (categoría 2), indirectas por uso de productos y servicios (categoría 3) e indirectas por transporte de productos y servicios (categoría 4). Los resultados indicaron que la empresa generó un total de 5

812,02 tCO<sub>2</sub>eq. La categoría 1 tuvo el 95,06 % de las emisiones, la categoría 3 el 4,9 %, la categoría 2 el 0,03 % y la categoría 4 el 0,01 %. Esto significa que las GEI fueron las emisiones directas, principalmente relacionadas con el uso de combustibles fósiles en maquinaria y vehículos. Esta investigación es útil como antecedente ya que proporciona información valiosa sobre las metodologías, fuentes de emisión y medidas de mitigación relevantes para el sector minero.

Inga (2021), en su tesis titulada: "La Huella de Carbono en la Producción de Oro, Mina Shahuindo, Cajamarca, 2020" que fue defendida en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad César Vallejo en Perú tuvo como principal objetivo determinar la Huella de Carbono como la obtención del oro en la unidad minera Shahuindo, también la relación del alcance 1 y 2 relacionado la fuente de emisión generadas en los procesos del oro. El diseño utilizado fue de tipo básica, con un enfoque cuantitativo, un diseño no experimental y transversal. Se consideró el año 2020 como horizonte temporal y se basó la guía del IPCC 2006 para la cuantificación de emisiones. Las técnicas de recolección de datos incluyeron entrevistas con líderes de área y la verificación de información documental. Se concluye que la huella de carbono generada durante el año 2020 en la unidad minera Shahuindo fue de 38 613,73 tCO<sub>2</sub>eq, siendo el CO<sub>2</sub> el gas de efecto invernadero predominante con un 99,982 %. Además, se establece que la relación entre la huella de carbono y la producción de oro es directamente proporcional, indicando que, a mayor producción de oro, mayor será la huella de carbono generada. Adicionalmente, la investigación propone soluciones que incluyen la elaboración de objetivos y metas para reducir la huella de carbono en las operaciones mineras. Este antecedente es relevante para una investigación ya que proporciona ejemplos de cómo cuantificar y gestionar las emisiones de GEI en el contexto minero, lo cual es fundamental para desarrollar estrategias efectivas de mitigación en proyectos similares.

La investigación presentada por Solórzano y Valverde (2021), titulada "Estimación de la Huella de Carbono en la Unidad Minera Apumayo para el año 2017 y Propuestas para su Incorporación dentro del Estudio de Impacto Ambiental detallado", publicada en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú tuvo como objetivo principal de estudio calcular la huella de carbono generada por las actividades de producción de oro en la mina Apumayo, así como identificar las áreas con potencial para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La metodología utilizada en esta investigación se basa en el protocolo GHG Protocol, específicamente en el alcance 3, que incluye emisiones directas e indirectas. El enfoque es cuantitativo,

con una estrategia descriptiva y un horizonte temporal centrado en el año 2017. Se emplearon técnicas de análisis de inventarios de emisiones y recolección de datos a través de entrevistas con personal clave de la mina. La investigación concluye que las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) o huella de carbono generada por las actividades de producción de oro en la mina Apumayo en el año 2017 fueron de 24 977,1 tCO<sub>2</sub>eq. Además, se establece que la ratio de emisión de GEI de la mina Apumayo fue de 13,357 tCO<sub>2</sub>eq/t Au producido, lo que es inferior a las emisiones reportadas por otras minas de oro como Yanacocha y Cerro Corona. La investigación identifica que el proceso de carguío y acarreo representó el 41 % de las emisiones totales, principalmente debido al consumo de combustible en vehículos pesados. Para abordar este problema, la autora propone implementar estrategias de eficiencia energética y mejores prácticas ambientales que permitan mitigar el impacto de la minería en el cambio climático. Este antecedente es relevante ya que ayuda a determinar la huella de carbono al proporcionar un análisis detallado de las emisiones generadas por diferentes procesos dentro de la operación minera.

La tesis de Pinto y Rodríguez (2020), titulada "Generación de una plataforma digital con base eco informática para la estimación de huella de carbono y huella hídrica y propuesta para su reducción. Caso: Área administrativa Unidad Minera Pierina (Huaraz-Ancash)", sugiere un plan de optimización para disminuir la huella de agua y de carbono en el área administrativa de la Unidad Minera Pierina, empleando un sistema en línea para registrar y examinar las estimaciones anuales. El método de estudio empleado fue descriptivo, con una orientación cuantitativa y una estrategia de análisis de casos, cubriendo un periodo de tiempo desde 2004 hasta 2020. Se emplearon normas como el "Manual para la Evaluación de Huella Hídrica" de *Water Footprint Network* y el "*Greenhouse Gas Protocol*" del *World Resources Institute*. Las técnicas de recolección de datos incluyeron encuestas y análisis de registros de consumo. La investigación concluyó que se logró recolectar información sobre los usos de combustible, energía eléctrica y consumo de agua en el área administrativa de la Unidad Minera Pierina. Se elaboró un sistema web capaz de realizar estimaciones de la Huella Hídrica y la Huella de Carbono mediante la inclusión de los datos. El sistema también muestra reportes anuales y gráficos que permiten hacer comparaciones entre los distintos valores obtenidos. De esta forma se estimó que, en el intervalo de tiempo de 2004 a 2019, la Huella Hídrica promedio fue de 33 475,55 m<sup>3</sup>/año y la Huella de Carbono promedio fue de 35 311,42 tCO<sub>2</sub>eq. Además, se elaboró un Plan de Mejora con el fin de disminuir el consumo de la Huella Hídrica y Huella de Carbono para los próximos

años. Se identificaron impactos ambientales críticos y severos relacionados con el consumo de recursos, y se propusieron medidas de prevención.

Pinedo (2019), realizó la tesis titulada: "Sistematización del cálculo de las emisiones de gases efecto Invernadero generadas por el consumo de diésel en una empresa de construcción y movimiento de tierras, 2019" que fue sustentada en la Universidad Nacional Federico Villareal. El objetivo principal fue sistematizar el cálculo GEI por el consumo de diésel en una empresa de movimiento y construcción de tierras su metodología de investigación usada fue la recopilación de datos de consumo de diésel de la empresa, la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1 2006 y las directrices del IPCC 2006. Luego se utilizó las tablas de equivalencias del INGEI para el cálculo de las emisiones de GEI. Los resultados determinaron que el consumo total de diésel en el proyecto durante el año 2019 fue de 1 973,606 galones, se identificó que los equipos móviles (camiones, tractores, excavadoras) representaron el 78,1 % del total de las emisiones. Además, se identificó y cuantificó el impacto de las principales fuentes de emisiones de GEI. Esta investigación podría aportar como antecedente por la metodología utilizada para calcular las emisiones de GEI, así como por la identificación de las principales fuentes de emisión y las medidas de mitigación propuestas.

Una tesis relevante en el ámbito de la HC es la presentada por Benites (2019), titulada : "Determinación de la huella de carbono de una unidad minera de Oro a Tajo Abierto" y defendida en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Como objetivo principal determinar la huella de carbono generada por las operaciones de una unidad minera de oro que procesa mineral. La metodología utilizada en esta investigación fue de enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y un alcance descriptivo. Se emplearon las Guías del IPCC (2006) y GHG Protocol como normas de referencia. La recolección de datos se realizó a través de encuestas y análisis de registros de consumo energético y de combustibles. La investigación concluye que la huella de carbono total de la unidad minera para el año base 2017 fue de 26 411,93 tn CO<sub>2</sub>eq. Además, se concluyó que el Alcance 1 y el Alcance 2 fueron los que más contribuyeron a la huella de carbono total, con 11 934,05 tCO<sub>2</sub>eq (45 %) y 8 186,16 tCO<sub>2</sub>eq (31 %), respectivamente, dejando al Alcance 3 en tercer lugar con 6 291,73 tCO<sub>2</sub>eq (24 %). Adicionalmente, autor propone soluciones que incluyen la optimización del consumo de combustibles, la implementación de tecnologías más limpias y las buenas prácticas operativas para reducir las emisiones. Este estudio es un antecedente relevante ya que proporciona un marco metodológico sólido y ejemplos de cómo identificar y cuantificar las fuentes de emisión en el sector minero, lo que puede ser

adaptado para evaluar las emisiones asociadas a la gestión de presas de relaves y su impacto ambiental.

Crispin (2018) en su investigación titulada "Establecimiento de la huella de carbono de la compañía JRC Ingeniería y Construcción SAC en la operación minera El Brocal" fue respaldado por la Universidad del Centro del Perú. El objetivo principal de la investigación es determinar la HC de las acciones llevadas a cabo por JRC Ingeniería y Construcción SAC en la unidad minera El Brocal, desde agosto de 2017 hasta julio de 2018. La Huella de Carbono se refiere a la cuantificación de la liberación de gases de efecto invernadero por personas, empresas u organizaciones, derivadas de sus actividades y operaciones tanto internas como externas. Se muestra en toneladas como el equivalente de dióxido de carbono. La estrategia de investigación se fundamentó en el Protocolo GHG (Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero). Para determinar las emisiones, se utilizaron los factores de transformación de emisión establecidos por el IPCC en 2006. A lo largo del año 2017-2018, se estableció que la huella de carbono de la compañía JRC Ingeniería y Construcción SAC en la unidad minera El Brocal alcanzó los 814,71 tCO<sub>2</sub>eq. Se estableció que la principal causa de las emisiones fue la utilización de electricidad, originándolas desde fuentes de emisiones indirectas. La importancia de este estudio radica en su capacidad para servir como punto de partida en la evaluación de la huella de carbono, la identificación de las principales fuentes de emisión, el planteamiento de un método de cálculo y la elaboración de sugerencias para reducir las emisiones.

### **2.1.3 Antecedentes locales**

No se registran estudios relacionados directamente con el tema de investigación.

## **2.2 Bases teóricas**

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos relacionados con la huella de carbono y su relevancia en la minería. Se abordarán la definición de la huella de carbono y su diferenciación con otros indicadores ambientales, los tipos de gases de efecto invernadero (GEI) y su relación con el cambio climático, así como las normativas y metodologías internacionales para su cálculo. Además, se analizará el impacto ambiental de la minería, destacando las emisiones de GEI y la gestión de presas de relaves, y se explorarán las metodologías para cuantificar la huella de carbono y las

estrategias para su reducción y compensación, enmarcadas en la sostenibilidad y la responsabilidad social empresarial.

### **2.2.1 Huella de carbono**

La huella de carbono se definió como una métrica que permitió evaluar la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) liberados al medio ambiente como consecuencia de las actividades humanas, ya sea de manera directa o indirecta, abarcando desde acciones individuales hasta las realizadas por organizaciones, productos o eventos. Esta medida proporcionó una forma de cuantificar el impacto ambiental en términos de su contribución al calentamiento global, según lo señalado por Crispin (2018), en relación con lo anterior. Valderrama et al. (2019) afirmaron que la huella de carbono es esencial para conocer la cantidad de GEI que se emiten como resultado de nuestras acciones cotidianas, contribuyendo así al calentamiento global. Asimismo, Luna (2023) mencionó que este concepto puede compararse con una "huella" que las actividades humanas dejan en el planeta, reflejando la magnitud de los gases que afectan el clima global.

Por su parte, García (2016) destacó que la huella de carbono se entiende como una medida del impacto ambiental causado por las actividades humanas, especialmente en lo que respecta al cambio climático. Esta medida incluye todas las emisiones indirectas y directas de GEI que pueden asociarse a una persona, producto, evento u organización. Además, Pinedo (2019) observó que tanto la compensación como el cálculo de la huella de carbono han sido regulados sistemáticamente en instituciones públicas, lo que también ha impulsado su adopción en el sector privado. Esta regulación ha hecho necesario que las entidades generadoras de GEI implementen metodologías adecuadas para establecer una línea base de sus emisiones, así como para desarrollar herramientas que permitan evaluar la necesidad de adoptar cambios tecnológicos o institucionales en función de sus metas y de las exigencias del mercado y el Estado.

Por otro lado, Libélula (2022) describió la huella de carbono como un indicador que mide la cantidad de GEI emitidos como resultado de una acción específica, aplicable tanto a individuos como a organizaciones, productos o eventos. Esta visión es compartida por La Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional, quienes afirmaron que la huella de carbono es un concepto clave en la determinación y

reducción de las emisiones de GEI en el contexto de las actividades empresariales, especialmente en sectores como la minería.

La Corporación Alta Ley señaló que la huella de carbono también se puede entender como un indicador que abarca todo el ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de materias primas hasta la eliminación de desechos, permitiendo así una evaluación integral de las emisiones generadas a lo largo de toda la cadena de producción.

Para comprender plenamente el alcance y la importancia de la huella de carbono, es necesario diferenciarla de otros indicadores ambientales clave, como la Huella Hídrica y la Huella Ecológica. Estos conceptos, aunque relacionados con la sostenibilidad y la evaluación del impacto ambiental, abordan distintas dimensiones de la interacción humana con el medio ambiente. A continuación, se explicarán estas diferencias para clarificar cómo cada uno de estos indicadores contribuye a la comprensión del impacto ambiental global.

La Huella Hídrica se refiere a la cantidad total de agua utilizada por una persona o empresa, tanto en el consumo directo como en la producción de bienes (Crispin, 2018).

La Huella Ecológica, según Islam et al. (2022), calcula cuántos recursos naturales se necesitan para mantener una actividad o población, expresado en hectáreas de tierra. Este indicador es útil para evaluar el impacto ambiental de actividades como la minería, que puede alterar significativamente el uso del suelo y aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Benites (2019) explicó que la Huella de Carbono inicialmente formaba parte de la Huella Ecológica, pero con el tiempo se ha utilizado como un indicador separado debido a la creciente preocupación por el calentamiento global. La WWF (último informe del Fondo Mundial para la Naturaleza) ha señalado que el carbono ha sido el principal componente de la Huella Ecológica durante más de 50 años.

En base ello, estos conceptos se han convertido en herramientas importantes para poder evaluar la sostenibilidad ambiental y la presión que ejercen las actividades humanas en el planeta como se puede visualizar en la Tabla 1.

**Tabla 1***Indicadores Ambientales*

<b>Indicador ambiental</b>	<b>Principio</b>	<b>Unidades de medida</b>	<b>Resultado</b>	<b>Aplicación</b>
Huella de Carbono	Medición de GEI que se generan principalmente a partir de la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía, el transporte y otros procesos.	Masa tCO <sub>2</sub> eq/año	Evaluar el impacto en el cambio climático de las actividades realizadas por la organización o a lo largo del ciclo de vida de un producto, servicio o evento.	Poblaciones, países,  Empresarial
Huella Hídrica	Cantidad total de agua utilizada en la producción de bienes y servicios por parte de individuos, empresas o naciones.	Tiempo, masa, m <sup>3</sup> /kg, m <sup>3</sup> /año	Los datos obtenidos son un complemento a los indicadores utilizados en el sector productivo.	Población, países, sector productivo (consumo de agua dulce)
Huella Ecológica	Convierte tanto el uso de recursos y energía en hectáreas de tierra productiva, como son los cultivos, pastizales, bosques, entre otros.	Superficie Ha/año	Se detalla el impacto preciso sobre el ambiente	Poblaciones, regiones, países, sector agrícola (actividades productivas)

*Nota.* Obtenido de Benites (2019).

