Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Escuela de Posgrado

Modelo de gestión ambiental e impactos ambientales en la actividad minera de concesiones mineras en Supe – Ámbar, 2025

Tesis

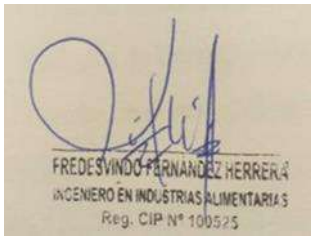
Para optar el Grado Académico de Doctora en Ciencias Ambientales

Autora

Yanela Laura Olortegui Morales

Asesor

Dr. Fredesvindo Fernández Herrera



Huacho – Perú
2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas – Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

ESCUELA DE POSGRADO

Doctorado en Ciencias Ambientales

INFORMACIÓN DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**FECHA DE SUSTENTACIÓN**
Olortegui Morales Yanela Laura	76282519	01-10-2026
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Fernández Herrera Fredesvindo	40588728	https://orcid.org/0000-0003-2973-7973
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS DEL DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Campos Julca Ángel Pedro	15733670	https://orcid.org/0000-0002-1418-6104
Tirado Malaver Roberto Hugo	44565193	https://orcid.org/0000-0002-4615-5310
Vásquez Medina Pedro James	16562688	https://orcid.org/0000-0001-6241-5525
Romero Menacho Jaime Ulices	32930138	https://orcid.org/0000-0003-0876-7727

YANELA LAURA OLORTEGUI MORALES (2026-03014...

MODELO DE GESTIÓN AMBIENTAL E IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ACTIVIDAD MINERA DE CONCESIONES...

DGI-POSGRADO 2026
Dirección de Gestión de la Investigación-VRI 2026
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3544267739

Fecha de entrega
20 abr 2026, 9:15 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
20 abr 2026, 9:19 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME_FINAL_-_YANELA_LAURA_OLORTEGUI_MORALES_-_V1_-F.pdf

Tamaño del archivo
5.7 MB

108 páginas
20.574 palabras
121.109 caracteres

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Exclusiones

- N.° de fuente excluida
- N.° de coincidencias excluidas

Fuentes principales

17% Fuentes de Internet
15% Publicaciones
9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, pilar incondicional de mi vida, cuya paciencia y apoyo emocional fueron el combustible necesario para transitar los desafíos de este camino académico; a mis padres, por sembrar en mí la semilla de la curiosidad y el valor del esfuerzo; y a mis mentores, por su guía experta y por desafiar mis límites intelectuales. Este logro es, en esencia, el fruto de su confianza y de todos los sacrificios compartidos que hoy se ven transformados en este peldaño hacia la excelencia.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profunda gratitud a la Universidad y a mi asesor por brindarme las herramientas y la guía intelectual necesarias para culminar este proceso de investigación; a mi familia, por ser el cimiento de mi formación y por su fe inquebrantable en mis capacidades incluso en los momentos de mayor incertidumbre; a mi pareja, cuya compañía, paciencia y amor fueron el refugio constante que me permitió mantener el equilibrio y de manera especial a mi hija peluda “Jung Yi” con su amor de cuatro patas me acompaño en mis días más oscuros dándole esa luz de alegría . A mi mejor amiga Meli que, con una palabra de aliento o un gesto de apoyo, contribuyeron a que este sueño doctoral se convirtiera hoy en una realidad compartido

ÍNDICE

DEDICATORIA iv

AGRADECIMIENTO vi

RESUMEN xi

ABSTRACT.....xii

INTRODUCCION 1

CAPÍTULO I 3

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1 Descripción de la realidad problemática 3

1.2 Formulación del Problema 5

1.2.1 Problema general 5

1.2.2 Problemas Específicos 5

1.3 Objetivo de la investigación 5

1.3.1 Objetivo general 5

1.4 Justificación de la investigación.....6

1.5 Delimitaciones del estudio 7

1.6 Viabilidad del estudio.....7

CAPÍTULO II 9

MARCO TEÓRICO.....9

2.1 Antecedentes de la Investigación 9

2.1.1 Investigaciones Internacionales 9

2.1.2 Investigaciones nacionales 9

2.2 Bases teóricas 12

2.3 Definición de términos básicos 37

2.4 Formulación de Hipótesis.....38

2.4.1 Hipótesis General: 38

2.4.2 Hipótesis Específicas:.....38
2.5 Operacionalización de variable.....39
CAPÍTULO III.....42
METODOLOGÍA.....42
3.1Diseño metodológico.....42
3.2Población y muestra.....42
3.2.1Población.....42
3.2.2Muestra.....43
3.3Técnicas de recolección de datos.....43
CAPITULO IV.....56
RESULTADOS.....56
4.1Análisis de resultados.....56
CAPITULO V.....80
DISCUSIÓN.....80
5.1 Discusión de resultados.....80
CAPITULO VI.....82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....82
6.1Conclusiones.....82
6.2 Recomendaciones.....83
Vll. REFERENCIAS.....84
7.1 Fuentes bibliográficas.....84
ANEXOS.....89

