

Evaluación preliminar de huella de carbono de planta de procesamiento de minerales
auríferos de Vetas Santander

Presentado por:

Maykell Sneyder González Carvajal y Vivian Gabriela Otero Castillo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Metalúrgico

Director

Walter Pardavé Livia

Magister en Ingeniería Metalúrgica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia De Materiales

Ingeniería Metalúrgica

Bucaramanga

2024

Agradecimientos

Los autores de este trabajo de grado manifiestan su más profunda gratitud a:

Cada una de las personas que hacen posible que la Universidad Industrial de Santander siga fomentando la investigación, contribuyendo a una alta calidad ética profesional y logrando ser competitiva frente a las mejores universidades públicas del país.

La escuela de Ingeniería Metalúrgica, su personal administrativo prestos a siempre ayudar y los excelentes docentes dispuestos día a día a instruir conocimientos desde sus habilidades hasta compartiendo sus experiencias.

Al director de proyecto Walter Pardavé quien nos orientó y supervisó de forma pedagógica en el desarrollo de este trabajo de grado.

A la empresa MINA REINA DE ORO LTDA y a sus empleados por proporcionarnos la información necesaria para llevar a cabo este proyecto investigativo.

Dedicatoria de Gabriela

En primer lugar, dedico y agradezco a Dios por otorgarme fortaleza, perseverancia y salud para culminar mis estudios universitarios.

A mis papás Yackeline Castillo y Gabriel Otero por su amor, el apoyo incondicional sin importar las circunstancias, quienes depositaron confianza en mi y hoy les debo la mujer que soy pues sin ellos no lo habría logrado.

Mi hermana Ivón Otero por el apoyo moral quien con su tranquilidad me ayuda a mantener una actitud positiva frente a la vida siendo mi ejemplo profesional en la industria minera.

A mi hija Samantha Victoria Otero quien ha sido mi mayor motivación desde el momento que llego a mi vida para nunca rendirme y superarme cada día más.

A Nicolás Isidro, por acompañarme a lo largo de este proyecto, su motivación, paciencia y comprensión en los momentos más difíciles, pues ha estado para mi brindándome su amor y cariño.

También a mis profesores y compañeros, quienes compartieron su conocimiento conmigo espero la vida les recompense.

Dedicatoria de Maykell

Principalmente a la vida, por permitirme vivirla, y darme salud y fuerza para levantarme cada día a luchar por cada sueño y meta que me trazo.

A mis amados padres, Graciela Carvajal García y Edgar González Ramírez, por la educación y el amor brindado, por su esfuerzo y motivación inconmensurable. Gracias a ellos que me enseñaron a ser perseverante, me ayudan a crecer como persona y ayudaron a forjar lo que soy hoy. A ellos que, me hacen creer en mí. Por ser ese aire que necesito y me da vitalidad, a ellos que siempre me brindan su apoyo sin juzgar y mi mayor deseo es que no me vayan a faltar.

A la vida que me dio la vida, mi hermana Karoll González por estar ahí cada día, dándome apoyo, y siempre sacándome una risa, incluso cuando creo que no tengo nada por lo que reír, por ser mi mejor amiga y por creer en mí, más de lo que yo creo. Por ser mi cómplice y hacerme saber que cuando tienes un hermano, nunca vas a estar solo en la vida.

A mi compañera de vida, Luisa Estévez, que me brinda todo su amor y lealtad sin importar que, que me ha acompañado durante un largo camino, demostrándome que cuando hay amor y confianza, no hay nada que se pueda hacer. Por ser un miembro más de mi familia. A ella, por su comprensión y cariño que han sido el impulso que necesité en muchas ocasiones.

A Horus, quien fue mi leal compañero y ahora, mi angelito. Por haber sido quien me dio la inspiración muchos días, cuando no quería nada. Gracias por haberme brindado ese amor y amistad incondicional. Este logro lleva tu huellita, y es por ti.

Gracias por formar parte de este largo camino. Este logro es por ustedes, y es tan suyo como mío.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo general.....	13
1.2 Objetivos específicos	13
2. Fundamento teórico	13
2.1 Antecedentes	13
2.2 Minería aurífera actual.....	15
2.3 Emisiones generados en la minería aurífera	16
2.4 Huella de carbono en la industria minera aurífera	17
2.5 Importancia de la evaluación preliminar de huella de Carbono en la industria minera.....	17
2.6.1 ISO 14064	19
2.6.2 PAS 2050	19
2.6.3 Otras metodologías usadas.....	20
3. Metodología	20
3.1. Recopilación de datos de planta industrial para estimación de huella de carbono	21
3.2. Determinación y evaluación de la huella de carbono de la planta de procesamiento.....	22
3.3. Proponer un plan de reducción de huella de carbono para la planta de procesamiento de minerales auríferos.....	23

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

4. Resultados y discusión de resultados	23
4.1. Identificación de las Fuentes de Emisión de la huella de carbono	23
4.1.1. Alcance 1 (Emisiones directas).....	23
4.1.2 Alcance 2 (Emisiones indirectas).....	24
4.1.3 Alcance 3 (Otras emisiones indirectas).....	24
4.2. Estimación de la huella de carbono	24
4.3 Cálculo de la huella de carbono consumo de equipos	27
4.4 Cálculo de la huella de carbono consumo combustible	28
4.5 Cálculo de la huella de carbono consumo fuentes de luz	28
4.6 Cálculo de la huella de carbono total	29
5. Propuestas plan de reducción de huella de carbono.....	31
5.1 Instalación de paneles solares	32
5.2 Forestación en zonas aledañas a la mina:	32
6. Conclusiones	32
7. Recomendaciones.....	34
Referencias bibliográficas.....	35
Apéndices.....	39

Lista de tablas

Tabla 1. Fuentes de emisión de GEI.	24
Tabla 2. Consumo eléctrico de equipos en la planta aurífera minera Reina de Oro.	25
Tabla 3. Consumo de combustible por parte de transportes de la empresa.	26
Tabla 4. Consumo de fuentes de luz provenientes de la minera Reina de Oro.	26
Tabla 5. Factor de emisión para consumo eléctrico y de combustibles.	27
Tabla 6. Resultados obtenidos de la cantidad de CO ₂ en los procesos y el total.	29

Lista de figuras

Figura 1. Fórmula para determinación de huella de carbono en equivalentes de CO ₂	14
Figura 2. Análisis organizacional del ciclo de vida (ACV) basado a nivel empresarial, fuente: Grupo Knauf GmbH, España 2023.....	18
Figura 3. Flujograma general de la metodología realizada en la huella de Carbono para la mina Reina de Oro, fuente: autores.....	21
Figura 4. Gráfico de barras de cantidad de emisiones de cada proceso calculado.	31

Lista de Apéndices

Apéndice A. Ubicación Mina Reina de Oro	39
Apéndice B. Equipos usados en la obtención de oro mina Reina de Oro, para registro fotográfico solo los autorizados por la planta.	39
Apéndice C. Cálculos de HP a KW	41
Apéndice D. Cálculos de KW a KWH, en función de los tiempos de uso de las máquinas según los datos suministrados por la empresa.....	42
Apéndice E. Porcentajes de los Kg de CO2 equivalentes por día de los procesos.	42

Resumen

Título: Evaluación preliminar de huella de carbono de planta de procesamiento de minerales auríferos de Vetas Santander

Autores:

Maykell Sneyder González Carvajal**

Vivian Gabriela Otero Castillo**

Palabras clave:

Huella de Carbono, Beneficio de Minerales, Análisis ciclo de vida.