### 2.2.2 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son elementos atmosféricos que tienen la capacidad de emitir y absorber radiación a longitudes de onda determinadas, lo que ayuda al efecto invernadero. La existencia de condiciones propicias para la vida en la Tierra se debe a la importancia de este fenómeno en el mantenimiento de una temperatura adecuada. No obstante, el incremento en los niveles de gases de

efecto invernadero, principalmente causado por acciones humanas, ha resultado en un rápido calentamiento global (Rodríguez, 2018). Las principales sustancias de efecto invernadero son el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre. Cada uno de estos gases se produce a través de diversas actividades.

**Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ):** es el gas más común y proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), así como de actividades industriales y modificaciones en el uso de la tierra, como la deforestación (Benites, 2019). En cuanto a sus niveles actuales en 2022, la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera alcanzó aproximadamente 405,06 ppm, lo que representa un aumento de 127,6 ppm en relación con la era preindustrial (280 ppm) (Benites, 2019).

**Metano ( $\text{CH}_4$ ):** Es un gas incoloro e inflamable que se produce durante la descomposición anaeróbica de materia orgánica, en la agricultura (especialmente en la ganadería) y en la producción y transporte de combustibles fósiles (Garrido, 2013; Rodríguez, 2018). Con respecto a sus niveles actuales la concentración de metano en la atmósfera ha aumentado a 1850,5 ppb (1,850 ppm) en 2018.

**Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ):** Este gas se emite durante la producción de fertilizantes, la quema de combustibles fósiles y diversas actividades industriales. Tiene un efecto significativo en el calentamiento global debido a su alta capacidad de retención de calor (Bustos, 2011; Cortez et al., 2016), en cuanto a sus niveles actuales la concentración de  $\text{N}_2\text{O}$  en la atmósfera es de aproximadamente 333 ppb (0,333 ppm).

**Hidrofluorocarbonos (HFCs):** Utilizados en refrigeración y aire acondicionado, estos gases son sintéticos y tienen un alto potencial de calentamiento global, aunque no afectan la capa de ozono (Bermeo, 2023; Pinto y Rodríguez, 2020).

**Perfluorocarbonos (PFCs) y Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ):** Estos son gases sintéticos que se utilizan en diversas aplicaciones industriales y tienen un potencial de calentamiento global extremadamente alto, siendo el  $\text{SF}_6$  uno de los más potentes (Bustos, 2011; Garrido, 2013). En cuanto al  $\text{SF}_6$  tiene un potencial de calentamiento global extremadamente alto, aunque su concentración en la atmósfera es baja, de alrededor de 4,2 ppb.

En la Tabla 2 se puede visualizar un resumen de los principales gases de efecto invernadero y sus sectores de mayor emisión.

**Tabla 2***Resumen de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por sector de emisión*

<b>Gas de Efecto Invernadero (GEI)</b>	<b>Sector con mayor emisión</b>	<b>Año Reporte</b>	<b>Autor</b>
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Energía (combustibles fósiles, electricidad y minería)	2022	Naciones Unidas (2023a)
Metano (CH <sub>4</sub> )	Agricultura, gestión de residuos y minería (extracción de carbón)	2018	Benites (2019)
Óxidos de Nitrógeno (N <sub>2</sub> O)	Agricultura (fertilizantes)	2018	Benites (2019)
Hidrofluorocarbonos (HFCs)	Refrigeración y aire acondicionado	2020	(Pinto y Rodríguez (2020)
Perfluorocarbonos (PFCs)	Procesos industriales	2020	(Pinto y Rodríguez (2020)
Hexafluoruro de Azufre (SF <sub>6</sub> )	Sistemas eléctricos de alta tensión	2020	Benites (2019)

Habiendo examinado en detalle los principales GEI, sus fuentes de emisión y sus niveles actuales en la atmósfera, es crucial comprender cómo estos gases se relacionan con el fenómeno más amplio del cambio climático. El aumento de las concentraciones de GEI, principalmente debido a actividades humanas, ha intensificado el efecto invernadero natural, llevando a un calentamiento global acelerado. Este calentamiento es el motor principal detrás del cambio climático, un fenómeno complejo con profundas implicaciones para los sistemas naturales y humanos en todo el planeta. Para entender mejor esta relación y sus consecuencias, es necesario examinar más a fondo el concepto de cambio climático y su impacto en los diversos aspectos de nuestro mundo.

### **2.2.3 El cambio climático y el calentamiento global**

El cambio climático es la variación espacial y temporal de la temperatura del planeta, que puede ser causada por factores naturales y/o antrópicos. Según Crispin (2018), el cambio climático es una variación general del clima que ha sido ampliamente aceptada

en la actualidad, con algunas excepciones, como resultado de las actividades humanas que han originado un calentamiento atmosférico sin precedentes y la variación meteorológica global. Este fenómeno tiene graves impactos sobre los sistemas socioeconómicos de la Tierra.

Rodriguez (2018), también destaca que el cambio climático uno de los desafíos y amenazas para el desarrollo sostenible en el planeta, con consecuencias en todos los ámbitos. El calentamiento global, impulsado por la excesiva emisión de gases de efecto invernadero (GEI), ha atraído la atención de muchos países y regiones del mundo, así como de la comunidad investigadora.

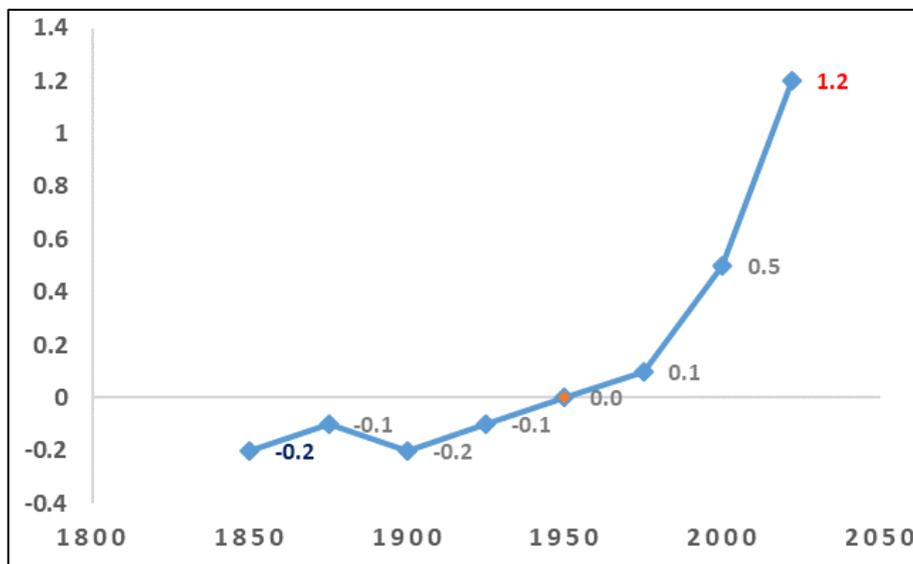
El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) define el aumento de la temperatura como una modificación persistente e indistinguible natural o por efecto de la actividad humana (Cortez et al., 2016). Este cambio genera como consecuencia del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

El calentamiento global es el aumento de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y de los océanos, como consecuencia resultante de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera debido a actividades humanas. Según Accorsi et al. (2018), existe una probabilidad superior al 90 % de que la causa principal de este calentamiento sea la acción humana en los últimos 50 años. Además, Rodriguez (2018), señala que el calentamiento global es una de las manifestaciones más evidentes del cambio climático, con consecuencias significativas para el medio ambiente, la economía y la sociedad. Este fenómeno ha llevado a un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, lo que representa un desafío crítico para la sostenibilidad del planeta.

En la figura 1 se puede observar como se ha incrementado la temperatura media mundial desde 1850 a causa de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI).

**Figura 1**

*Promedio de Temperatura Global por año en relación con los niveles preindustriales (1850-1900) y (1850-2022) en grados*



*Nota.* Obtenido de Naciones Unidas (2023b).

Una vez establecido el concepto de cambio climático y calentamiento global, es fundamental entender la relación entre los gases de efecto invernadero (GEI) y este fenómeno.

#### **2.2.4 Relación entre los Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático**

Los GEI desempeñan un papel crucial en el efecto invernadero, un fenómeno natural que permite mantener la temperatura de la Tierra en niveles propicios para la vida (Bustos, 2011). Sin embargo, la intensificación de este efecto, impulsada por la actividad humana, ha llevado a un aumento alarmante de las temperaturas globales.

No obstante, la intensificación de este efecto, estimulada por la acción humana, ha provocado un incremento preocupante en las temperaturas a nivel mundial.

Rodríguez (2018), indica que la incineración de combustibles fósiles, la tala de árboles, la agricultura intensiva y múltiples actividades industriales han propiciado la emisión de grandes volúmenes de GEI, lo que ha perturbado el balance natural del sistema clima. Este incremento en el nivel de gases en la atmósfera tiene una relación directa con el calentamiento global, que se refleja en fenómenos climáticos extremos, modificaciones en los patrones de lluvia y un incremento en la frecuencia e intensidad de sucesos climáticos perjudiciales (Pinto y Rodríguez, 2020).

El cambio climático, como resultado de esta acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), presenta desafíos significativos para la humanidad y los ecosistemas. Según Rodríguez (2018), las proyecciones indican que, si no se toman medidas drásticas para reducir las emisiones, el mundo podría enfrentar un aumento de temperatura que superaría los límites establecidos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París. Esto tendría consecuencias devastadoras, especialmente para las comunidades más vulnerables, que son las que menos han contribuido a la crisis climática pero que sufren sus efectos de manera desproporcionada (Naciones Unidas, 2023a).

Por lo tanto, es imperativo entender que la relación entre los GEI y el cambio climático no solo se limita a la ciencia del clima, sino que también involucra aspectos económicos, sociales y políticos. La mitigación del cambio climático requiere un enfoque integral que incluya la reducción de las emisiones de GEI a través de políticas efectivas, la transición hacia fuentes de energía renovable y la implementación de prácticas sostenibles en todos los sectores de la economía (Valderrama et al., 2019). Solo a través de un esfuerzo conjunto y coordinado se podrá abordar esta crisis global y asegurar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

### **2.2.5 CO<sub>2</sub> Equivalente (CO<sub>2</sub> Eq.) y Potencial de Calentamiento Global (PCG)**

El concepto de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub> Eq.) y el potencial de calentamiento global (PCG) surgieron en el contexto de la creciente preocupación por el cambio climático y el impacto de los gases de efecto invernadero (GEI) en el calentamiento global. A medida que se intensificaron las actividades industriales y el uso de combustibles fósiles, se hizo evidente que diferentes gases tenían distintos efectos en el calentamiento de la atmósfera. Por lo tanto, se necesitaba una forma de comparar estos gases en términos de su capacidad para atrapar calor. Esta necesidad llevó al desarrollo de la medida de CO<sub>2</sub> Eq., que permite expresar el impacto de varios GEI en una unidad común (Pinto y Rodríguez, 2020).

El CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub> Eq.) es una unidad de medida propuesta particularmente en el marco del Protocolo de Kioto y las discusiones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) que se utiliza para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero en función de su potencial de calentamiento global. Se define como la cantidad de dióxido de carbono que tendría el mismo efecto en el calentamiento global que una cantidad específica de otro gas durante un período determinado. Esto permite a los investigadores y responsables de

políticas evaluar y comunicar el impacto total de las emisiones de GEI de manera más efectiva (Bustos, 2011).

Por otro lado, el potencial de calentamiento global (PCG) fue desarrollado y propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en sus informes sobre cambio climático y es un índice que mide la capacidad de un gas de efecto invernadero para atrapar calor en la atmósfera en comparación con el dióxido de carbono. El PCG se calcula en función de la cantidad de calor que un gas puede retener durante un período específico, generalmente 100 años. Por ejemplo, el metano (CH<sub>4</sub>) tiene un PCG de 21, lo que significa que es 21 veces más efectivo que el CO<sub>2</sub> en atrapar calor durante ese período (García, 2016).

En la Tabla 3 se puede observar el PCG de los principales GEI en un lapso de 100 años, lo que indica su capacidad relativa para retener calor en la atmósfera en comparación con el CO<sub>2</sub>.

**Tabla 3**

*Impacto comparativo de calentamiento de gases de efecto invernadero (GEI) en un período de 100 años*

GEI	PCG
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub> O	298
HFC (R-134a)	1.430
HFCs	124 – 14.800
PFCs	7.390 – 12.200
SF <sub>6</sub>	22,800

Nota. Obtenido de Garrido (2013).

La relación entre el CO<sub>2</sub> Eq. y el PCG es fundamental para comprender el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al multiplicar la cantidad de un gas emitido por su PCG, se obtiene el valor en CO<sub>2</sub> Eq., lo que permite agregar las contribuciones de diferentes gases a un total común. Esto es crucial para establecer políticas efectivas de mitigación del cambio climático, ya que permite a los países y

organizaciones medir y comparar sus emisiones de manera coherente (Valderrama et al., 2019).

### **2.2.6 Normativa internacional y metodologías para la cuantificación de la huella de carbono**

#### **a. Protocolo de Kioto y la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)**

El Protocolo de Kioto, firmado el 11 de diciembre de 1997, es un acuerdo internacional que estableció compromisos vinculantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los principales responsables del cambio climático. Este acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de que Rusia lo ratificara, alcanzando así el umbral requerido de ratificación por parte de 55 estados responsables de al menos el 55 % de las emisiones globales de los países desarrollados (Crispin, 2018). Sin embargo, el Protocolo de Kioto también destacó por la ausencia de países clave como Australia y Estados Unidos, que no ratificaron el acuerdo. El objetivo principal del protocolo era reducir las emisiones de GEI en un 5,2 % respecto a los niveles de 1990, durante el periodo comprendido entre 2008 y 2012 (Cortez et al., 2016).

Este protocolo fue un desarrollo directo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), adoptada en 1992 durante la Cumbre de Río de Janeiro. La CMNUCC se centra en estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a niveles que eviten interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático. Este tratado internacional enfatizó la necesidad de adoptar medidas de mitigación y adaptación para enfrentar los desafíos climáticos globales (Inga, 2021).

En el contexto nacional peruano, el Perú, como país firmante de la CMNUCC y del Protocolo de Kioto, ha desarrollado una serie de políticas y estrategias para cumplir con sus compromisos internacionales. El Ministerio del Ambiente (MINAM) es la entidad encargada de liderar estos esfuerzos, incluyendo la implementación de inventarios nacionales de GEI y la creación de plataformas como Huella de Carbono Perú, que permite a las organizaciones calcular, verificar, reducir y neutralizar sus emisiones de carbono. Estas iniciativas reflejan el compromiso del Perú con la gestión sostenible de sus emisiones y con la reducción del impacto del cambio climático (Pinto y Rodríguez, 2020).

## b. Normas internacionales para la cuantificación de la huella de carbono

La cuantificación de la huella de carbono se ha estandarizado a nivel internacional a través de diversas normativas y metodologías, cada una adaptada para su aplicación en contextos específicos. Entre las normas más relevantes se encuentra la ISO 14064, que se divide en tres partes: la primera proporciona especificaciones para la cuantificación y reporte de emisiones de GEI a nivel organizacional; la segunda se enfoca en la cuantificación, monitoreo y reporte de reducciones de GEI a nivel de proyectos; y la tercera aborda la validación y verificación de los informes de GEI (González y Otero, 2024).

Otra metodología fundamental es el *GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol)*, desarrollado por el *World Resources Institute (WRI)* y el *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*. Esta metodología es una de las más utilizadas a nivel mundial para la medición y gestión de las emisiones de GEI en diversos contextos, como organizaciones, productos y servicios. El GHG Protocol divide las emisiones en tres alcances.

- Alcance 1 (Emisiones directas de GEI): Se refiere a las emisiones que provienen directamente de las actividades de una entidad dentro de sus límites de control, como la quema de combustibles fósiles en equipos y vehículos. Según Vandeginste et al. (2024), estas emisiones incluyen las producidas por la quema de combustibles fósiles para generar energía, la producción industrial o el transporte (García, 2016), añade que estas emisiones provienen específicamente de la quema de combustibles fósiles en equipos móviles y estacionarios, como los utilizados en la construcción y el movimiento de tierras.
- Alcance 2 (Emisiones indirectas de GEI): Estas son las emisiones que provienen del consumo de energía comprada, como electricidad, calor o vapor, que se genera fuera de la entidad pero que es consumida por ella. Cornelio (2023) describe estas emisiones como aquellas que se producen fuera de las actividades directas de una entidad, pero que están relacionadas con su operación. García (2016) agrega que estas emisiones se generan principalmente por el consumo de energía eléctrica, calor o vapor adquirido de fuentes externas.
- Alcance 3 (Otros tipos de emisiones indirectas de GEI): Incluye todas las demás emisiones indirectas que no están cubiertas en el Alcance 2, como el uso de transporte de bienes y servicios, la generación de residuos y otros procesos fuera del control directo de la entidad. Valderrama et al. (2019), mencionan que estas emisiones pueden incluir el uso de materiales, agua, y transporte de bienes y

servicios. Además Pinedo (2019) agrupa estas emisiones en categorías como el transporte terrestre, la generación de residuos sólidos y su transporte.

La relevancia de esta metodología radica en su enfoque integral y su amplia aceptación global, lo que la convierte en una herramienta esencial para la cuantificación precisa de la huella de carbono en diferentes sectores.

Además de la ISO 14064 y el GHG Protocol, otras metodologías destacadas incluyen:

PAS 2050: Desarrollada por el Instituto de Normalización Británico (BSI), esta norma se centra en la medición de la huella de carbono de productos y servicios a lo largo de su ciclo de vida completo. Es especialmente útil para evaluar y comunicar las emisiones de GEI asociadas con productos específicos (García, 2016).

API 2009: El *Compendium of GHG Emissions Methodologies for the Oil and Natural Gas Industry*, desarrollado por el *American Petroleum Institute*, se utiliza principalmente en la industria del petróleo y gas para calcular las emisiones derivadas de la quema de gas natural y otros procesos industriales (Cortez et al., 2016).

Bilan Carbone: Esta metodología, desarrollada por la Agencia Francesa de Medio Ambiente y Energía (ADEME), proporciona un enfoque amplio para calcular las emisiones de GEI en empresas y organizaciones en Francia. Es compatible con las normativas ISO 14064 y GHG Protocol, y se aplica en sectores industriales, residenciales, de servicios y en el sector público (García, 2016).

PAS 2060: Esta norma, también desarrollada por el British Standard Institution, se centra en lograr la neutralidad de carbono a través de la cuantificación, reducción y compensación de las emisiones de GEI de una organización, producto o servicio. Es una extensión de la PAS 2050, aplicándose en un contexto más amplio que incluye organismos públicos y privados (García, 2016).

La ley N° 30754 en su artículo 55 aprobado por el MINAN, crea una herramienta digital y gratuita donde se reporta de carácter voluntario la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI) de empresa u organizaciones públicas o privadas. Huella de carbono Perú así denominado esta plataforma tiene el objetivo de establecer pautas y uso de esta herramienta; así como la obtención del reconocimiento por la gestión de sus GEI a través del cálculo, control, disminución y neutralización de estas misma dando cumplimiento a las prácticas establecidas en el marco legal del cambio climático y sus compromisos.

En el contexto nacional peruano, la adopción de estas metodologías ha sido fundamental para el desarrollo de políticas y estrategias ambientales efectivas. El Instituto Nacional de Calidad (INACAL), en colaboración con el MINAM, ha impulsado la implementación de la NTP ISO 14064-1:2011, que se alinea con la ISO 14064 para guiar la cuantificación y reporte de emisiones de GEI. Además, la Dirección General del Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos (DGCCDRH) dentro del MINAM coordina la aplicación de estas normativas, asegurando que el Perú cumpla con sus compromisos internacionales de mitigación del cambio climático (Benites, 2019).

El país ha avanzado en la elaboración de inventarios nacionales de GEI con años base en 1994, 2000, 2005, 2010 y 2012. Estos inventarios son cruciales para monitorear las emisiones y evaluar el progreso hacia los objetivos de reducción. Asimismo, el Plan Nacional de Acción Ambiental 2011-2021 y la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático son ejemplos de cómo el Perú ha integrado estas normativas y metodologías internacionales en sus políticas nacionales, buscando reducir sus emisiones y mejorar la resiliencia ante el cambio climático (Benites, 2019; Pinto y Rodríguez, 2020).

#### c. Principios para el cálculo de la huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono se basa en metodologías estandarizadas, siendo el GHG Protocol una de las más reconocidas internacionalmente. Esta metodología es apreciada por su consistencia, transparencia y precisión en la cuantificación de emisiones de GEI. Los principios fundamentales del GHG Protocol incluyen la relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión, los cuales aseguran que las emisiones se calculen de manera exhaustiva y se reporten con exactitud (Garrido, 2013).

Asimismo, las Directrices del IPCC para Inventarios de GEI proporcionan un marco complementario para la estimación de emisiones. Estas directrices, desarrolladas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), ofrecen metodologías para estimar las emisiones de GEI aplicando factores de emisión a niveles de actividad específicos, lo que es particularmente útil para la planificación y gestión ambiental en el Perú (González y Otero, 2024).

En el contexto nacional peruano, el uso de estas metodologías, en particular del GHG Protocol y las Directrices del IPCC, ha sido fundamental para la implementación de políticas efectivas de mitigación en el país. El MINAM, a través de sus diversas plataformas y programas, ha facilitado la adopción de estas normativas internacionales,

lo que permite una evaluación rigurosa de la huella de carbono en diversos sectores económicos, contribuyendo a la reducción de emisiones y al desarrollo sostenible del país (Cortez et al., 2016), (Pinto y Rodríguez, 2020).

La Ley N° 30754 - Ley Marco sobre Cambio Climático (LMCC), En Perú, se implementó una regulación que establece el marco regulatorio para enfrentar los efectos del cambio climático y fomentar un desarrollo sostenible mediante la implementación de medidas de adaptación y mitigación. Con la aprobación de su reglamento en 2019, el país mejoró su gestión del cambio climático. INFOCARBONO se convirtió en una de las principales herramientas para medir, reportar y verificar (MRV) los esfuerzos de mitigación del cambio climático. En Perú, esta herramienta es parte del Sistema para el Monitoreo de las Medidas de Adaptación y Mitigación, lo que permite un seguimiento exhaustivo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la evaluación del progreso en la implementación de medidas para reducir dichas emisiones, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país y sus cumplimientos a los compromisos climáticos.

### **2.2.7 Impacto ambiental y huella de carbono en la minería**

#### **a. Minería y emisión de GEI**

La minería es una actividad económica de gran relevancia a nivel global, y especialmente en Perú, donde se posiciona como un pilar fundamental para el desarrollo económico. Representa una importante fuente de ingresos fiscales y contribuye significativamente al producto bruto interno (PBI), haciendo del sector minero uno de los motores principales de la economía peruana (Garro y Alvarado, 2023). Sin embargo, la minería también es una actividad intensiva en el uso de energía, lo que la convierte en una de las mayores fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo de manera significativa al cambio climático (Cortez et al., 2016).

A nivel internacional, las actividades mineras están bajo creciente escrutinio debido a su impacto ambiental. La alta demanda de recursos energéticos, en su mayoría derivados de combustibles fósiles, genera un volumen considerable de GEI, incluidos dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (Pinto y Rodríguez, 2020). Estos gases contribuyen al efecto invernadero, exacerbando el calentamiento global y afectando negativamente la estabilidad climática del planeta. La minería, por tanto, enfrenta el desafío de equilibrar su papel como motor económico con la necesidad de reducir su huella de carbono.

En el contexto peruano, la situación es particularmente compleja debido a la dependencia económica del país en la minería. Las actividades mineras no solo generan empleo y desarrollo, sino que también provocan importantes impactos ambientales. Según Díaz et al. (2016), la minería en Perú ha sido un motor económico crucial, pero su sostenibilidad a largo plazo está en riesgo debido a las elevadas emisiones de GEI y a la falta de medidas adecuadas para gestionar su huella de carbono. Además, la necesidad de grandes cantidades de energía para las operaciones mineras en regiones remotas y montañosas aumenta la complejidad de mitigar estas emisiones (Pinto y Rodríguez, 2020).

La huella de carbono en la minería peruana es un indicador clave que refleja el impacto ambiental de este sector. Calculada a partir de las emisiones de GEI producidas por la quema de combustibles fósiles, el uso de electricidad y otros procesos industriales, esta huella sirve como una herramienta crítica para la evaluación y gestión del impacto ambiental (Crispin, 2018).

La importancia de gestionar las emisiones de GEI en el sector minero no puede subestimarse, ya que estas emisiones no solo contribuyen al cambio climático, sino que también pueden afectar la reputación de las empresas y su acceso a mercados internacionales. Los consumidores y los reguladores a nivel global están cada vez más preocupados por la sostenibilidad, y la capacidad de las empresas mineras para gestionar su huella de carbono se está convirtiendo en un factor crítico para su competitividad (Garrido, 2013).

De esta manera, la minería es una actividad con un impacto dual: por un lado, es esencial para el desarrollo económico y la generación de riqueza, especialmente en países como Perú; pero, por otro lado, su contribución a las emisiones de GEI y su huella de carbono representan un desafío significativo para la sostenibilidad ambiental. Este desafío requiere un enfoque equilibrado que considere tanto el desarrollo económico como la mitigación de impactos ambientales, promoviendo prácticas más sostenibles en el sector minero (Pinto y Rodríguez, 2020).

Un componente clave en este aspecto son los relaves y las presas de relaves, que, además de ser necesarios para contener los subproductos de la minería, presentan desafíos ambientales significativos que deben ser gestionados con igual rigurosidad para minimizar su impacto en el entorno y en la huella de carbono de las operaciones mineras.

## b. Los relaves mineros y presa de relaves

Un relave minero es el material sobrante que queda después de que se ha extraído el mineral valioso de la roca madre durante el proceso de beneficio de minerales. Este subproducto está compuesto principalmente por partículas finas de roca molida, agua, y, en muchos casos, residuos de los reactivos químicos utilizados en la separación del mineral valioso. Los relaves suelen tener una baja concentración de metales, lo que les otorga un valor económico limitado. Sin embargo, su manejo es crucial debido a su potencial impacto ambiental, especialmente cuando contienen sustancias tóxicas o metales pesados que pueden contaminar el suelo y el agua (Wang et al., 2021).

El impacto ambiental de los relaves mineros puede ser significativo. Una de las principales preocupaciones es la contaminación del agua, ya que los relaves pueden liberar metales pesados y otros contaminantes al medio ambiente, especialmente a través del drenaje ácido de minas (AMD). Este proceso ocurre cuando los minerales sulfurados presentes en los relaves reaccionan con el agua y el oxígeno, produciendo ácido sulfúrico, que a su vez disuelve metales tóxicos que pueden infiltrar cuerpos de agua subterráneos y superficiales, afectando la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos (Lazorenko et al., 2021).

Además, los relaves también pueden generar contaminación del aire en forma de polvo fino, especialmente en regiones áridas o en épocas secas. Este polvo puede ser transportado por el viento a grandes distancias, afectando la salud respiratoria de las comunidades cercanas y contribuyendo a la degradación ambiental general (Islam et al., 2022). Por lo tanto, la gestión adecuada de los relaves es fundamental para minimizar estos impactos y proteger tanto el medio ambiente como la salud pública.

Para contener y gestionar estos residuos, se construyen las presas de relaves, que son estructuras diseñadas específicamente para almacenar los relaves de manera segura. Una presa de relaves es esencialmente una barrera o dique construido para contener el lodo de relaves y el agua que queda después del proceso de separación del mineral valioso. Estas presas se ubican generalmente en valles o zonas de baja topografía, aprovechando la geografía natural para crear un contenedor eficaz para los residuos. Su diseño y construcción están sujetos a estrictas regulaciones para asegurar su estabilidad y prevenir filtraciones o rupturas que podrían tener consecuencias desastrosas para el medio ambiente y las comunidades cercanas (Lazorenko et al., 2021).

Sin embargo, las presas de relaves presentan riesgos significativos si no se gestionan adecuadamente. Las fallas estructurales en una presa de relaves pueden resultar en la liberación catastrófica de grandes volúmenes de relaves, causando la contaminación de extensas áreas de tierra y cuerpos de agua, lo que podría resultar en pérdidas de vidas humanas y daños ambientales irreparables. Ejemplos de tales incidentes incluyen colapsos de presas en Brasil y otros países, donde los desastres asociados han tenido consecuencias devastadoras (Lazorenko et al., 2021).

Además del riesgo de fallas estructurales, las presas de relaves tienen un impacto duradero en el entorno natural, ya que ocupan grandes extensiones de tierra que anteriormente podían haber sido ecosistemas naturales, como bosques o praderas. Este cambio en el uso del suelo no solo reduce la biodiversidad local, sino que también puede alterar los ciclos hidrológicos y la calidad del suelo, exacerbando los problemas ambientales en la región (Islam et al., 2022). Asimismo, la infraestructura asociada, como los caminos de acceso y las áreas de operación, puede fomentar la urbanización y la fragmentación del hábitat, lo que agrava aún más el impacto ambiental.

Por lo tanto, la gestión de relaves y de las presas de relaves es una cuestión crítica en la minería moderna. Es esencial que las empresas mineras implementen estrategias de gestión sostenible, que incluyan el monitoreo continuo de estas estructuras, la adopción de tecnologías avanzadas para reducir la generación de relaves, y la exploración de alternativas para su reutilización, como el uso de relaves en la producción de materiales de construcción a través de tecnologías de geopolímeros (Lazorenko et al., 2021). Además, la implementación de normativas y regulaciones estrictas es fundamental para asegurar que las presas de relaves sean operadas de manera segura y que los impactos ambientales sean minimizados.