Descripción:

Se presenta en el siguiente trabajo de grado la “Evaluación preliminar de huella de carbono de planta de procesamiento de minerales auríferos de Vetas Santander” en la mina Reina de Oro, mediante un estudio y exhaustivo análisis metalúrgico evaluando métodos de balance de materiales, factores de emisión y la formulación de planes con base a la mitigación de este factor ambiental, logrando así identificar las emisiones de CO₂. Para ejecutar este proyecto se lleva a cabo una investigación documental en la cual diferentes autores se enfocan en este mismo tema de la mano con una visita técnica con el fin de identificar cada uno de los procedimientos, maquinarias y consumos de estas, dando valor agregado al alcance de emisiones directas e indirectas que afectan la región y la planta. Con los datos suministrados por la empresa, una estimación de la huella de carbono fue de 27292.421 $\left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{día}\right)$ se muestra como aceptable, pues representa el 0.00018% de la huella de carbono en Colombia, como trabajo adicional se plantean dos propuestas con el fin de contribuir en la mitigación de la huella de Carbono en el beneficio de minerales de oro de la minera Reina de Oro ubicada en Vetas, Santander.

* Proyecto de grado (Modalidad: Investigación)

**Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.
Director: MSc. Walter Pardavé Livia.

Abstract

Title: Preliminary evaluation of the carbon footprint of vetas santander gold minerals processing plant.

Authors:

Maykell Sneyder González Carvajal**

Vivian Gabriela Otero Castillo**

Keywords:

Carbon Footprint, Mineral Beneficiation, Life Cycle Analysis.

Description:

The “Preliminary evaluation of the carbon footprint of the Vetas Santander gold minerals processing plant” in the Reina de Oro mine is presented in the following degree work, through a study and exhaustive metallurgical analysis evaluating material balance methods, emission and the formulation of plans based on the mitigation of this environmental factor, thus managing to identify CO₂ emissions. To execute this project, a documentary investigation is carried out in which different authors focus on this same topic along with a technical visit in order to identify each of the procedures, machinery and consumption of these, giving added value to the scope of direct and indirect emissions that affect the region and the plant. With the data provided by the company, an estimate of the carbon footprint was 27292.421 ((Kg of CO₂)/day), shown as acceptable, as it represents 0.00018% of the carbon footprint in Colombia. Additional work is proposed. two proposals in order to contribute to the mitigation of the Carbon footprint in the benefit of gold minerals from the Reina de Oro mining company located in Vetas, Santander.

* Degree project (Mode: Research)

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director: MSc. Walter Pardavé Livia.

Introducción

En la región de Vetas, Santander (Colombia), la extracción de oro ha sido una actividad económica de gran importancia a lo largo de la historia, con numerosas instalaciones dedicadas al procesamiento de minerales auríferos operando en esta área. Esta actividad involucra una serie de procesos químicos y físicos, tales como la trituración, la molienda, la cianuración y la fundición, entre otros. Sin embargo, en un contexto mundial caracterizado por una creciente inquietud acerca del cambio climático, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O).

En el contexto de la minería aurífera, la huella de carbono abarca todas las emisiones directas e indirectas de GEI durante las diferentes etapas de la extracción y en este caso, el procesamiento de minerales. Evaluar esta huella es esencial para comprender y mitigar el impacto ambiental de la industria minera.

La carencia de datos cuantitativos y de análisis detallados sobre las emisiones de GEI en estas instalaciones limita la capacidad de tomar decisiones informadas para mitigar su impacto ambiental y avanzar hacia prácticas más sostenibles en la industria minera de oro. Por lo tanto, la evaluación preliminar de la huella de carbono en una planta de procesamiento de minerales auríferos en Santander, Colombia, se presenta como una necesidad urgente desde el punto de vista tanto ambiental como económico. Este estudio tiene como objetivo principal comprender y cuantificar las emisiones de CO_2 , así como identificar áreas críticas que requieran mejoras y proponer soluciones de carácter sostenible para reducir el impacto ambiental de estas operaciones. Todo ello en línea con los estándares internacionales de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar de manera preliminar la huella de carbono de la planta de procesamiento de minerales auríferos, mediante métodos de balance de materiales, análisis de ciclo de vida y los factores de emisión.

1.2 Objetivos específicos

Realizar el estado de arte de la determinación de la huella de carbono de la planta de procesamiento de minerales auríferos.

Identificar las fuentes de emisión de equivalente de carbono en una planta de procesamiento de minerales auríferos.

Establecer la huella de carbono de una planta de procesamiento de minerales auríferos de Vetas Santander.

2. Fundamento teórico

2.1 Antecedentes

El cambio climático es uno de los problemas que tiene el mundo actualmente, siendo este el responsable de múltiples debates a nivel mundial y diferentes opiniones referentes a cómo se puede mejorar la situación del planeta con respecto a los daños que el ser humano ha causado al mismo. Estos daños mencionados anteriormente, tienen que ver con el calentamiento global, ya que, según las Naciones Unidas, la temperatura ha subido 1.1 °C respecto a la temperatura a finales del siglo XIX, y en la última década (2011-2020) se ha reportado como la más calurosa. Sin embargo, este no sería el único problema que representa el cambio climático, ya que, debido al aumento de temperatura global, se desglosan otros efectos tales como: aumento del nivel del mar, sequías, incendios, tormentas intensas, entre otras. (¿Qué es el cambio climático?, s.f.)

Una de las causales de esta problemática actual, está relacionada con el impacto de la actividad industrial que se ha dado en el último siglo, ya que después de la revolución industrial, la contaminación ambiental ha crecido exponencialmente debido a la expansión de las industrias, a nivel mundial, sin embargo, aunque esto beneficia la economía, da un efecto negativo referente a el cambio climático. Mundialmente se encuentran datos muy preocupantes relacionados con la contaminación que generan los países del mundo, y uno de los países con más emisiones de CO₂, es Colombia, ocupando el puesto 137 de un ranking mundial entre 184 países, en el que se ordenan los países de menor a mayores contaminantes, y este dato es tomado de la comisión europea (Crippa, M et. al., 2021)

Para cuantificar las mediciones de GEI y huella de carbono, se dio cabida al término que hoy se conoce como huella de carbono. Para estimar la huella de carbono de una actividad industrial es indispensable usar la siguiente ecuación:

Figura 1.