La gestión adecuada de los relaves y las presas de relaves es solo una parte del desafío ambiental en la minería. Para abordar integralmente el impacto de las operaciones mineras, es esencial realizar una Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), que permita identificar, predecir y mitigar los efectos negativos de las actividades mineras en el medio ambiente. En la siguiente sección, se detallará el proceso de la EIA y se discutirán los aspectos clave que deben ser considerados en los proyectos mineros.

### c. Evaluación del Impacto Ambiental en Proyectos Mineros

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es un proceso crítico que permite identificar, predecir y evaluar los efectos potenciales de las actividades mineras sobre el medio ambiente (González y Otero, 2024). Este proceso es esencial para asegurar que los

proyectos mineros se desarrollen de manera responsable, minimizando su huella ambiental y promoviendo la sostenibilidad. La EIA considera factores como la calidad del aire, el agua, la biodiversidad y la salud de las comunidades locales, y propone medidas de mitigación para reducir los impactos negativos identificados (Garrido, 2013).

En cuanto a la definición del impacto ambiental, este se refiere a cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea positivo o negativo, que resulta de las actividades humanas. En el contexto de la minería, los impactos pueden ser directos, como los efectos inmediatos de la extracción sobre la calidad del suelo y el agua, o indirectos, como las alteraciones en los ecosistemas debido a la actividad minera (Crispin, 2018). Además, se reconocen impactos sinérgicos, que resultan de la combinación de varios impactos menores que, en conjunto, producen un efecto más significativo, y acumulativos, que son el resultado de la suma de impactos individuales a lo largo del tiempo (Crispin, 2018).

La EIA no solo ayuda a identificar y mitigar estos impactos, sino que también permite la participación de las comunidades locales, asegurando que sus preocupaciones se tomen en cuenta durante la planificación y ejecución de los proyectos mineros (Cortez et al., 2016). Este enfoque participativo es crucial para fomentar una relación más positiva entre la industria minera y la sociedad, y para promover prácticas mineras más sostenibles que minimicen los efectos adversos sobre el medio ambiente y las comunidades.

### **2.2.8 Gestión ambiental y sostenibilidad en la minería**

En el contexto de la minería, la gestión ambiental se refiere a la implementación de prácticas y métodos orientados a minimizar el impacto negativo de las actividades mineras sobre el medio ambiente. Según lo planteado por Crispin (2018), la gestión ambiental incluye herramientas voluntarias diseñadas para que organizaciones públicas y privadas logren un alto nivel de protección ambiental dentro del marco del desarrollo sostenible. Estas acciones, sustentadas en principios proambientales, permiten a las instituciones evaluar sus impactos ambientales, implementar mecanismos de control y buscar una mejora continua en su interacción con el entorno.

El desarrollo sostenible, definido por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se centra en satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas (Pinto y Rodríguez 2020). Este enfoque holístico es crucial en la minería, donde es

fundamental equilibrar el crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental. La sostenibilidad en la minería implica la adopción de prácticas que minimicen el impacto ambiental y promuevan la equidad social, garantizando a su vez la viabilidad económica de las operaciones (Cortez Lope et al., 2016).

Los beneficios del desarrollo sostenible en la minería incluyen no solo la mejora de la reputación corporativa, sino también la reducción de costos operativos a largo plazo y la creación de valor para las comunidades locales (Qarahasanlou et al., 2022). En la minería, la sostenibilidad abarca la implementación de tecnologías limpias, la gestión adecuada de recursos y la participación activa de las comunidades en la planificación de proyectos, asegurando que se respeten sus derechos y se aborden sus preocupaciones (Garrido Espinola, 2013).

El desarrollo sostenible en la minería no solo se enfoca en la protección ambiental, sino que también establece una relación directa con la responsabilidad social y el liderazgo ético dentro de las organizaciones mineras. Esta relación es fundamental para garantizar que las prácticas mineras no solo sean sostenibles, sino también justas y equitativas. La implementación de estrategias sostenibles, alineadas con la responsabilidad social empresarial (RSE) y el liderazgo ético, permite a las empresas mineras operar de manera más responsable, beneficiando tanto al entorno como a las comunidades involucradas (González y Otero, 2024).

La responsabilidad social empresarial y el liderazgo ético en la minería son inseparables de las estrategias que buscan mitigar los impactos ambientales, especialmente en lo que respecta a la huella de carbono. Estas estrategias no solo permiten a las empresas cumplir con sus compromisos sociales, sino que también son fundamentales para minimizar el impacto ambiental de las operaciones mineras, garantizando así una operación más sostenible y responsable.

## **2.3 Definición de términos**

### **2.3.1 Bonos de carbono**

Los bonos de carbono son instrumentos financieros que representan una tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que ha sido reducida, evitada o eliminada de la atmósfera a través de proyectos certificados. Estos bonos se comercializan en mercados de carbono y permiten a las empresas compensar sus emisiones comprando créditos de carbono generados por proyectos de reducción de emisiones, como la reforestación o la

implementación de energías renovables. De esta manera, se incentiva la reducción de emisiones a nivel global (Cortez Lope et al., 2016).

### **2.3.2 Calentamiento global**

El calentamiento global se refiere al aumento de la temperatura promedio de la superficie de la Tierra debido a las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por actividades humanas (Naciones Unidas, 2023b).

### **2.3.3 Ciclo de vida de los minerales**

Es un proceso completo que va desde la exploración y extracción hasta el cierre y la restauración de las minas, siendo su correcta gestión esencial para fomentar el desarrollo sostenible en la industria minera. Este ciclo se inicia con la identificación de yacimientos minerales, donde se realizan estudios geológicos y exploraciones para evaluar la viabilidad de la extracción. Una vez confirmado el recurso, se pasa a la planificación y desarrollo de la mina, lo que incluye la construcción de la infraestructura necesaria para su operación (Qarahasanlou et al., 2022).

### **2.3.4 Efecto invernadero**

Es un fenómeno natural que posibilita que la Tierra alcance una temperatura apta para la vida. Los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera capturan una porción del calor solar, impidiendo que se propague al espacio. No obstante, debido a las actividades humanas, su excesiva acumulación en la atmósfera está intensificando el efecto invernadero y causando el calentamiento global (Cornelio, 2023).

### **2.3.5 Economía circular**

La economía circular es un modelo que promueve el uso eficiente de los recursos y la reducción de residuos, transformando los desechos de un proceso en insumos para otro, similar a los ciclos naturales. Este enfoque busca reemplazar el ciclo tradicional de "producir, usar y tirar" por la reutilización y el reciclaje, generando estrategia sostenible y responsable (Diaz Chirre et al., 2016).

### **2.3.6 Factores de emisión**

Totocayo (2023), el factor de emisión es un coeficiente que se utiliza para calcular la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera por cada unidad de actividad, como el consumo de un combustible o la producción de un material. Estos factores se basan en fuentes oficiales y específicas, y están respaldados por directrices como las del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) y el GHG Protocol, que establecen estándares y metodologías para estimar las emisiones.

### **2.3.7 Gases de efecto invernadero (GEI)**

Los GEI son gases que absorben el calor en la atmósfera, provocando un incremento de la temperatura global. Los principales GEI son el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre (Díaz Chirre et al., 2016).

### **2.3.8 Gestión ambiental**

Se refiere a las acciones y estrategias que las empresas implementan para cuidar el medio ambiente mientras realizan sus actividades. Esto incluye el uso responsable de los recursos naturales, la reducción de la contaminación y el manejo adecuado de los residuos. La idea es que las empresas no solo se enfoquen en obtener ganancias, sino que también sean responsables con el entorno y contribuyan al bienestar de la comunidad. En resumen, la gestión ambiental busca equilibrar el desarrollo económico con la protección del medio ambiente (Díaz Chirre et al., 2016).

### **2.3.9 Lixiviación**

Es un proceso en el que sustancias tóxicas, como metales, se disuelven y se liberan de las rocas debido a la acción del agua. Esto sucede especialmente en áreas donde se extraen minerales que contienen sulfuros. Cuando estas rocas se exponen al aire y al agua, pueden liberar metales dañinos al medio ambiente, contaminando ríos y aguas subterráneas. Este proceso puede causar problemas graves para los ecosistemas, afectando a las plantas y animales que viven en esas áreas (Lazorenko et al., 2021).

### **2.3.10 Potencial de calentamiento global (PCG)**

El Potencial de Calentamiento Global (PCG) es un factor que describe el impacto en el calentamiento de la Tierra de una determinada cantidad de un gas de efecto invernadero en comparación con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante un periodo específico. Este concepto es utilizado para calcular el efecto relativo de diferentes gases sobre el cambio climático, expresando su capacidad para atrapar calor en la atmósfera en términos equivalentes a la del CO<sub>2</sub> (García Quiroz, 2016).

### **2.3.11 Responsabilidad Social Empresarial**

RSE se conecta al compromiso de las empresas de contribuir al desarrollo sostenible mediante acciones que beneficien al medio ambiente y sociedad, más allá de sus obligaciones legales y económicas. Este concepto implica que las empresas deben considerar el impacto de sus decisiones y actividades en la comunidad y el entorno, buscando generar un valor compartido y mejorar su reputación al ser socialmente responsables (Garrido, 2013).

### **2.3.12 tCO<sub>2</sub> eq**

Significa "toneladas de dióxido de carbono equivalente". Es una unidad de medida utilizado para expresar la cantidad total de GEI emitidos, teniendo en cuenta el potencial de calentamiento global de cada gas en relación al CO<sub>2</sub>. En otras palabras, se convierte la cantidad de cada GEI a su equivalente en CO<sub>2</sub> para poder sumarlas y obtener una medida total (Vandeginste et al., 2024).

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Diseño de la investigación**

El diseño de investigación fue no experimental ya que no se realizó intervención o manipulación de las variables independientes. Es decir que se obtuvo la información sin alterar las condiciones existentes. Arias (2012) el investigador analiza el área de estudio sin intervenir activamente. En este caso se buscó obtener información cuantitativa y describir las emisiones de GEI en el proyecto: Recrecimiento de la presa de relaves Fase VIII de la Empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.

### **3.2 Acciones y actividades**

#### **3.2.1 Identificación de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero**

Para poder identificar las fuentes de emisión detallamos las actividades del proyecto donde se tuvo una visión completa de todas las operaciones y actividades que componen el proyecto.

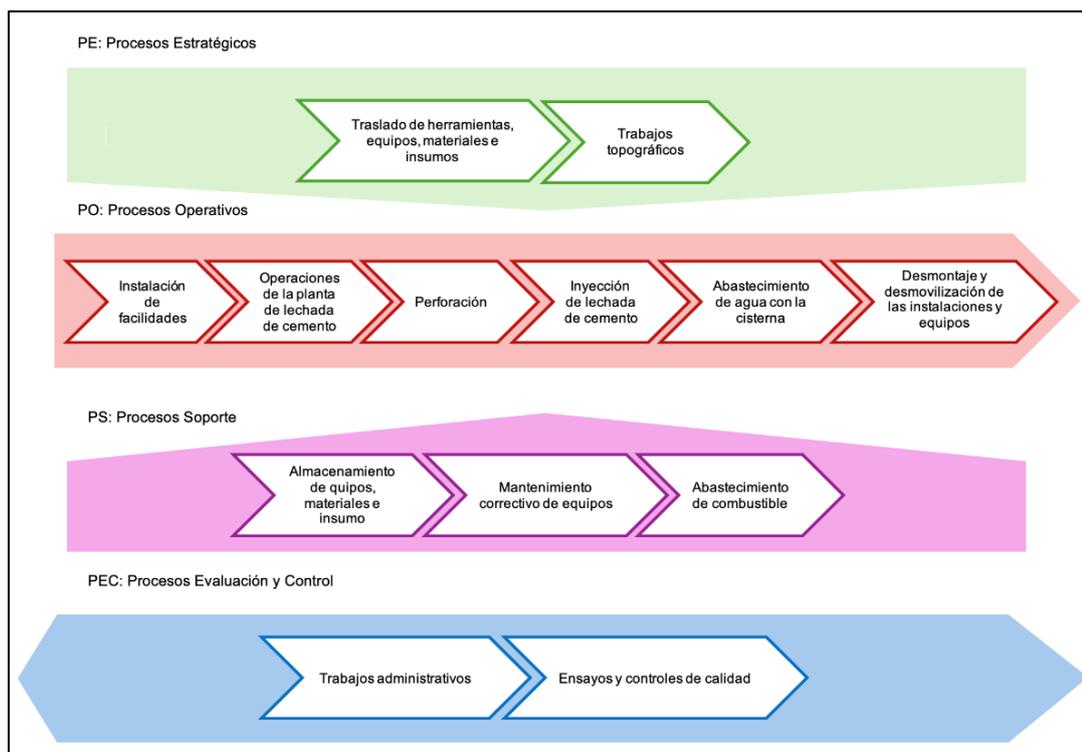
Los principales procesos operativos de la empresa consistían en la extracción de roca utilizando maquinaria especializada. Se emplearon tuercas de diamante en la perforadora, que extrajeron testigos de roca a profundidades específicas, dejando una columna preparada para su posterior llenado. A continuación, se llevó a cabo la inyección de cemento fortificado, la cual se realizaba en la planta de inyección. Este cemento era inyectado con la fuerza del agua, que se aplicaba a presión en la columna perforada para fortificar internamente la estructura del suelo. En cuanto a la documentación, la empresa contaba con personal encargado de los sistemas operativos, administrativos, técnicos, de calidad y de seguridad, quienes realizaban sus actividades en oficinas.

En segundo lugar, se identificaron los equipos y vehículos utilizados en los procesos. En el primer proceso, se utilizó el equipo perforador SOIL MEC SM 09, cuya función era exclusivamente la perforación de roca. También se empleó una cisterna de agua cuya principal tarea era abastecer las tinajas de la planta de inyección y regar las vías para reducir la polución. El telehandler era un equipo que permitía mover cargas a alturas y distancias variables. La moto soldadora se utilizaba manualmente para trabajos de soldadura sin necesidad de energía eléctrica. Los generadores eléctricos resultaban fundamentales para el funcionamiento de los procesos, siendo dos los que

energizaban la planta de inyección, la zona de oficinas y el área de perforación. Finalmente, se contaban con vehículos como camionetas y un bus, que se destinaban al transporte del personal entre la zona de oficinas y la de producción.

**Figura 2**

*Mapa de procesos*



### 3.2.2 Cuantificación por tipo de emisiones de gases de efecto invernadero

Para la cuantificación de emisiones se consideró el Alcance 1: Emisiones directas generadas por los equipos y vehículos que requieren el consumo de combustibles en este caso Diésel B5. Cabe mencionar que no se contempló el Alcance 2 sobre Emisión indirecta de energía eléctrica por un suministro externo, dado que la energía eléctrica utilizada en el proyecto es obtenida por los generadores eléctricos.