Fórmula para determinación de huella de carbono en equivalentes de CO₂.

$$\text{Kg Equivalentes de CO}_2 = \text{Factor de emisión} \times \text{Cantidad de Energía}$$

Nota: Formula proporcionada por el director en una de las reuniones semanales para revisar el avance del libro.

La huella de carbono no solo debe ser calculada, en base a los resultados se deben sentar las medidas de precaución de esta misma, debido a que se debe hallar una manera para reducir las emisiones de CO₂ de cualquier industria. No obstante, si en alguna empresa minera, se tienen emisiones intensas de CO₂, la empresa suele tener riesgos ambientales y regulatorios, lo que podría resultar en una demanda de rendimiento por los inversores (Chava, 2014). Esto debido a que cuando las empresas mineras están en este punto pueden estar sujetas a legislaciones que

establecen precios al carbono, lo que, a su vez, podría incrementar sus costos de producción y disminuir su competitividad en el mercado (Ulrich et al., 2022).

De este modo, la presente evaluación preliminar de la huella de carbono aspira a entregar información de carácter crítico, con la intención de alcanzar una comprensión cabal de la envergadura de las emisiones que están intrínsecamente ligadas a las actividades de la planta de procesamiento de minerales auríferos en la región de Vetas Santander (Ver anexo A), siendo en este último departamento, emisor de 14.30 Megatoneladas de CO₂ equivalente, según un estudio en la Network ciudades, en 2016. Como se mencionó antes, esta indagación no solo busca informar, sino también sentar las bases para tomar medidas efectivas y responsables que contribuyan a mitigar los impactos negativos y a garantizar la sostenibilidad de la operación en armonía con el entorno y las demandas actuales de responsabilidad medioambiental y social.

2.2 Minería aurífera actual

Este término generalmente es utilizado para referirse a la extracción o la explotación de los minerales relacionados con el oro, o que contengan este último, para de esta manera conseguir el oro en estado metálico.

La extracción de oro es una actividad de gran relevancia en muchas regiones del mundo y tiene la posibilidad de tener efectos sobre el entorno natural y las comunidades cercanas. La atención a la gestión ambiental y a la responsabilidad social se torna esencial en esta industria debido a los peligros vinculados a la contaminación del agua, la degradación del suelo y otros desafíos medioambientales.

2.3 Emisiones generados en la minería aurífera

Se identifican y analizan las fuentes clave de emisiones de GEI en la minería aurífera. Estas fuentes pueden incluir la generación de energía a partir de combustibles fósiles, el transporte de minerales y productos, los procesos químicos como la cianuración y la fundición y otros aspectos operativos y logísticos.

La generación de energía es esencial para alimentar la maquinaria y los equipos utilizados en las operaciones mineras y de procesamiento. Si se utiliza combustible fósil, como el diésel o el carbón, para generar energía, esto puede resultar en la emisión de dióxido de carbono (CO₂) y otros GEI a la atmósfera.

Los procesos de trituración, molienda, cianuración y fundición de minerales auríferos pueden producir emisiones de GEI, como el CO₂, durante la combustión de combustibles y la liberación de gases, incluso en procesos como la cianuración que es un proceso ampliamente empleado para la extracción de oro a partir de minerales auríferos en el oro, se puede liberar CO₂ en las reacciones químicas como un subproducto.

El transporte de minerales, equipo y personal hacia y desde la mina y la planta de procesamiento a menudo implica el uso de vehículos que funcionan con combustibles fósiles, lo que puede contribuir a la emisión de CO₂ y otros GEI en especial, cuando el transporte de minerales extraídos y productos finales se lleva a través de largas distancias en vehículos de transporte pesados y con alto consumo de combustible como los tractocamiones.

2.4 Huella de carbono en la industria minera aurífera

“Es la cantidad total de emisiones de CO₂ que son directa e indirectamente causadas por una actividad o acumuladas en las fases del ciclo de vida de un producto.” (Wiedmann and Minx, 2007; Pandey et al., 2011) Estos autores, sin embargo, después decidieron ampliar su concepto y quiso agrupar en su definición no solo al CO₂ sino a todos los GEI. También se podría definir de una manera más amplia la huella de carbono como “un elemento de información que ayuda a gestionar los riesgos y oportunidades de una compañía en relación con los GEI de los que es responsable de una manera global e integrada, puesto que abarca las emisiones asociadas a la cadena de valor completa del negocio, permitiendo incorporar el “componente carbono” a la toma de decisiones” (Endesa, 2018).

2.5 Importancia de la evaluación preliminar de huella de carbono en la industria minera

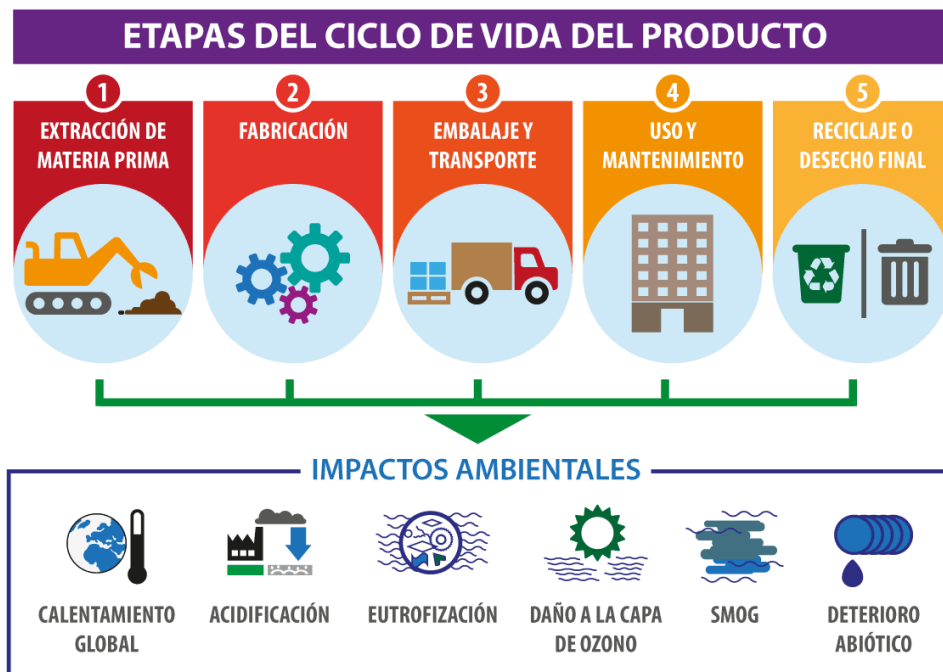
La evaluación preliminar de la huella de carbono desempeña un papel esencial al iniciar un estudio detallado sobre las emisiones de gases de efecto invernadero en una planta de procesamiento de minerales auríferos. Esta etapa inicial permite no solo cuantificar las emisiones en sus diversas fuentes, sino también identificar áreas específicas donde se pueden implementar mejoras y estrategias de reducción de emisiones. Al proporcionar una visión panorámica de la situación, se sientan las bases para un enfoque más integral y eficaz hacia la gestión ambiental y la sostenibilidad en la minería aurífera, lo que resulta en beneficios tanto para el entorno local como para la industria en su conjunto, dado que, conociendo su huella ambiental, se pueden sentar las bases para la solución de esta misma.