#### a. Cuantificación de las emisiones directas (Alcance 1)

El consumo de combustible se obtuvo de los datos periódicos del consumo mensual del proyecto en galones, como se observa en el Anexo 2, de las diferentes fuentes de emisión que son los vehículos, equipos y generadores eléctricos. La data se recolectó de los registros documentados por el área de almacén.

Para comprender el uso de combustibles se convirtió de galones a litros, después se obtuvo la densidad del combustible Diésel B5, se obtuvo el valor en kilogramos, que se combinó con los valores predeterminados del poder calórico y los factores de emisión fueron obtenidos de las directrices de IPCC publicadas en el 2006. Se calculó utilizando la fórmula para la emisión directa de GEI en toneladas de dióxido de carbono equivalentes.

$$ED = \frac{CC \times PCN}{10^3} \times \left( FE_{CO_2} + FE_{CH_4} \times PCG_{CH_4} + FE_{N_2O} \times PCG_{N_2O} \right) \quad (1)$$

Donde:

ED: “Emisiones Directas de GEI en tCO<sub>2</sub> equivalente”.

CC: “Cantidad de combustible consumido en kg”, densidad del diésel B5 (0,87 kg/l).

PCN: “Poder calórico neto del combustible utilizado, en (0,0455 GJ/kg).

FE<sub>CO<sub>2</sub></sub>, FE<sub>CH<sub>4</sub></sub>, FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>: Factores de emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O del combustible utilizado, en (74,1 kg CO<sub>2</sub>/GJ), (0,004 kg CH<sub>4</sub>/GJ) y (0,004 kg N<sub>2</sub>O/GJ), respectivamente.

PCG<sub>CH<sub>4</sub></sub>, PCG<sub>N<sub>2</sub>O</sub>: Potencial de Calentamiento Global del CH<sub>4</sub> (21) y N<sub>2</sub>O (310), respectivamente.

#### b. Cuantificación de otras emisiones indirectas (Alcance 3)

En la cuantificación de las emisiones indirectas se delimitó el consumo de agua, papel y cemento por parte de la empresa Soletanche Bachy. Se descartaron otras fuentes de gases de efecto invernadero dado que no aportaron de manera significativa a la huella de carbono debido al tipo de actividad que realiza la compañía contratista, tal como señala Crispin en su estudio.

##### – Consumo de agua

El área de producción nos brindó el volumen de agua consumida en el proyecto ya que esta es obtenida de los registros que brinda la cisterna de agua del trabajo por día realizado, mostrado en el Anexo 3, se ponderó el consumo periódico de agua en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), de todas las actividades de manera mensual.

$$OEI_w = Da \times Fe \quad (2)$$

Donde:

OElw: Otras Emisiones Indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de agua, en tCO<sub>2</sub> equivalencia.

DA: Datos de la actividad, en m<sup>3</sup>.

FE: Factor de emisión por consumo de agua (0,0005 TCO<sub>2</sub>eq / m<sup>3</sup>).

– Consumo de papel

La cuantificación de la emisión de gases de efecto invernadero por el consumo de papel se basó en el gramaje del papel multiplicado por el área del papel.

Se recopiló la información otorgada por el área de almacén según los registros mostrados en el Anexo 4 que existen de los paquetes de papel consumidos mensualmente en el proyecto.

$$\text{Gramaje} \left( \frac{\text{gr}}{\text{m}^2} \right) \times \text{Area} (\text{m}^2) = \text{peso por hoja (gr)} \quad (3)$$

Posteriormente se multiplico el conjunto de hojas consumidas para obtener la masa total que resultara en kilogramos.

$$\text{Peso por hoja (gr)} \times \text{Cantidad de hojas} = \text{Peso total (kg)} \quad (4)$$

Finalmente, se aplicó la fórmula para hallar las emisiones de GEI en toneladas de CO<sub>2</sub> eq.

$$\text{Peso Total} \times \text{FE} = \text{GEI en TnCO}_2\text{eq} \quad (5)$$

FE: Factor de emisión por consumo de papel (0,00184 TCO<sub>2</sub>eq / kg).

– Consumo de cemento

Para el consumo de cemento se obtuvo los registros mensuales del peso en kilogramos utilizado por el área de inyección, mostrado en el Anexo 5, por lo cual se utilizó la siguiente formula que nos permitió determinar el dióxido de carbono equivalente.

$$\text{Peso Total del cemento} \times \text{FE} = \text{GEI en TCO}_2\text{eq} \quad (6)$$

FE: Factor de emisión por consumo de cemento (0,85 TCO<sub>2</sub>eq / kg).

### 3.2.3 Cálculo de la huella de carbono

Se calculó el total de emisiones de gases de efecto invernadero del proyecto aplicando la siguiente formulas:

$$\text{ET} = \text{ED} + \text{OEI} \quad (7)$$

Donde:

ET: Emisiones Totales de GEI, en tCO<sub>2</sub> equivalente.

ED: (Alcance 1) Emisiones Directas de GEI, en tCO<sub>2</sub> equivalente.

OEI: (Alcance 3) Emisiones Indirectas de GEI, en tCO<sub>2</sub> equivalente.

## 3.3 Materiales y/o instrumentos

### 3.3.1 Materiales

- Computadora
- Cámara fotográfica
- Impresora
- GPS

### 3.3.2 Instrumentos

- Papers
- Artículos científicos
- Fichas de recolección

## 3.4 Población estudio

El proyecto: Recrecimiento de la presa de relaves fase VIII, en la unidad minera Antamina ubicada en la región de Ancash en el distrito de San Marcos, como se observa en la Figura 3. Se trabajó con la población total del 100 % de 136 colaboradores.

### Figura 3

*Ubicación del área de estudio*



*Nota.* Obtenido de Google Maps (2024).

La empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. es una empresa de geotécnicas moderna e ingeniería de cimentaciones. tiene una variedad de procesos de ingeniería geotécnica, cimentaciones especiales, obras subterráneas, mejoramiento de suelos y tratamiento de contaminación.

Soletanche Bachy es responsable de la implementación de muro pantalla o pantalla continua, una técnica de contención adicional cuyo objetivo principal es resistir los empujes del suelo y disminuir su deformación como estrategia de prevención frente al crecimiento de la presa de relaves.

### 3.5 Operacionalización de variables

La Tabla 4 se muestra la operacionalización de variables con el fin de medir la variable y cuantificarla tal como se especifica extensamente en el Anexo 1 en la matriz de consistencia del estudio.

**Tabla 4***Operacionalización de variables de investigación*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Escala</b>	<b>Técnicas o métodos</b>
Huella de Carbono	La huella de carbono es un indicador ambiental que consigue analizarse sobre un área. La huella de carbono mide las emisiones de gases de efecto invernadero de las acciones que se llevan a cabo en empresas que generan CO <sub>2</sub> , esto con el fin de lograr una reducción de los GEI mediante acciones correctivas ambientales. (Carbon Trust, 2013).	- Emisiones directas de GEI. - Emisiones indirectas de GEI. - Otros tipos de emisiones indirectas de GEI. - Reportes de consumo de materiales.	-Total de gases de efecto invernadero emitidos: Medido en toneladas métricas de CO <sub>2</sub> equivalente s (CO <sub>2</sub> eq).	Tn CO <sub>2</sub> eq	Metodología propuesta por Crispin (2018)

### 3.6 Técnicas de procesamiento y análisis estadístico

Los datos procesados son el resultado de la recopilación de la data de los registros de la empresa Soletanche Bachy Perú otorgados por las áreas operativas, los cuales fueron registrados en fichas, en el periodo de agosto del 2023 a julio 2024. Se definió el análisis de una única variable, lo que nos consintió hacer una presentación descriptiva de los resultados mediante gráficas de Excel.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

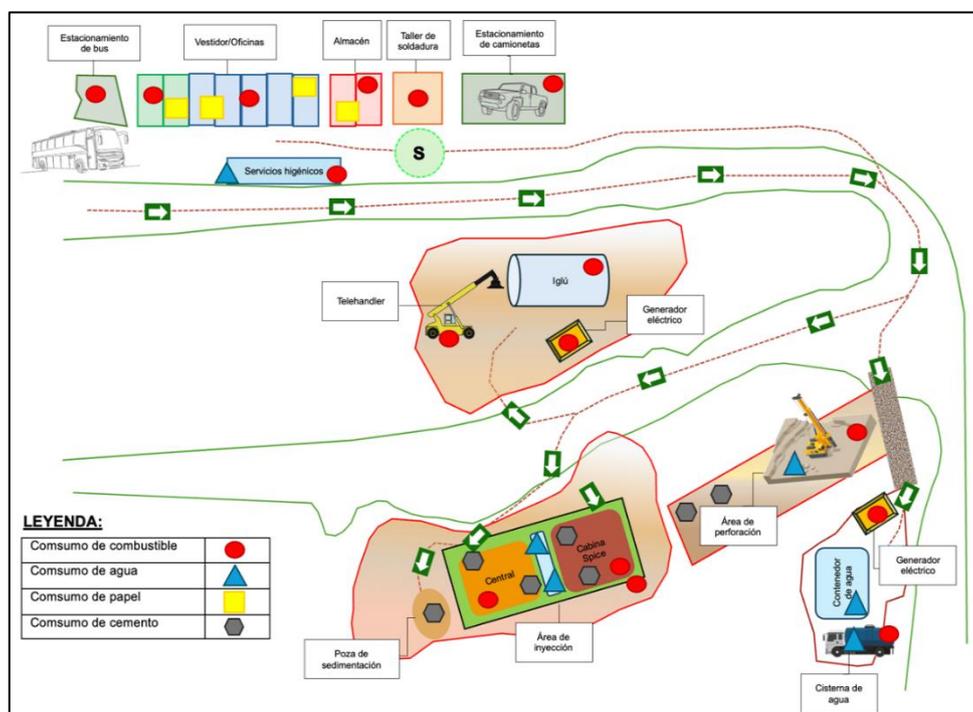
En el proceso de recopilación de datos se obtuvo información otorgada del proyecto: Recrecimiento de la presa de relaves Fase VIII, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

### 4.1 Identificación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.

En lo que respecta a la identificación de emisiones de GEI en los procesos de la empresa se realizó un mapeo por sectores de trabajo que fueron estacionamiento de vehículos, oficinas, almacén, taller de soldadura, sector de iglú, área de inyección, área de perforación, área de abastecimiento de agua. Tal como se muestra se muestra en la Figura 4. Se tomó en cuenta los sectores y cuáles son sus fuentes emisiones de gases de efecto invernadero de la empresa Soletanche Bachy.

**Figura 4**

*Mapa de la identificación de emisiones por consumo de suministros*



En la Tabla 5 se puede observar que las emisiones directas por consumo de combustible son emitidas por los vehículos (cisterna de agua, bus y camioneta) y equipos (generadores eléctricos, motosoldadora, perforadora y telehandler). En cuando

a las emisiones indirectas sus principales fuentes de emisión son el consumo de agua, papel y cemento.

**Tabla 5**

*Fuentes de Emisión según los alcances*

<b>Tipo de Alcance</b>	<b>Descripción</b>
<b>Alcance 1</b> Emisiones producidas por la quema de combustible.	Emisiones Directas de GEI por consumo de Combustible: - Cisterna de agua. -Bus. - Camioneta. -Generadores eléctricos. - Motosoldadora. - Perforadora. - Telehandler.
<b>Alcance 3</b> Emisiones originadas en operaciones comerciales que no son directas en el proyecto.	Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Agua Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Papel Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Cemento

#### **4.2 Cuantificación de la huella de carbono de las fuentes de emisiones del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.**

Los resultados de la cuantificación de la Huella de Carbono se tuvieron lo siguiente:

La Tabla 6 presenta un registro detallado del consumo mensual de Diésel B5 en litros utilizado en el proyecto. El consumo está desglosado mes a mes, comenzando en agosto de 2023 con 3 123 L, y alcanzando su punto máximo en marzo de 2024 con 35 846 L. En total, se registra un consumo acumulado de 236 441 L a lo largo de los doce meses que abarca el período del proyecto. Este detalle permite observar el comportamiento del consumo de combustible en diferentes etapas del proyecto, posiblemente reflejando los momentos de mayor actividad constructiva.

**Tabla 6**

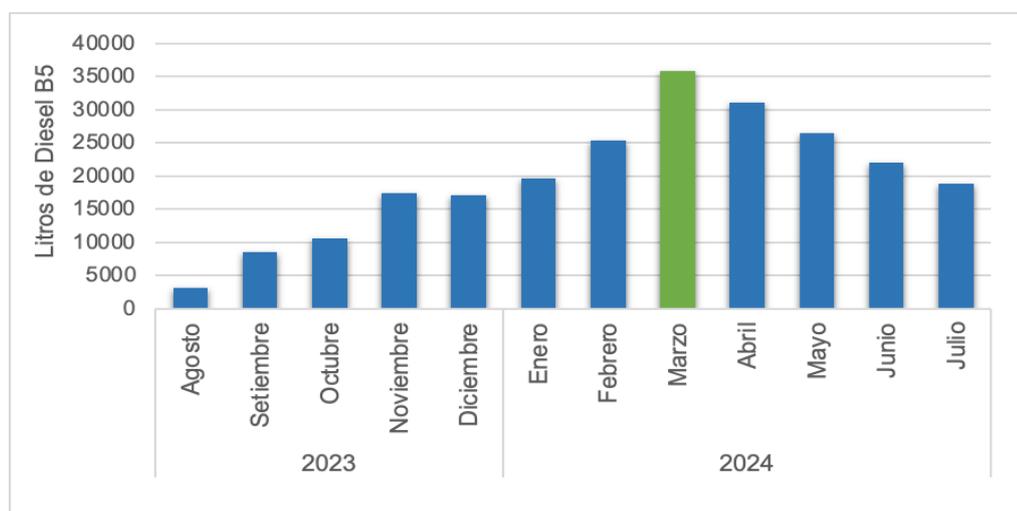
*Consumo mensual de combustible del proyecto: recrecimiento de la presa de revalas Fase VIII*

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Diésel B5 (L)</b>
2023	Agosto	3 123
	Setiembre	8 574
	Octubre	10 579
	Noviembre	17 499
	Diciembre	17 117
	Enero	19 598
2024	Febrero	25 438
	Marzo	35 846
	Abril	31 165
	Mayo	26 474
	Junio	22 080
	Julio	18 949
	<b>Total</b>	

La Figura 5 representa gráficamente el consumo mensual de Diésel B5 mostrado en la Tabla 6, destacando aquellos períodos con mayor o menor uso de combustible entre los diferentes meses y comprende los patrones de consumo, indicando que el mes de marzo es el de mayor consumo.

**Figura 5**

*Consumo mensual de combustible en el proyecto: recrecimiento de la presa de revalas Fase VIII*



La Tabla 7 muestra el total de Diésel B5 consumido. El generador eléctrico, con un consumo de 191 265,79 L, destaca como el principal consumidor de combustible. En contraste, las motosoldadoras tienen un consumo significativamente menor, con solo 102,206 L. El total del combustible consumido por todos los equipos asciende a 236 441,25 L, coincidiendo con el total mensual reflejado en la Tabla 6.