Esta evaluación no solo se limita a los aspectos cuantitativos, sino que también toma en cuenta y se evalúan minuciosamente los aspectos cualitativos y contextuales que pueden influir en

las emisiones de GEI, como, por ejemplo: condiciones climáticas locales, tecnología utilizada, los métodos de gestión de residuos y la eficiencia energética.

Figura 2.

Análisis organizacional del ciclo de vida (ACV) basado a nivel



Nota: tomada de Grupo Knauf GmbH, España 2023.

Para llevar a cabo esta tarea, se emplean diversos enfoques y metodologías científicas y técnicas avanzadas, como la medición directa de emisiones en las diferentes etapas del proceso de procesamiento de minerales auríferos y también se puede hacer mediante métodos de balance de materiales, análisis de ciclo de vida y los factores de emisión. 2.6 Metodologías de medición de la huella de carbono

2.6 Metodologías de medición de la huella de carbono

2.6.1 ISO 14064

La norma ISO 14064 es una serie de estándares internacionales desarrollados por la Organización Internacional de Normalización (ISO) que se enfocan en la gestión y cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la verificación de las declaraciones de gases de efecto invernadero. La serie ISO 14064 proporciona un marco de referencia para que organizaciones y entidades informen y gestionen sus emisiones de GEI de manera precisa y transparente y se subdivide en las siguientes:

“Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.

Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero.

Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero.”

International Organization for Standardization. (2008).

2.6.2 PAS 2050

PAS 2050 (Publicly Available Specification 2050) es una norma desarrollada por el Instituto de Normalización Británico (BSI) y es ampliamente reconocida en el ámbito de la medición de la huella de carbono de productos y servicios. La PAS 2050 establece directrices y requisitos para evaluar y comunicar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida completo.

2.6.3 Otras metodologías usadas

"Protocolo GHG" se refiere al "Protocolo de Gases de Efecto Invernadero" o "Greenhouse Gas Protocol" en inglés. Este protocolo es una de las herramientas más utilizadas para la medición y la gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las actividades humanas. Fue desarrollado de manera conjunta por dos organizaciones líderes en sostenibilidad: el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) en el año 2001.

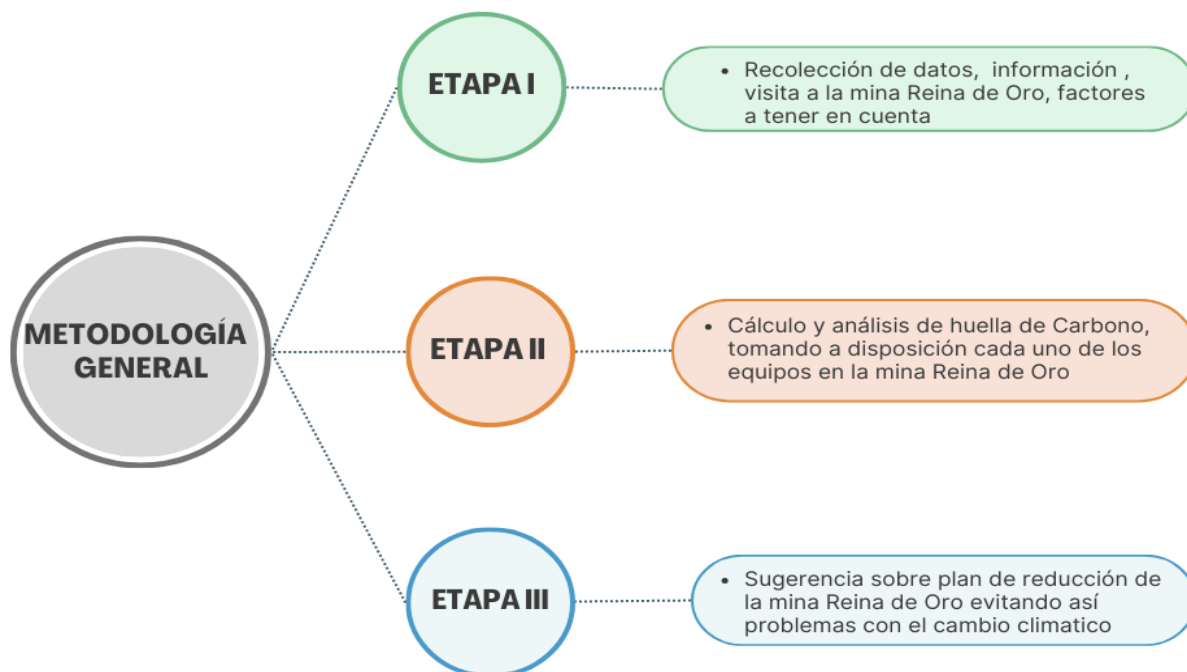
El Protocolo GHG divide las emisiones en tres categorías, dependiendo de su origen y su conexión con la organización: el alcance 1 incluye las emisiones directas provenientes de fuentes que están bajo el control directo de la entidad; el alcance 2 se refiere a las emisiones indirectas que surgen de la adquisición y el consumo de energía; y, por último, el alcance 3 engloba las emisiones indirectas que se generan externamente a la organización, pero que están vinculadas a sus actividades. (Guallasamin Constante, K., & Simón-Baile, D. 2018).

3. Metodología

En aras de dar solución a cada uno de los objetivos planteados se presentan las siguientes etapas realizadas y posteriormente un esquema general (Figura 2) para el cálculo de la huella de carbono en la mina Reina de Oro ubicada en Vetas, Santander. Teniendo en cuenta las emisiones de carbono.

Figura 3.

Flujograma general de la metodología realizada en la huella de Carbono para la mina Reina de Oro



Nota: Ilustración creada por los autores.

3.1 Recopilación de datos de planta industrial para estimación de huella de carbono

Teniendo en cuenta cada una de las materias primas, materiales, equipos y energía proporcionada por cada uno de los anteriores; se identificó y se logró recaudar la información necesaria sobre el consumo de energía, estableciendo así el año de cálculo, lo cual además de esto implicó la revisión de registros internos en la mina Reina de Oro y los límites que se puedan presentar en la planta de beneficios (Ver anexo B).

Para esto se realizó una visita general a la mina Reina de Oro con el fin de conocer de cerca su funcionamiento, profundizando así cada uno de los procedimientos que se llevan a cabo en la obtención de oro en el municipio de Vetas, Santander. Además de la importancia de relacionarse con los trabajadores de la planta quienes día a día realizan estas labores estableciendo una relación directa y brindando información clara, precisa y oportuna en el desarrollo del presente proyecto de investigación.

De esta información, se destaca que en la mina Reina de Oro, se usan dos trituradoras, una de mandíbula (61 HP) y otra de cono (77 HP), que favorecen su proceso de trituración del material; después de este paso, se pasa por un molino de bolas (281 HP) logrando su proceso de molienda. Una vez teniendo el material molido, se pasa por un hidrociclón (4 HP), llegando así a su último proceso: pasar el material restante por dos mesas de sacudida Wilfley ($\frac{1}{2}$ HP c/u).

3.2 Determinación y evaluación de la huella de carbono de la planta de procesamiento

En la mina Reina de Oro se logra identificar las etapas implicadas en el proceso de obtención del oro, empezando con dos máquinas trituradoras para luego pasar por el molino de bolas pues el propósito de este proceso es llegar a la granulometría reduciendo así todo el mineral en diferentes tamaños separables entre sí conjuntamente con medios mecánicos, como lo son el hidrociclón y las mesas de sacudidas Wilfley con una mezcla de movimientos vibratorios a lo largo de todo el equipo y utilizando la gravedad a su favor, según su peso específico y su granulometría.

Para calcular Kg de CO₂ equivalente se realizó un inventario de consumos de energía de cada una de las máquinas usadas, desde la maquinaria para la obtención del oro hasta las luminarias, equipos de cómputo y hasta aires acondicionados; por otra parte se tuvo en cuenta en este cálculo el consumo de combustibles para así luego multiplicar con sus respectivos factores de emisión pues se tuvo que dividir en directas e indirectas según sea el caso, logrando así identificar las principales fuentes entre la cantidad de CO₂ producido y la cantidad de mineral oro procesado con el método de recuperación por gravimetría. Para este proceso también se hizo necesario instituir los límites organizacionales, que son los que establecen qué partes de su empresa, plantas

físicas, sedes o unidades de negocio van a entrar en el cálculo de las emisiones de la huella de carbono.

En este caso se tomó en cuenta la planta de procesamiento de minerales auríferos y su unidad de negocios. Una vez definidos estos, se establecerán los límites operacionales, siendo estos los que identifican sus emisiones, que pueden ser clasificadas como emisiones directas o indirectas y así mismo, establecer el alcance de estas.

3.3 Proponer un plan de reducción de huella de carbono para la planta de procesamiento de minerales auríferos

Se llevó a cabo un programa de monitoreo y control de emisiones que incluyendo procedimientos, etapas, e indicadores de reducción, una de las propuestas es la instalación de paneles solares aportando así su energía renovable y abasteciendo así gran parte del proceso de extracción de oro en la mina Reina de Oro. Como segunda propuesta es dar uso a las zonas que hacen parte de la planta y no están siendo ocupadas contribuyendo a la plantación activa de árboles. De esta forma establecer estrategias para la reducción de huella de carbono a partir de los datos obtenidos.

4. Resultados y discusión de resultados

4.1 Identificación de las Fuentes de Emisión de la huella de carbono

Antes de identificar estas fuentes, se deben tener claras las emisiones directas e indirectas y dentro de que alcance están estas mismas, por lo tanto, a continuación, se definen los alcances que se han tenido en cuenta para clasificar las emisiones.

4.1.1 Alcance 1 (Emisiones directas)

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

Son las que se producen por quema de combustible, ya sea en maquinaria de la planta industrial o por vehículos.

4.1.2 Alcance 2 (*Emisiones indirectas*)

Son las emisiones producidas por consumo de electricidad.

4.1.3 Alcance 3 (*Otras emisiones indirectas*)

Son emisiones ajenas al emisor en cuestión, por lo cual no son controlables.

Con las emisiones clasificadas y comprendidas, en la tabla 4.1 se exponen las diferentes fuentes de emisión de huella de carbono, consecuencia de las actividades de la planta de procesamiento reina de oro, en función de su alcance.

Tabla 1.

Fuentes de emisión de GEI.

	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3
Fuente fija	N. E	Energía eléctrica consumida	N. E
Fuente móvil	Consumible quemado por vehículo	N. E	N. E

Nota: Realizada por los autores

4.2 Estimación de la huella de carbono

En las siguientes tablas, se detalla minuciosamente la estimación del consumo diario aproximado de energía de los equipos utilizados en la planta de la mina Reina de Oro, que

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

desempeñan un papel crucial en el proceso de obtención de oro. Asimismo, se incluye el análisis del gasto energético de las luminarias empleadas en dicha instalación, contribuyendo al panorama general de la demanda eléctrica diaria. Adicionalmente, se examina el consumo de combustible necesario para el transporte encargado de trasladar el mineral extraído.

Este componente logístico es esencial para garantizar una operación fluida y eficiente en el traslado del valioso material desde la mina hasta los puntos designados. La consideración detallada de estos factores energéticos y logísticos contribuye a una comprensión integral de la gestión de recursos en la mina Reina de Oro. Para realizar la siguiente tabla, se tomó en cuenta los cálculos y valores ver anexo C y D.

Tabla 2.

Consumo eléctrico de equipos en la planta aurífera minera Reina de Oro.

Proceso	Consumo [Kwh]
Trituradora de Mandíbula	545.852454 <i>KWh</i>
Trituradora de Cono	689.0268 <i>KWh</i>
Molino de Bolas	5029.008 <i>KWh</i>
Hidrociclón	71.5872 <i>KWh</i>
Mesas de sacudidas	17.8968 <i>KWh</i>

Nota: Para comprender estos valores se recomienda ir a los anexos C y D

Tabla 3.

Consumo de combustible por parte de transportes de la empresa.

#	Tipo vehículo	Combustible	Consumo [GPD]
2	Camionetas	Gasolina Corriente	8
4	Camiones	Diesel	20

Nota: Datos suministrados en la visita técnica que se hizo en la planta.

Tabla 4.

Consumo de fuentes de luz provenientes de la minera Reina de Oro.

Fuente de luz	# Equipos	Consumo [Kwh]
Luminarias (30W c/u)	30	10.8
Equipos de cómputo (300W c/u)	8	19.2
Aire acondicionado (Daikin Sensira TXF25C/D) (2.5KW c/u)	4	100

Nota: Datos suministrados en la visita técnica que se hizo en la planta.

La estimación de la huella de carbono para la mina Reina de Oro se basa en los datos obtenidos anteriormente en las tablas 2,3 y 4 teniendo en cuenta el factor de emisión en la cantidad en kilogramos equivalentes de CO₂, que son estimados por la Agencia de Protección Ambiental EPA. Estos datos proporcionan los factores de emisión del consumo eléctrico y el consumo por combustible, ya sea Diesel o gasolina corriente, como se muestra en la siguiente tabla 5. Para llevar a cabo los cálculos se usó la fórmula mostrada en la figura 1.