**Tabla 7**

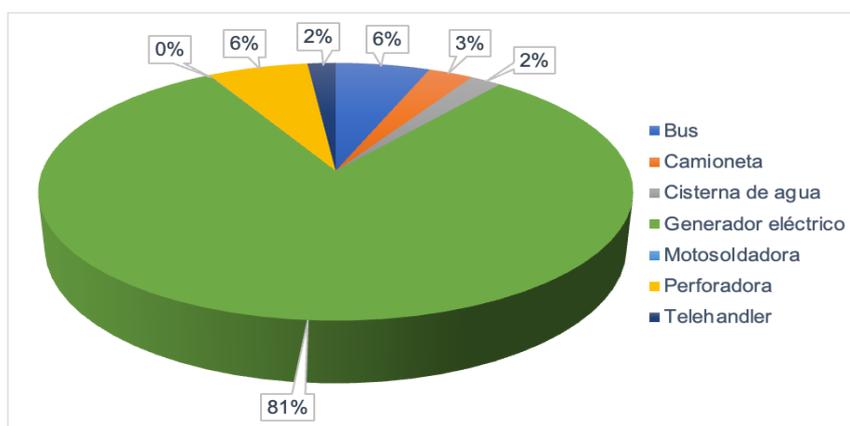
*Consumo de combustible por tipo de equipo y vehículo del Proyecto:  
Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

<b>Equipos</b>	<b>Diésel B5</b>	<b>Unidad</b>
Bus	141 82,796	
Camioneta	6 744,086	
Cisterna de agua	4 753,339	
Generador eléctrico	191 265,790	Litros (L)
Motosoldadora	102,206	
Perforadora	15 169,273	
Telehandler	4 223,760	
<b>Total</b>		<b>236 441,25</b>

La Figura 6 se ilustra el consumo de Diésel B5 por cada tipo de equipo o vehículo, facilitando una comparación visual entre los diferentes consumos de combustible. La representación gráfica permite destacar visualmente el impacto del uso de cada tipo de equipo en el consumo total de combustible, señalando la preponderancia del generador eléctrico frente a los demás equipos y vehículos empleados en la obra.

**Figura 6**

*Consumo de combustible por tipo de equipo y vehículo del Proyecto:  
Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*



En la Tabla 8 detalla el consumo mensual de agua en metros cúbicos (m<sup>3</sup>). Se registra un consumo mensual, mostrando picos en febrero y marzo, posiblemente asociados a fases del proyecto que requieren un mayor uso de agua. El consumo total acumulado de agua a lo largo del período documentado es de 11,495 m<sup>3</sup>, proporcionando una visión clara del uso de este recurso esencial en las operaciones del proyecto.

**Tabla 8**

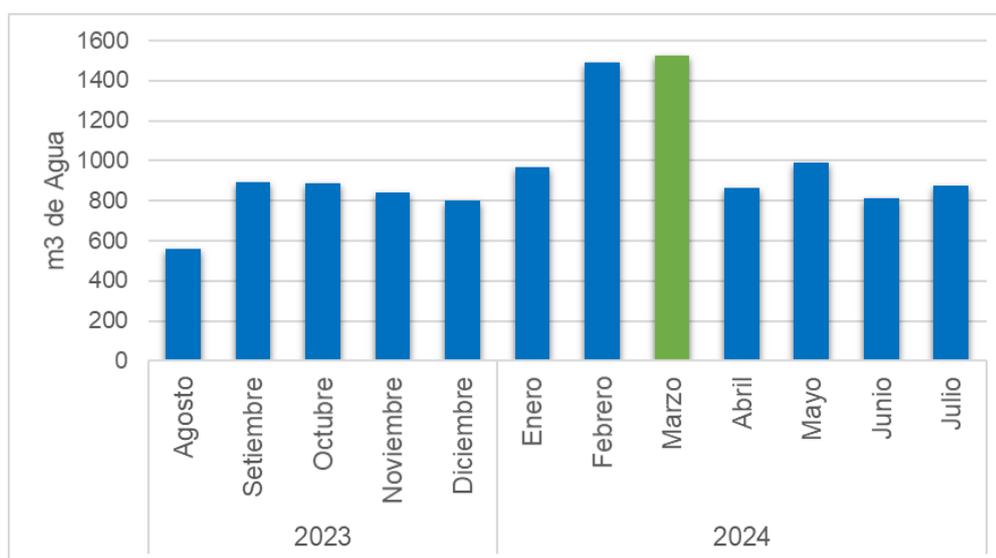
*Consumo de agua mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

Año	Mes	Agua (m <sup>3</sup> )
2023	Agosto	562
	Setiembre	893
	Octubre	884
	Noviembre	839
	Diciembre	798
	Enero	967
2024	Febrero	1489
	Marzo	1523
	Abril	865
	Mayo	989
	Junio	812
	Julio	874
Total		11 495

La Figura 7 presenta una gráfica del consumo mensual de agua en el proyecto mostrado en la Tabla 8, facilitando la identificación de tendencias y variaciones a lo largo del tiempo. Los períodos de mayor consumo corresponden al mes de (marzo) y de menor consumo al mes de agosto; lo que permite una evaluación del consumo de recurso hídrico en el proyecto.

### Figura 7

*Consumo de agua mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*



La Tabla 9 se observa el consumo mensual de papel observándose el consumo de papel van desde 3 000 a 5 000 hojas. El total acumulado para el período de estudio es de 49 000 hojas, lo que refleja el volumen de uso papel en la elaboración de documentos y para la administración de información manejado durante las distintas fases del proyecto.

**Tabla 9**

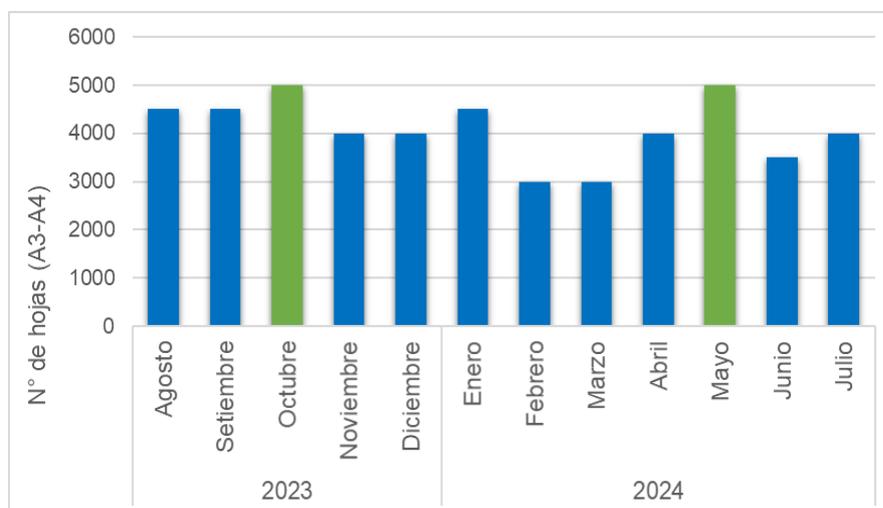
*Consumo de papel mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>N° Hojas (A3-A4)</b>
2023	Agosto	4500
	Setiembre	4500
	Octubre	5000
	Noviembre	4000
	Diciembre	4000
2024	Enero	4500
	Febrero	3000
	Marzo	3000
	Abril	4000
	Mayo	5000
	Junio	3500
	Julio	4000
<b>Total</b>		<b>49000</b>

En la Figura 8 se observa el consumo de papel mensual detallado en la Tabla 9. A través de una gráfica, se puede visualizar de manera sencilla la estabilidad o variación en el consumo de papel durante los diferentes meses, reflejándose un mayor consumo de papel en los meses de octubre y mayo.

**Figura 8**

*Consumo de papel mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*



En la Tabla 10 se detalla del consumo mensual de cemento en kilogramos a lo largo del proyecto. Los meses con mayor consumo son marzo (95 kg) y abril (166 kg) de 2024, lo que sugiere un período de mayor actividad constructiva en esos meses. El consumo total de cemento durante el período considerado es de 667 kg, lo cual es relevante para evaluar el impacto ambiental y los recursos empleados en la construcción.

**Tabla 10**

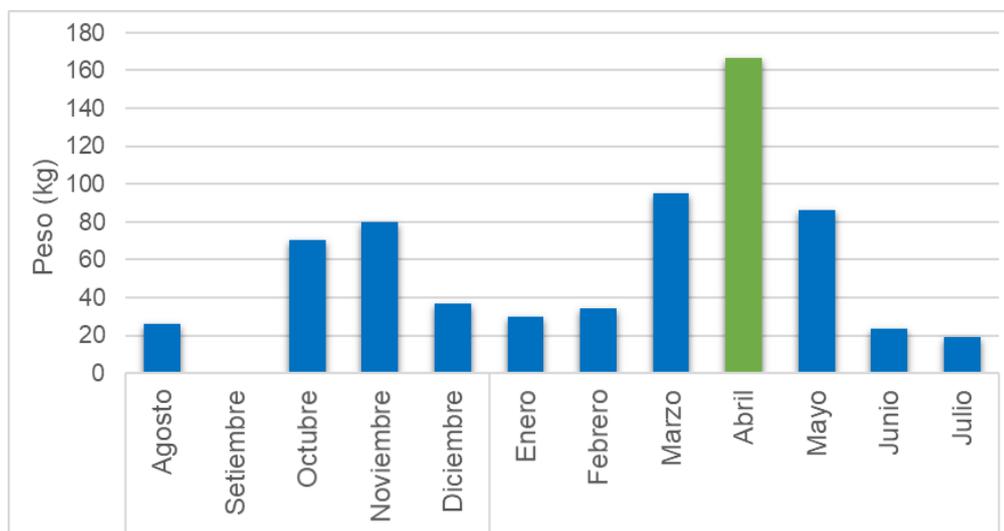
*Consumo de cemento mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Peso (kg)</b>
2023	Agosto	26
	Setiembre	0
	Octubre	70
	Noviembre	80
	Diciembre	37
	Enero	30
2024	Febrero	34
	Marzo	95
	Abril	166
	Mayo	86
	Junio	23
	Julio	19
	Total	667

La Figura 9 ilustra el consumo de cemento mensual mencionado en la Tabla 10, se evidencia un pico representativo en el mes de abril, un aumento de consumo de cemento.

**Figura 9**

*Consumo de cemento mensual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*



La Tabla 11 detalla las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (en toneladas) derivadas del consumo anual de Diésel B5. Se estima que el proyecto emite 705,93 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes debido al uso de combustible, basadas en el consumo total de 236 441,25 L de Diésel B5. Estos datos son importantes para la cuantificación de la Huella de Carbono.

**Tabla 11**

*Emisión de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de combustible anual del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

Combustible	Litros/año	Kg/año	ED (tCO <sub>2</sub> eq)
Diésel B5	236441,25	205703,89	705,93

. En la Tabla 12 se presenta la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente asociadas al consumo anual de agua en el proyecto. Las emisiones totales para el período suman 5,75 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que proporciona una visión cuantificada de las emisiones derivado del uso de este recurso.

**Tabla 12**

*Emisión de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de agua anual del Proyecto:  
Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Agua (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Emisión Total (tCO<sub>2</sub>eq)</b>
2023	Agosto	562	0,28
	Setiembre	893	0,45
	Octubre	884	0,44
	Noviembre	839	0,42
	Diciembre	798	0,40
2024	Enero	967	0,48
	Febrero	1489	0,74
	Marzo	1523	0,76
	Abril	865	0,43
	Mayo	989	0,49
	Junio	812	0,41
	Julio	874	0,44
<b>Total</b>		<b>11495</b>	<b>5,75</b>

La Tabla 13 muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente generadas por el consumo anual de papel en el proyecto, desglosado por tamaño de hoja (A3 y A4). El consumo total de papel produce 0,51 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, permitiendo evaluar el impacto del uso de este recurso en el proyecto.

**Tabla 13**

*Emisión de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de papel anual del Proyecto:  
Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

<b>Tipo de papel</b>	<b>N° hojas</b>	<b>Peso de papel (kg/año)</b>	<b>Factor de emisión CO<sub>2</sub> / Kg de papel</b>	<b>Emisión Total (tCO<sub>2</sub>eq)</b>
Tamaño A4	38500	179	0,00184	0,33
Tamaño A3	10500	98		0,18
<b>Total</b>	<b>49000</b>	<b>277</b>		<b>0,51</b>

En la Tabla 14 se cuantifican las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente generadas por el consumo de cemento durante el proyecto, que ascienden a 567 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Se detalla el consumo mensual de cemento y las emisiones de CO<sub>2</sub> por mes.

**Tabla 14**

*Emisión de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de cemento anual del Proyecto:  
Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Emisión Total (tCO<sub>2</sub>eq)</b>
2023	Agosto	26	22
	Setiembre	0	0
	Octubre	70	60
	Noviembre	80	68
	Diciembre	37	32
2024	Enero	30	25
	Febrero	34	29
	Marzo	95	81
	Abril	166	141
	Mayo	86	73
	Junio	23	20
	Julio	19	16
<b>Total</b>		<b>667</b>	<b>567</b>

En la Tabla 15 se muestra las emisiones totales de dióxido de carbono del proyecto, desglosadas en emisiones directas e indirectas según los distintos tipos de alcance (1 y 3). El total de emisiones da como resultado la cuantificación de la Huella de Carbono que es de 1 279,21 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Tabla 15**

*Emisiones de dióxido de carbono del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revales Fase VIII*

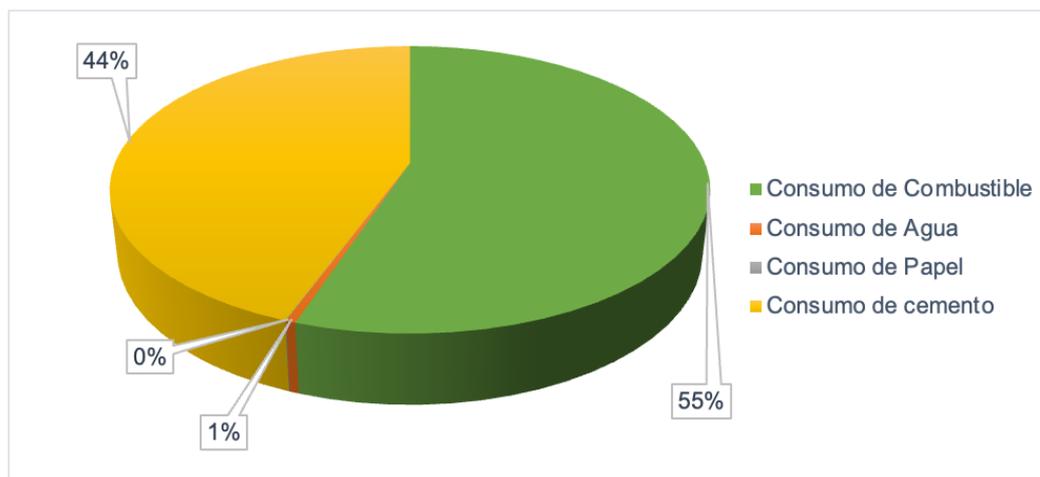
<b>Tipo de emisión</b>	<b>Tipo de Alcance</b>	<b>Descripción</b>	<b>tCO<sub>2</sub>eq</b>
Emisión directa	Alcance 1	Consumo de Combustibles	705,93
		Consumo de Agua	5,75
Emisión indirecta	Alcance 3	Consumo de Papel	0,51
		Consumo de cemento	567,02
<b>Total</b>			<b>1 279,21</b>

La Figura 10 representa visualmente las emisiones totales de dióxido de carbono del proyecto, permitiendo una comparación rápida entre los diferentes tipos de emisiones. Se tuvo como resultado un 55 % del consumo de combustible, 44 %

consumo de cemento, 1 % consumo de agua y 0 % consumo de papel, siendo el mayor el consumo de combustible como principal emisor de CO<sub>2</sub>.

**Figura 10**

*Emisiones de dióxido de carbono del Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalés Fase VIII*



#### **4.3 Formulación de las acciones de mejora para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.**

En los resultados de la estimación de la Huella de Carbono (HC) de la empresa Soletanche Bachy Perú en el proyecto: Recrecimiento de la presa de relaves Fase VII, resaltamos notablemente el consumo de dos elementos el combustible y el cemento, esto resultado de sus actividades como empresa de geotecnia. La estimado de la HC nos muestra lo importante que es esta herramienta clave para evaluar el impacto ambiental del proyecto.

Los datos resultantes nos dan un alcance detallado de las toneladas de dióxido de carbono emitidas en un año de trabajo de este proyecto revelando que su emisión es de 1 279 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>eq) en 414 m<sup>2</sup> de terreno del proyecto. Donde el consumo con mayor ponderación fue el combustible y el equipo más indicador fueron los generadores eléctricos.

Es así como mediante estos resultados se pudieron formular acciones de mejoras a la alta gerencia, las cuales fueron:

#### **4.3.1 Realización de mantenimientos predictivos y preventivos**

El mal estado de los equipos y vehículos puede incrementar el consumo de combustible entre un 5 % y un 15 % debido a fallas mecánicas y fricción excesiva (International Council on Mining and Metals [ICMM], 2014). Un programa de mantenimiento preventivo basado en datos históricos y sensores predictivos reduce los tiempos de inactividad y el desgaste excesivo de componentes clave, como motores y sistemas de transmisión para asegurar el correcto funcionamiento de los generadores eléctricos de manera eficiente que conste en revisión de filtros, aceite y sistemas de aireación. Asegurando que el generador opere en una capacidad óptima evitando la sobrecarga lo cual puede aumentar el desgaste y sobre esfuerzo.

#### **4.3.2 Optimización del ciclo de trabajo**

Optimizar los ciclos de trabajo y transporte es esencial para reducir el tiempo que los equipos pasan en ralentí o recorriendo rutas no óptimas, lo que puede representar hasta un 40 % del tiempo total de operación en algunas minas. Las tecnologías de optimización de rutas pueden reducir este tiempo en un 15 %, mejorando la eficiencia general del uso de combustible. A su vez se aplica una capacitación a los operadores de vehículos sobre las consecuencias de mantener el motor en Ralentí causando un gasto innecesario del consumo de combustible y ocasionando un impacto negativo en el medio ambiente.

#### **4.3.3 Capacitación y concientización**

La capacitación de los operadores para aplicar técnicas de conducción eficiente, como la reducción de tiempos en ralentí, frenado suave y gestión adecuada de la carga, puede reducir el consumo de combustible en hasta un 10 % (U.S. Department of Energy, 2015). Las técnicas de ecoconducción ayudan a que los operadores sean conscientes de cómo sus acciones afectan el consumo de combustible y el desgaste de los equipos.

La sensibilización de los empleados se puede aumentar con la ayuda de carteles informativos. Esta tiene como objetivo educar a los empleados y concientizarlos sobre la importancia del ahorro energético en la empresa o en el hogar para que adopten buenas prácticas en protección del medio ambiente.

#### 4.3.4 Reducción del consumo de energía

El Ministerio del Ambiente recomendó las siguientes medidas para reducir el consumo de energía aprovechamiento de la luz natural, mantenimiento de luminarias, paredes pintadas con colores claros, apagado de equipos que no se estén usando, reemplazo de luminarias con tecnología LED, adquisición de equipos con etiqueta de eficiencia energética, verificación del estado de los artefactos o equipos para campañas de iluminación eficiente sustituyendo las bombillas incandescentes por LED ya que estas consumen menos energías y tienen una útil más prolongada. Investigaciones indican que el uso de diodos emisores de luz (LED) en lugar de luminarias fluorescentes puede reducir las emisiones hasta en un 56 %. Economía de energía Las bombillas LED tienen muchos beneficios, como ahorrar energía porque consumen ocho veces menos que un halógeno y la mitad de un ahorrador, reproducen los colores con gran fidelidad, no queman, tienen encendido inmediato, llegando a su máxima potencia al encender, tienen una vida útil más larga, reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> y no contienen mercurio, plomo o cadmio. Según los datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas, el gas, el diésel y el carbón representan el 31 % de la producción eléctrica en Perú.

**Tabla 16**

*Frecuencia de acción, presupuesto aproximado y responsables de la formulación de acciones de mejora para el Proyecto: Recrecimiento de la presa de Revalles Fase VIII*

<b>Acción de mejora</b>	<b>Frecuencia de la acción</b>	<b>Presupuesto aproximado (S/)</b>	<b>Responsable</b>
Mantenimiento predictivos y preventivos	Quincenal	1 200	Área de Mantenimiento
Optimización del ciclo de trabajo	Bimensual	500	Gerente del proyecto
Capacitación y concientización	Mensual	250	Gerente del proyecto
Reducción del consumo de energía	Semanal	300	Gerente del proyecto

Las acciones de mejora tuvieron un presupuesto total aproximado de 2 500 soles y los resultados de la disminución de emisión de gases de efecto invernadero se planteó que tendrían una significancia a mediano plazo, entre seis meses y dos años, debido al tipo de acciones de mejora en el caso de la optimización de trabajo, y a su vez para generar un nuevo hábito en los colaboradores.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La presente investigación impulsa el interés de la aplicación de la Huella de Carbono (HC) como una herramienta muy útil, para la identificación del impacto de una empresa genera con sus actividades hacia el medio ambiente (área de influencia de su operación). Esta herramienta es un indicador de evaluación y soporte de toma de decisiones y el punto de partida para acciones de cambio.

Cabe mencionar que la Huella de Carbono debe amoldarse a la realidad de cada proyecto o entidad ya que tienen diversos procesos, recursos, etc.

### **5.1 Identificación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.**

Crispin (2018) en su investigación denominó como emisor directo el consumo de combustible y como emisores indirectos el consumo de energía eléctrica, siendo este último el de mayor importancia en ese punto, seguido por el consumo de agua, papel y transporte. Esta identificación dependió en gran parte de la zona de desarrollo del proyecto, la unidad minera y el tipo de actividad que realizó la empresa. En la presente investigación, como ya se había mencionado, el consumo de energía eléctrica estuvo representado por el consumo de combustible, ya que debido a la ubicación de la minera no contaban con una empresa externa que los abasteciera de energía. En cambio, la misma empresa generó la energía con generadores eléctricos que estaban dentro de las emisiones directas por uso de combustible, siendo esta la emisión directa más significativa del proyecto. En las emisiones indirectas para el presente proyecto se identificaron tres que fueron de suma importancia: el consumo de agua, papel y cemento, que, debido a las actividades realizadas por la empresa, fueron las de mayor relevancia.

A pesar de la relevancia de estos hallazgos, Crispin (2018) consideró unas de sus emisiones indirectas de Alcance 3 el transporte de los colaboradores, siendo este un gran emisor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Fue importante reconocer que la presente investigación se limitó a tres consumos primordiales, enfocados netamente al proceso operativo del proyecto con un enfoque más reducido. Se consideró en este punto una limitante en el desarrollo del proyecto.

## **5.2 Cuantificación de la huella de carbono de las fuentes de emisiones del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.**

En la investigación realizada por Crispin (2018) en la empresa contratista JRC Ingeniería y Construcción SAC, en la unidad minera El Brocal se obtuvo un total de 814.71 de tCO<sub>2</sub>eq donde el consumo de combustible tuvo una participación del 16 %, el consumo de energía eléctrica un 51 %, el consumo de agua un 29 %, del papel un 1 % y el transporte un 3 %. Contemplando sus actividades y procesos el consumo más significado es de la energía eléctrica. En caso de la presente investigación, se obtuvo un total de 1 279,21 de tCO<sub>2</sub>eq donde se tuvo como participación un 55 % el consumo de combustible, 44% consumo de cemento, 1 % consumo de agua y 0 % consumo de papel. Si bien es cierto en la presente investigación no se contempló el consumo de energía eléctrica ya que esta debe ser por una entidad externa del cual Soletanche Bachy no cuenta y lo reemplaza con el uso de generadores eléctricos los hallazgos en ambas investigaciones reflejan que estas dos categorías son la principal fuente de emisión de CO<sub>2</sub> (combustible y electricidad).

Se realizó una comparativa de las emisiones directas, correspondientes a las actividades de combustión de combustibles fósiles (Alcance 1), representan la mayor parte de las emisiones. En el proyecto, el uso de equipos como generadores eléctricos y vehículos contribuye significativamente al total de emisiones directas (705,93 tCO<sub>2</sub>eq). De manera similar, en la tesis de Cornelio (2023), se observó que el 95,06 % de las emisiones de la empresa Posada Perú SAC provenían del uso directo de combustibles fósiles. Esto demuestra que las operaciones industriales en sectores mineros y de construcción tienen una alta dependencia de combustibles fósiles, lo que destaca la necesidad de explorar energías alternativas como estrategia de mitigación.

En cuanto a las emisiones indirectas (Alcance 3), las emisiones generadas por el consumo de recursos como agua, papel y cemento. En la investigación, estas fuentes generaron alrededor del 45 % de las emisiones totales. De forma similar, en la tesis de Pinto y Rodríguez (2020), donde también se observó un impacto significativo de los recursos indirectos como una mayor tendencia al consumo del papel.

En ambos casos, las emisiones directas, correspondientes a las actividades de combustión de combustibles fósiles (Alcance 1), representan la mayor parte de las emisiones. En la presente investigación, el uso de equipos como generadores eléctricos y vehículos contribuye significativamente al total de emisiones directas (705,93 tCO<sub>2</sub>eq). De manera similar, en la tesis de Cornelio (2023) se observó que el 95,06 % de las

emisiones de la empresa Posada Perú SAC provenían del uso directo de combustibles fósiles(análisis). Esto demuestra que las operaciones industriales en sectores mineros y de construcción tienen una alta dependencia de combustibles fósiles, lo que destaca la necesidad de explorar energías alternativas como estrategia de mitigación. Finalmente, es importante señalar que la huella de carbono total de la investigación fue de 1 279,21 tCO<sub>2</sub>eq, mientras que, en estudios nacionales previos, como la tesis de Solórzano y Valverde (2021), la mina Apumayo reportó una huella de carbono de 24 977,1 tCO<sub>2</sub>eq (análisis). Esta diferencia puede atribuirse a las diferencias en la escala de los proyectos, así como a la naturaleza de las actividades mineras frente a la construcción de infraestructuras. No obstante, ambas investigaciones coinciden en que el consumo de combustibles y el uso de materiales de construcción representan las principales fuentes de emisión, lo que refuerza la importancia de centrarse en estas áreas para las futuras reducciones de emisiones.

### **5.3 Formulación de las acciones de mejora para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.**

La investigación resultó en valores altos de consumo de combustibles, de los cuales gran parte correspondió al consumo de los generadores eléctricos. Se formuló como plan de acción un mantenimiento predictivo y preventivo de manera quincenal, ya que estos equipos eran utilizados todos los días en ambos turnos, lo que originaba una saturación en el funcionamiento adecuado de los mismos. A su vez, se planteó una optimización del ciclo de trabajo para no sobre esforzar los vehículos o equipos.

Otra acción de mejora que se formuló fue la capacitación y concientización de los colaboradores de la empresa Soletanche Bachy Perú. Algunas investigaciones sugirieron que campañas efectivas de concientización podían lograr cambios significativos en el comportamiento, con incrementos en prácticas sostenibles de entre un 10 % y un 50 %, dependiendo del tema y de la estrategia utilizada. Se esperaba que estas acciones de mejora, que debería tomar la alta gerencia de la empresa, contribuyeran a un cambio significativo en la reducción de emisiones de GEI y a un cambio de hábito en los colaboradores, no solo en la empresa, sino también en su vida diaria.

## CONCLUSIONES

En esta investigación se concluyó que las fuentes de emisión directas eran el consumo de combustible de los vehículos y equipos, y como fuentes de emisión indirecta se identificaron el consumo de agua, papel y cemento.

Se logró estimar la Huella de Carbono, teniendo como resultado 1,279.21 tCO<sub>2</sub>eq, lo que demostró que el proyecto generaba grandes cantidades de dióxido de carbono al año, contribuyendo al calentamiento global.

Se formularon acciones de mejora para la reducción de las emisiones de GEI generadas por la empresa, con el fin de reducir el impacto de estas actividades en el medio ambiente mediante acciones de concientización y prevención.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa Soletanche Bachy Perú, implementar las acciones de mejora propuestas en la presente tesis según los resultados obtenidos en la estimación de la Huella de Carbono, después de la cuantización de las emisiones de GEI se espera la reducción de estas.

Emplear objetivos de trabajo orientados a la gestión eficaz, los cuales se sometan a una reducción del consumo de combustible, forma eficaz del uso de energía y con enfoque a una disminución de las fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Se recomienda a la empresa reportar en la Plataforma Huella de Carbono Perú propuesta por el MINAN, para un mayor control de las emisiones generadas en los futuros proyectos de la empresa pueda tener.

Se recomienda a la empresa implementar la metodología del Ministerio del Ambiente (MINAM) para la elaboración de los Inventarios Regionales de Gases de Efecto Invernadero (IRGEI).