Tabla 5.

Factor de emisión para consumo eléctrico y de combustibles.

Factor de Emisión	<i>Kg de CO₂/Galón</i>	<i>Kg de CO₂/KWh</i>
Combustible corriente	8.78	0
Combustible tipo Diesel	10.21	0
Electricidad	0	0.17573

Nota: Recopilación de datos según su factor de emisión y calculados por la formula mostrada en la figura 1.

4.3 Cálculo de la huella de carbono consumo de equipos

La cantidad de energía consumida, en este caso dada en KWh, se puede observar en la tabla 2 y el factor de emisión, se toma de la tabla 5.

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Trituradora Mandibula}) = 0.17573 \left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h} \right) * 545.8524 \text{ KWh}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Trituradora Mandibula})/\text{dia} = 95.9226 * 24 = 2302.1424$$

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Trituradora Cono}) = 0.17573 \left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h} \right) * 689.0268 \text{ KWh}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Trituradora Cono})/\text{dia} = 121.0826 * 24 = 2905.9824$$

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Molino de Bolas}) = 0.17573 \left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h} \right) * 5029.008 \text{ KWh}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Molino de Bolas})/\text{dia} = 883.7475 * 24 = 21209.94$$

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Hidrociclón}) = 0.17573 \left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h} \right) * 71.5872 \text{ KWh}$$

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Hidrociclón})/\text{día} = 12.58001 * 24 = 301.9204$$

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Mesas de Sacudida}) = 0.17573\left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h}\right) * 17.8968 \text{ KWh}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Mesas de Sacudida})/\text{día} = 3.1450 * 24 = 75.4801$$

4.4 Cálculo de la huella de carbono consumo combustible

La cantidad de energía consumida, en este caso dada en KWh, se puede observar en la tabla 3 y el factor de emisión, se toma de la tabla 5.

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Gasolina Corriente}) = 8.78\left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h}\right) * 8 \text{ GPD}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Gasolina Corriente})/\text{día} = 70.24$$

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Diesel}) = 10.21\left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h}\right) * 20 \text{ GPD}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Diesel}) = 201.2$$

4.5 Cálculo de la huella de carbono consumo fuentes de luz

La cantidad de energía consumida, en este caso dada en KWh, se puede observar en la tabla 4 y el factor de emisión, se toma de la tabla 5.

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Luminarias}) = 0.17573\left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h}\right) * 10.8 \text{ KWh}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Luminarias})/\text{diarios} = 1.8978 * 12 = 22.7736$$

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Equipos de Computo}) = 0.17573\left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h}\right) * 19.2 \text{ KWh}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Equipos de Cómputo})/\text{diarios} = 3.3740 * 8 = 26.9921$$

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

$$Kg \text{ Equivalentes de } CO_2(\text{Aires acondicionados}) = 0.17573 \left(\frac{Kg \text{ de } CO_2}{h} \right) * 100 \text{ KWh}$$

$$Kg \text{ de } CO_2(\text{Aires acondicionados})/\text{diarios} = 17.573 * 10 = 175.73$$

4.6 Cálculo de la huella de carbono total

Una vez realizada la sumatoria de todos los valores arrojados por los cálculos realizados para la mina Reina de Oro, se puede obtener un valor total de los Kg de CO2 equivalentes.

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos en los cálculos de los procesos de manera resumida, junto con la suma total de la huella de carbono de esta empresa minera:

Tabla 6.

Resultados obtenidos de la cantidad de CO2 en los procesos y el total.

Proceso	Equivalentes de CO2 [Kg/día]
Trituración	5208.1448
Molienda	21209.94
Hidrociclón	301.9204
Mesas de Sacudida	75.4801
Transporte	271.44
Electricidad del área administrativa	225.4957
Total	27292.421

Nota: Cálculos realizados para obtener el CO2 equivalente.

Al realizar la conversión de este resultado para hacer que las unidades sean t-eq/año, inmediatamente se halla un valor de 9961.7335 t equivalentes de CO₂/año.

La huella de carbono producida en Colombia es de aproximadamente 77.57 Mt equivalentes de CO₂/año, este dato es extraído de la página digital de DatosMacro (*Colombia - Emisiones de CO2 2021*, s. f.). Una vez con esta información accesible, se procede a estimar el porcentaje que genera huella de carbono en la minería Reina de Oro, y evaluar qué tan alto es su porcentaje con respecto a la huella de carbono producida en Colombia, desde el último reporte en el año 2021. Haciendo este porcentaje, la huella de carbón de la mina Reina de Oro, con respecto a la huella de Carbono producida por Colombia es de:

$$\frac{9964.7335 \text{ t/año}}{77.57 * 10^6 \text{ t/año}} * 100 = 1.2841 * 10^{-4} \% = 0.00012841\%$$

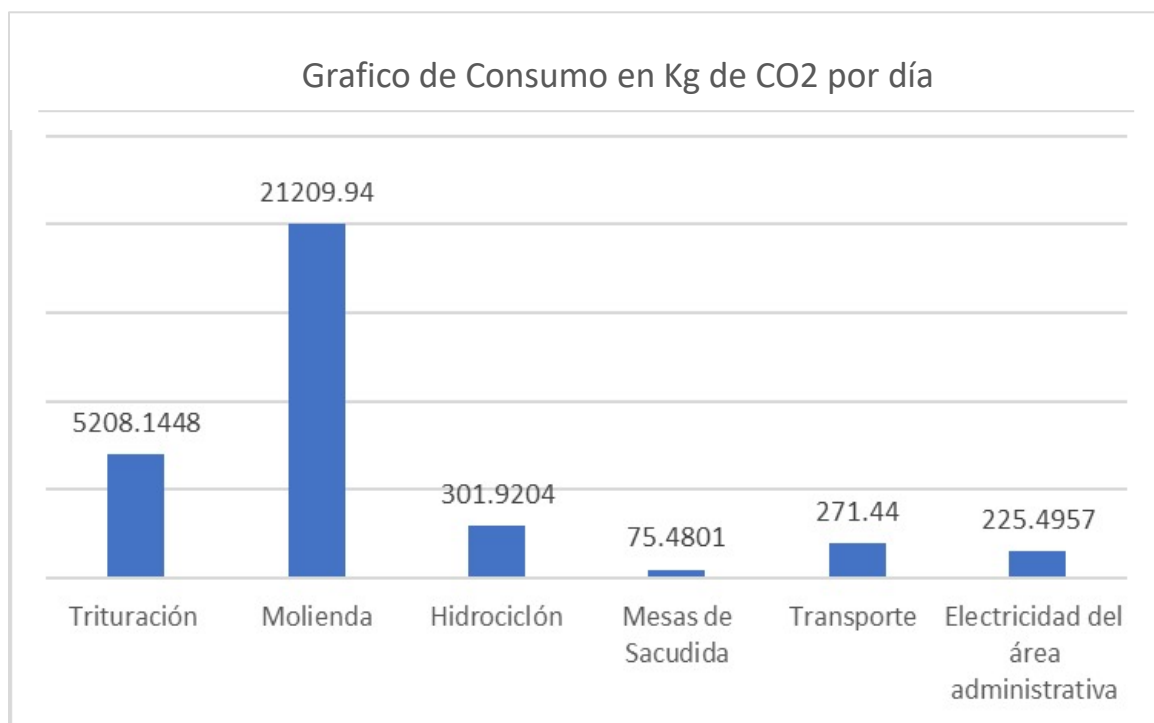
Cómo se logra observar, el valor es sumamente mínimo en comparación a la huella de carbono en Colombia en general, sin embargo, sigue generando emisión a nivel departamental, es por este motivo, que se presenta una propuesta para un plan de reducción de huella de carbono.

Con el dato de la huella de carbono total, se recomienda a la empresa que una vez entregado el presente calculo detallando sus principales emisiones, actúe de manera legal con base a la ISO 14064 para entregar y archivar su informe de emisiones una vez reportado. Esto para tener una mejor gestión en sus registros legales.

A pesar de que ya se realizó el cálculo de la huella de carbono general, tanto diario, como anual, es de gran importancia analizar y determinar cuál de todos los procesos, es el que consume la mayor parte de la energía, y esto se expone en la siguiente figura.

Figura 4.

Gráfico de barras de cantidad de emisiones de cada proceso calculado.



Nota: Gráfico realizado por los autores para dar una mejor comprensión acerca del gasto de energía de la planta y cuales son los procesos que más usan energía.

5. Propuestas plan de reducción de huella de carbono

El cambio climático es una constante amenaza para cada uno de los grupos sociales en el mundo, tener conocimiento de la huella de carbono ya sea personal u organizacional permite reconocer las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y lo más importante tener la capacidad de mitigar este indicador ambiental.

En cuanto a la mina Reina de Oro teniendo en cuenta cada uno de los estudios realizados, se plantean dos propuestas con el objetivo de que logren disminuir esta huella de carbono y posteriormente un positivo impacto ambiental:

5.1 Instalación de paneles solares

El uso de energías renovables por parte de la mina Reina de Oro se posicionaría como una de las pocas empresas en el sector minero con esta fuente de energía solar, siendo esta una de las más limpias y la ventaja de no llegar a producir los indeseables GEI. Los paneles solares no son aprobados, puesto que es una energía ilimitada, ya que en la mina Reina de Oro algunos de los equipos trabajan las 24 horas del día, además del costo tan elevado que sería la instalación de estos.

5.2 Forestación en zonas aledañas a la mina:

En vista a los cálculos realizados por los autores y la concientización de minimizar la huella de carbono en esta planta para la obtención de oro es aprobada esta propuesta pues se logra dar uso a las zonas que hacen parte de la planta y no están siendo ocupadas contribuyendo a la siembra de árboles, produciendo más oxígeno en el área y preservando fuentes hídricas, sirviendo como refugio para fauna y regenerando nutrientes al suelo.

6. Conclusiones

Entre los procesos sujetos a cálculos, el que genera más emisiones es el molino de bolas. Esto se debe a que es una máquina que requiere una gran cantidad de energía, impulsada por un motor de 281 HP, consumiendo aproximadamente 5029.008 por día. Además de su alto consumo

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

energético, este equipo opera de manera continua, trabajando las 24 horas, los 7 días de la semana. Como resultado, es el proceso con la mayor emisión, contribuyendo con el 77.7% de los kilogramos equivalentes de CO₂ emitidos diariamente.

Las industrias inicialmente realizaron un análisis de ciclo de vida para identificar emisiones, cuantificando los Kg de CO₂ para luego generar certificaciones con sus planes de mitigación.

Cuando se considera que los cálculos se realizaron estableciendo los alcances 1 (emisiones directas) y alcance 2 (emisiones indirectas), y se examinan los resultados, se puede asumir que, de los datos de emisión directa e indirecta proporcionados por la mina Reina de Oro y los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, el consumo eléctrico de los equipos y del área administrativa, es decir, las emisiones de alcance 2, son las que generan más kilogramos equivalentes de CO₂ por día en comparación con el alcance 1.

El valor de la huella de carbono con el límite organizacional y operativo establecido es de 9961.7335 t equivalentes de CO₂/año, que, en comparación a la huella de carbono total en Colombia, es muy poco, debido a que según la información tomada de DatosMacro (*Colombia - Emisiones de CO₂ 2021*, s. f.) la huella de carbono total de Colombia en el 2021, que es la información más cercana a la actual, es de 77.57 Mt equivalentes de CO₂/año, y el porcentaje de la huella de carbono de la investigación actual, en relación a la de Colombia, es de aproximadamente 0.00018%, por lo cual, es un valor bastante pequeño.

Debido a que, como se mencionó anteriormente, el proceso de molienda es el proceso que más energía consume en la mina, se debe hacer una mejora o un cambio de este equipo por uno que consuma menor cantidad de energía, para efectos de tener menores emisiones de Kg CO₂ eq.

7. Recomendaciones

Se recomienda la incorporación gradual de los conocidos rodillos de alta presión junto a los molinos, debido a que estos rodillos representan una alternativa sostenible para el proceso de molienda, ofreciendo diversos beneficios, entre los que se incluyen: la mejora en la eficiencia de los molinos de bolas y una mayor eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Delgado Seclen & Machado Yong (2021).

Se podría fomentar el ahorro de energía eléctrica por parte de los empleados con campañas ecoeficientes que les enseñen evitar consumir energía que no sea estrictamente necesaria.

Asegurarse del cumplimiento normativo ambiental, para de esta forma evitar futuros problemas legales, además de estar al pendiente de que las normas ambientales estén en orden.

Realizar evaluaciones de impacto ambiental antes de iniciar nuevas operaciones mineras o realizar expansiones significativas es una buena práctica. Esto ayuda a comprender y mitigar los posibles impactos ambientales antes de que ocurran.

La empresa aurífera proyecte su certificación a carbono neutro en el cual pueda utilizar este estudio preliminar.

Certificarse en ISO 14001 es una muy buena opción para ser una empresa de minería mas competente y, además, demostrar el compromiso de la mina con la gestión ambiental y el cuidado del medio ambiente, exponiendo además su capacidad de mejora continua en pro de su competitividad.