En futuras investigaciones se pueden aplicar estrategias de medición como lo son la huella medioambiental o ecológica para evaluar la sostenibilidad y el consumo de los recursos y la producción de desechos que están dentro de los límites que el planeta genera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accorsi, S., López, R. E., y Sturla, G. (2018). *Input-Output table and Carbon Footprint: Estimation and Structural Decomposition Analysis* [Documento de Trabajo 475, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/159324>
- Adrianto, L. R. (2023). *Environmental Perspectives on Emerging Resource Recovery Systems of Mine Tailings: A Life Cycle Consideration* [Tesis doctoral, Universidad ETH Zurich,]. <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/606842>
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación - Introducción a la *metodología científica* (E. E. C.A (ed.); 6ta Edició). [file:///C:/Users/augus/AppData/Local/Mendeley Ltd./Mendeley Desktop/Downloaded/Arias - 2012 - El Proyecto de Investigación - Introducción a la metodología científica.pdf](file:///C:/Users/augus/AppData/Local/Mendeley%20Ltd./Mendeley%20Desktop/Downloaded/Arias%20-%202012%20-%20El%20Proyecto%20de%20Investigaci%C3%B3n%20-%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20metodolog%C3%ADa%20cient%C3%ADfica.pdf)
- Arias, S. M., Córdova, J. D., y Gómez, M. A. (2021). Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera de El Bajo Cauca Antioqueño en el sector de la construcción. *Revista EIA*, 18(36). <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1496>
- Bascompta, M., Sanmiquel, L., Vintró, C., y Yousefian, M. (2022). Corporate Social Responsibility Index for Mine Sites. *Sustainability*, 14(20), 13570. <https://doi.org/10.3390/su142013570>
- Benites, J. C. A. (2019). *Determinación de la Huella de Carbono de una Unidad Minera de Oro a Tajo Abierto* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4041>
- Bermeo, J. V. (2023). *Propuesta para implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración* [Tesis de Maestría, Escuela de Posgrado Newman]. [https://repositorio.epnewman.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12892/955/TrabajoFgFm %282%29.pdf?sequence=1](https://repositorio.epnewman.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12892/955/TrabajoFgFm%20-%29.pdf?sequence=1)
- Bustos, J. F. (2011). *Análisis de la Huella de Carbono en una Empresa Minera del Cobre en Chile* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://repositorio.uc.cl/dspace/items/d36dc0fe-f23b-4e49-a12e-957c32477b70>

- CEPLAN. (2023a). *Daños ambientales causados por el hombre*.  
[https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/r1\\_2022](https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/r1_2022)
- CEPLAN. (2023b). *El impacto negativo de las actividades humanas en el medio ambiente en el Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/748658-el-impacto-negativo-de-las-actividades-humanas-en-el-medio-ambiente-en-el-peru>
- Cornelio, I. M. (2023). *Estimación de la Huella de Carbono, utilizando la Metodología Greenhouse Gas Protocol y la Norma ISO 14064-1, en la Empresa Posada Perú SAC - 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur].  
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/3428>
- Corporacion Alta Ley, Karungen, Ecodesarrollo, Sammi Cluster Minero Andino, y Linkminers. (2023). *Guía sobre emisiones en la cadena de suministro de la minería: Línea base sectorial y propuestas para la acción*.  
<https://www.corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2023/04/Guia-sobre-emisiones-en-la-cadena-de-suministro-de-la-mineria.pdf>
- Cortez, E., Peñaloza, P. J., y Pumapillo, S. N. (2016). *Gestión de emisiones de gases de efecto invernadero en explotaciones mineras subterráneas en el Perú* [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/624100>
- Crispin, A. (2018). *Determinación de la Huella de Carbono de la Empresa JRC Ingeniería y Construcción SAC en la Unidad Minera El Brocal* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú].  
[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6211/T010\\_45727071\\_M-AbelCrispinJurado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6211/T010_45727071_M-AbelCrispinJurado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Diaz, M. M., Melgar, D. S., Tapia, B. L., y Vallejo, P. J. (2016). *Hacia un Análisis de la Gestión de Ecoeficiencia Minera: Un Estudio de Seis Empresas Mineras en el Perú* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].  
[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7535/DIAZ\\_MELGAR\\_ECOEFICIENCIA\\_MINERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7535/DIAZ_MELGAR_ECOEFICIENCIA_MINERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- El Centro de Columbia sobre Inversión Sostenible (CCSI), & Fundación de Minería Responsable (RMF). (2020). *La minería y los ODS: Actualización de la situación en 2020*.  
[https://www.responsibleminingfoundation.org/app/uploads/RMF\\_CCSI\\_Mining\\_and\\_SDGs\\_SP\\_Sept2020.pdf](https://www.responsibleminingfoundation.org/app/uploads/RMF_CCSI_Mining_and_SDGs_SP_Sept2020.pdf)

- García, M. O. (2016). *Análisis de la Huella de Carbono de una Industria de Concreto y Agregados en sus Tres Alcances* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/31119/garcia-quiros-maria-olivia.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Garrido, E. L. (2013). *Inventario de Emisiones e Implementación de Huella de Carbono mediante Metodología GHG Protocol en Constructora Asociada a la Gran Minería* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/188370>
- Garro, F. Z., y Alvarado, M. M. (2023). *Implementación de un modelo enmarcado en el Ciclo de Deming bajo un enfoque en logística verde para reducir las emisiones de CO2 equivalente en el transporte de una empresa minera* [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671359>
- González, M. S., y Otero, V. G. (2024). *Evaluación preliminar de huella de carbono de planta de procesamiento de minerales auríferos de Vetas Santander* [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/31488a59-58c2-40e6-aebd-86e3d6879fbf/content>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGraw-Hill (ed.); Sexta Edic). <https://www.esup.edu.pe/wpcontent/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20BaptistaMetodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Inga, R. (2021). *La Huella de Carbono en la Producción de Oro, Mina Shahuindo, Cajamarca, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73735>
- Islam, K., Yokoi, R., Motoshita, M., y Murakami, S. (2022). Ecological footprint accounting of mining areas and metal production of the world. *Resources, Conservation and Recycling*, 183, 106384. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106384>
- Jarsún, M. P. (2018). *Estudio de Óxido de Grafeno y Biopolímeros para la Floculación en el Tratamiento de Relaves Mineros* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/167960>

- La Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) GmbH. (2023). *Guía de Calculadora de emisiones para Proveedores de la Minería*. <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2023/01/Guia-Calculadora-Emissiones-Proveedores-Mineria-GIZ-1.pdf>
- La Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) GmbH, Ecodesarrollo SpA, y JHG Ingeniería Ltda. (2023). *Estudio de emisiones de la cadena de suministro de la minería en Chile con el objetivo de obtener información que permita avanzar en reducir emisiones de la cadena de suministros de insumos y servicios de la minería*. <https://4echile.cl/publicaciones/estudio-de-emisiones-de-la-cadena-de-suministro-de-la-mineria-en-chile-con-el-objetivo-de-obtener-informacion-que-permita-avanzar-en-reducir-emisiones-de-la-cadena-de-suministros-de-insumos-y-servicio/>
- La Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) GmbH, El Centro de Columbia sobre Inversión Sostenible (CCSI), & Energy and Mines. (2018). *La energía renovable en la minería – Acelerando la integración de energías renovables*. [https://ccsi.columbia.edu/sites/default/files/content/docs/our-focus/extractive-industries/La\\_energ\\_a\\_renovable\\_en\\_la\\_miner\\_a.pdf](https://ccsi.columbia.edu/sites/default/files/content/docs/our-focus/extractive-industries/La_energ_a_renovable_en_la_miner_a.pdf)
- La Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) GmbH, & SAMI Energy Consulting. (2021). *Análisis del Potencial y eventuales actuales usos que tienen las fuentes de energía alternativas en la minería peruana*. <https://minsus.net/Media-Publicaciones/estudio-analisis-del-potencial-y-actuales-usos-que-tienen-las-fuentes-de-energias-alternativas-en-la-mineria-peruana/>
- Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., Shaikh, F., Krishna, R. ., y Mishra, J. (2021). Utilization potential of mine tailings in geopolymers: Physicochemical and environmental aspects. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 559–577. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.028>
- Libélula. (2022). *Inventario de Gases de EfectoInvernadero a nivel organizacional - Compañía Minera Condestable*. [https://southernpeaksmining.com/wp-content/uploads/2023/09/2023.09.08-CMC\\_Informe-HC-2022-Auditado.pdf](https://southernpeaksmining.com/wp-content/uploads/2023/09/2023.09.08-CMC_Informe-HC-2022-Auditado.pdf)
- Luna, Y. E. (2023). *Cálculo de la Huella de Carbono en la empresa Industrial de Revestimiento de Piezas con Caucho para Minería, Arequipa, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<https://repositorio.unsa.edu.pe/items/3991b49f-fd63-40eb-9f19-12bc7c1fc547/full>

MINAM. (2024). *Perú: 850 organizaciones de los sectores público y privado miden su huella de carbono*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/975411-peru-850-organizaciones-de-los-sectores-publico-y-privado-miden-su-huella-de-carbono>

Naciones Unidas. (2021). *Causas y efectos del cambio climático*. <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>

Naciones Unidas. (2023a). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible - Edición Especial*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

Naciones Unidas. (2023b). *Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023*. <https://www.unep.org/es/resources/informe-sobre-la-brecha-de-emisiones-2023>

Naciones Unidas. (2024). *Cambio Climático: La huella humana en los gases de efecto invernadero*. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>

NASA. (2024). *El análisis de la NASA confirma que 2023 fue el año más cálido registrado*. <https://www.nasa.gov/news-release/el-analisis-de-la-nasa-confirma-que-2023-fue-el-ano-mas-calido-registrado/#:~:text=En el año 2023%2C la,un análisis de la NASA.>

ONG Amigos de la Tierra. (2023). *Los límites de la minería: actividades extractivas y espacios protegidos en el Estado español*. [https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2023/07/informe\\_mineria\\_biodiversidad.pdf](https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2023/07/informe_mineria_biodiversidad.pdf)

Pinedo, J. D. (2019). *Sistematización del Cálculo de las emisiones de Gases Efecto Invernadero Generadas por el Consumo de Diésel en una empresa de Construcción y Movimiento de Tierras, 2019* [Trabajo por suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal]. [https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/7238/UNFV\\_EU\\_PG\\_Pinedo\\_Bernal\\_Titulo\\_profesional\\_2022.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/7238/UNFV_EU_PG_Pinedo_Bernal_Titulo_profesional_2022.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Pinto, D. G., y Rodríguez, E. F. (2020). *Generación de una plataforma digital con base ecoinformática para la estimación de huella de carbono y huella hídrica y propuesta para su reducción. Caso: Área administrativa Unidad Minera Pierina (Huaraz-Ancash)* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/abdb0d4a-e2f8-474e-b0d3-4d933c79e521>

- Ponce Regalado, M. de F., y Pasco Dalla Porta, M. M. (2018). *Guía de investigación en Gestión*. (P. U. C. del Perú (ed.); Edición N°). Vicerrectorado de Investigación – VRI. [https://investigacion.pucp.edu.pe/wp-content/uploads/2018/11/Guia-de-Investigacion-en-Gestion\\_segunda-edicion.pdf](https://investigacion.pucp.edu.pe/wp-content/uploads/2018/11/Guia-de-Investigacion-en-Gestion_segunda-edicion.pdf)
- Qarahasanlou, A. N., Khanzadeh, D., Shahabi, R. S., y Basiri, M. H. (2022). Introducing Sustainable Development and Reviewing Environmental Sustainability in the Mining Industry. *Rudarsko-Geološko-Naftni Zbornik*, 37(4), 91–108. <https://doi.org/10.17794/rgn.2022.4.8>
- Rodriguez, M. L. (2018). *Análisis de los principales determinantes de las emisiones de CO<sub>2</sub> en diferentes economías: los casos de España y Chile* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=148977>
- Soletanche Bachy. (2019). *Soletanche Bachy - Quiénes Somos*. <https://web.soletanche-bachy.pe/quienes-somos/>
- Solórzano, I. M., y Valverde, S. G. (2021). Greenhouse gases generated by gold mining. The example of the Apumayo Mine, Peru. *Boletín Geológico y Minero*, 132(4), 583–592. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.132.4.013>
- Ting Lo, C. (2024). Reclaiming the future: Innovative paths for post-mining prosperity. *Canadian Mining Journal*, 145(4), 10–11. <https://www.proquest.com/trade-journals/reclaiming-future-innovative-paths-post-mining/docview/3067485645/se-2?accountid=43860>
- Urrutia, F. A. (2022). *Evaluación del potencial de reducción de huella de carbono en tronadura a partir de hidrógeno verde* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/xmlui/bitstream/handle/2250/192489/Evaluacion-del-potencial-de-reduccion-de-huella-de-carbono-en-tronadura-a-partir-de-hidrogeno-verde.pdf?sequence=1>
- Valderrama, J. O., Campusano, R., y Espindola, C. (2019). Minería Chilena: Captura, Transporte, y Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Relaves mediante Líquidos Iónicos y Carbonatación Mineral. *Información Tecnológica*, 30(5), 357–372. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500357>
- Vandeginste, V., Lim, C., y Ji, Y. (2024). Exploratory Review on Environmental Aspects of Enhanced Weathering as a Carbon Dioxide Removal Method. *Minerals*, 14(1), 75. <https://doi.org/10.3390/min14010075>

- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., y Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.7658](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658)
- Performance Concrete (UHPC) based on full scale recycling of gold tailings. *Construction and Building Materials*, 304, 124664. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124664>
- Wang, M., y Feng, C. (2017). Analysis of energy-related CO<sub>2</sub> emissions in China's mining industry: Evidence and policy implications. *Resources Policy*, 53, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.06.002>

**ANEXOS**

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
<p><b>Problema general:</b></p> <p>¿Es posible estimar la huella de carbono para el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Estimar la huella de carbono para el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.</p>	<p>La determinación de la huella de carbono generados en los procesos del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C, es significativa para la reducción de emisión GEI.</p>	<p><b>Variable:</b> Huella de Carbono.</p>	<p>-Total de gases de efecto invernadero emitidos: Medido en toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalentes (CO<sub>2</sub> eq).            - Emisiones directas de GEI.            - Emisiones indirectas de GEI.            - Otros tipos de emisiones indirectas de GEI.            - Reportes de consumo de materiales.</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Investigación aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Aplicativo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Metología propuesta por Crispin (2018)</p>
<p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>a. ¿Cuáles son las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C. en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII?</p> <p>b. ¿Como se cuantifica la huella de carbono de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII?</p> <p>c. ¿Cuáles son las acciones de mejora para reducir las emisión de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>a. Identificar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.</p> <p>b. Cuantificar la huella de carbono de las fuentes de emisiones del proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII de la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C.</p> <p>c. Formular acciones de mejora para la reducción de las emisión de gases de efecto invernadero generados por la empresa Soletanche Bachy Perú S.A.C en el proyecto: Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VIII.</p>				

**Anexo 2. Ficha de registro del consumo de combustible**

Combustible: Diésel B5						
Mes: _____						
N°	Fecha de abastecimiento	Cant	Und (Gal)	Equipo	Código del equipo	Turno
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

### Anexo 3. Ficha de registro del consumo de agua

Cisterna de agua					
N°	Fecha del abastecimiento	Cant	Und (L)	Ubicación del abastecimiento	Turno
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

**Anexo 4. Ficha de registro del consumo de papel**

Mes: _____			
N°	Tamaño de papel (A3/A4)	Cant/Paquetes	Área
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

**Anexo 5. Ficha de registro del consumo de cemento**

<b>Utilización de Cemento YURA</b>				
<b>Mes: _____</b>				
<b>N°</b>	<b>Fecha</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad (Kg)</b>	<b>Turno</b>
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				