Referencias bibliográficas

- Álvarez Gallego, Rubio Sánchez, A., Rodríguez Olalla, A., & Avilés Palacios, C. (2021).
Conceptos básicos de la huella de carbono (Segunda edición.). AENOR - Asociación
Española de Normalización y Certificación.
- BMI Research. (2018). Colombia Mining Report Q2. 2018.
- BSI (British Standards Institute). 2008. “PAS 2050: Specification for the assessment of the life
cycle greenhouse emissions of goods and services”,
[http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-
2050](http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-2050)
- Chava, S., 2014. Environmental externalities and cost of capital. *Manag. Sci.* 60 (9), 2223–2247.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.2013.1863>.
- Colombia - Emisiones de CO2 2021. (s. f.). Datosmacro.com.
[https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-
co2/colombia#:~:text=Las%20emisiones%20de%20CO2%20en,de%20menos%20a%20
m%C3%A1s%20contaminantes](https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia#:~:text=Las%20emisiones%20de%20CO2%20en,de%20menos%20a%20m%C3%A1s%20contaminantes).
- DANE - Índice de Producción Industrial (IPI). (s. f.).
[https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/indice-de-produccion-
industrial-ipi](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/indice-de-produccion-industrial-ipi)

- Delgado Seclen, D. M., & Machado Yong, A. H. (2021). Implementación de la tecnología de rodillos de alta presión (HPGR) como chancado cuaternario para incrementar la capacidad de molienda.
- EPA (2021). eGRID, datos del factor nacional anual de emisiones de los EE. UU del año 2019. Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., Washington, D.C.
- Gaviria López, G. H. (2016). Tratamiento de aguas residuales del proceso de lixiviación de oro con cianuro a través de oxidación electroquímica (Doctoral dissertation).
- Guallasamin Constante, K., & Simón-Baile, D. (2018). Huella de carbono del cultivo de rosas en Ecuador comparando dos metodologías: GHG Protocol vs. PAS 2050/ Carbon footprint of the cultivation of roses in Ecuador comparing two methodologies: GHG Protocol vs. PAS 2050.
- Gui, Q., Fu, L., Hu, Y., Di, H., Liang, M., Wang, S., & Zhang, L. (2023). Gold extraction using alternatives to cyanide: Ultrasonic reinforcement and its leaching kinetics. *Minerals Engineering*, 191, 107939.
- Hernández-Vázquez, A., Domínguez-Sánchez, G., Valencia-Salazar, I., Mendoza-Sosa, J. A., & Román-Montano, R. A. (2021). Análisis de la huella de carbono en el gran café La Parroquia, de Veracruz, sucursal malecón. *RINDERESU*, 5(1).
- Huayaney Cordova, N. B. (2022). Estimación de la huella de carbono en base a la norma ISO 14064-1: 2018 en la planta concentradora de minerales de la corporación minera toma la mano SA, Distrito de Ticapampa, provincia de Recuay, departamento de Ancash, 2021.

International Organization for Standardization. (2018). Gases de efecto invernadero - Part 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. (ISO standard No. 14064-1). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>

International Organization for Standardization. (2019). Greenhouse gases — Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements (ISO standard No. 14064-2). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-2:ed-2:v1:en>

International Organization for Standardization. (2019). Greenhouse gases — Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements. (ISO standard No. 14064-3). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-3:ed-2:v1:en>

Letras Verdes. Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales, (24), 27–56. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.24.2018.3091>

Muñoz G.A. and Miller J.D., 2000, Noncyanide leaching of an auriferous pyrite ore from Ecuador, Minerals & Metallurgical Processing, Vol. 17, No. 3, pp. 198-204.

Ulrich, S., Trench, A., & Hagemann, S. (2022). Gold mining greenhouse gas emissions, abatement measures, and the impact of a carbon price. Journal of Cleaner Production, 340, 130851. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130851>

United Nations. (s. f.). Cambio climático | Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/global-issues/climatechange#:~:text=El%20sistema%20de%20las%20Naciones,para%20afrentar%20este%20enorme%20problema.>

Wiedmann, T., Minx, J. (2007) A definition of carbon footprint. ISAUK Research Report 07-01, Durham, ISAUK Research & Consulting.

World Gold Council. (2023). Global Mine Production. En World Gold Council. <https://www.gold.org/goldhub/data/gold-production-by-country>

Apéndices

Apéndice A.

Ubicación Mina Reina de Oro Mina Reina de Oro ubicada en Vetás, Santander



Fuente: Diego Suarez; Radio Nacional Santander.

Apéndice B.

Equipos usados en la obtención de oro mina Reina de Oro, para registro fotográfico solo los autorizados por la planta.





Fuente: Los autores

Apéndice C.

Cálculos de HP a KW

$$\text{Trituradora mandíbula} = 61 \text{ HP} \times \frac{\text{KW}}{1.341 \text{ HP}} = 45.4877 \text{ KW}$$

$$\text{Triturador cono} = 77 \text{ HP} \times \frac{\text{KW}}{1.341 \text{ HP}} = 57.4189 \text{ KW}$$

$$\text{Molino} = 281 \text{ HP} \times \frac{\text{KW}}{1.341 \text{ HP}} = 209.542 \text{ KW}$$

$$\text{Hidrociclón} = 4 \text{ HP} \times \frac{\text{KW}}{1.341 \text{ HP}} = 2.9828 \text{ KW}$$

$$\text{Mesa sacudida 1} = 0.5 \text{ HP} \times \frac{\text{KW}}{1.341 \text{ HP}} = 0.37285 \text{ KW}$$

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

$$\text{Mesa sacudida 2} = 0.5 \text{ HP} \times \frac{\text{KW}}{1.341 \text{ HP}} = 0.37285 \text{ KW}$$

Apéndice D.

Cálculos de KW a KWH, en función de los tiempos de uso de las máquinas según los datos suministrados por la empresa.

$$\text{Trituradora mandíbula} = 45.4877 \text{ KW} \times 12\text{h} = 545.8524 \text{ KWh}$$

$$\text{Triturador cono} = 57.4189 \text{ KW} \times 12\text{h} = 689.0268 \text{ KWh}$$

$$\text{Molino de bolas} = 209.542 \text{ KW} \times 24\text{h} = 5029.008 \text{ KWh}$$

$$\text{Hidrociclón} = 2.9828 \text{ KW} \times 24\text{h} = 71.5872 \text{ KWh}$$

$$\text{Mesa de sacudida 1} = 0.37285 \text{ KW} \times 24 = 8.9484 \text{ KWh}$$

$$\text{Mesa de sacudida 2} = 0.37285 \text{ KW} \times 24 = 8.9484 \text{ KWh}$$

Apéndice E.

Porcentajes de los Kg de CO2 equivalentes por día de los procesos.

Proceso	Equivalentes de CO2 [kg/día]	Porcentaje
Trituración	5208.1448	19,08275122
Molienda	21209,94	77,71366271
Hidrociclón	301.9204	1,106242645
Mesas de Sacudida	75.4801	0,276560661
Transporte	271.44	0,994561824

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE HUELLA DE CARBONO

Electricidad del área administrativa	225.4957	0,82622095
Total	27292.421	100