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Comparativo: Herramientas de gestión.....25

Tabla 2 Comparativo: Impactos en agua y suelo por actividad minera.....29

Tabla 3 Calidad del aire y ruido en la actividad minera 32

Tabla 4 Cuadro sinóptico: Impactos de la minería en flora y fauna 34

Tabla 5 Cuadro de operacionalización de variables.....40

Tabla 6 Indicador de condición ambiental (ICA) aire 48

Tabla 7 Indicador de condición ambiental (ICA)- suelo.....50

Tabla 8 Indicador de condición ambiental (ICA)- Ruido 52

Tabla 9 Matriz de consistencia.....54

Tabla 10 Comparación calidad de aire y emisiones.....56

Tabla 11 Indicador de PM10.....58

Tabla 12 Indicador de Condición Ambiental (ICA): Emisiones atmosféricas 60

Tabla 13 Indicador (ICA): Metales pesados en PM10.....62

Tabla 14 Comportamiento calidad suelo 2023-2024 (antes) 64

Tabla 15 Calidad suelo 2025.....66

Tabla 16 Indicador (ICA) Metales pesados : Arsénico(As).....68

Tabla 17 Indicador (ICA) Metales pesados : Bario(Ba) 69

Tabla 18 Indicador (ICA) Metales pesados : Cadmio(Cd) 70

Tabla 19 Indicador (ICA) Metales pesados : Cromo(Cr) 71

Tabla 20 Indicador (ICA) Metales pesados : Mercurio (Hg).....72

Tabla 21 Indicador (ICA) Metales pesados : Plomo(Pb).....73

Tabla 22 Comparativo ruido diurno 2023-2025 74

Tabla 23 Comparativo ruido nocturno 2023-2025.....76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de recursos e inversión ambiental en la minería 21

Figura 2 Modelo de Gestión Ambiental 44

Figura 3 Comparación calidad de aire y emisiones: 2023-2025.....57

Figura 4 Indicador Material Particulado (PM10) 59

Figura 5 Indicador Contaminantes atmosféricos 61

Figura 6 Indicador Metales pesados en PM10:2023-2024 63

Figura 7 Calidad del suelo-2023-2024.....65

Figura 8 Calidad del suelo-2025.....67

Figura 9 Indicador (ICA) Metales pesados : Arsénico(As) 68

Figura 10 Indicador (ICA) Metales pesados Bario(Ba).....69

Figura11 Indicador (ICA) Metales pesados : Cadmio(Cd.....70

Figura 12 Indicador (ICA) Metales pesados : Cromo total (Cr).....71

Figura 13 Indicador (ICA) Metales pesados : Mercurio (Hg) 73

Figura 14 Indicador (ICA) Metales pesados : Plomo(Pb) 74

Figura 15 Comparativo Ruido diurno 2023-2025.....75

Figura 16 Comparación Ruido nocturno 2023-2025 77

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el modelo de gestión ambiental implementado en las concesiones mineras Caracolito I (2005) y Caracolito II (2006), ubicadas en Supe/Ámbar, y su influencia en el control de los impactos ambientales generados por la actividad minera en el 2023. El proyecto de diseño no experimental y transversal, enfocándose en el análisis de calidad del aire, calidad del suelo y ruido ambiental. Para ello, se realizaron mediciones de contaminantes atmosféricos, incluyendo material particulado (PM_{10}), gases contaminantes y metales asociados, a los metales pesados en el suelo y el monitoreo de ruido ambiental en las zonas aledañas. Los resultados evidenciaron que las concentraciones de contaminantes en el aire y los niveles de metales pesados en el suelo se mantuvieron por debajo de los límites establecidos por la normativa ambiental, mientras que los niveles de ruido mostraron una reducción progresiva, aproximándose a los estándares permitidos. Se concluye que el modelo de gestión ambiental aplicado ha sido eficaz en la mitigación de los impactos ambientales, contribuyendo a la mejora de la calidad ambiental en el área de estudio.

Palabras clave: calidad del aire, calidad del suelo, ruido ambiental

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the environmental management model implemented in the Caracolito I (2005) and Caracolito II (2006) mining concessions, located in Supe/Ámbar, and its influence on controlling the environmental impacts generated by mining activities during 2023. The research was developed under a non-experimental and cross-sectional design, focusing on the analysis of air quality, soil quality, and environmental noise. For this purpose, measurements of atmospheric pollutants, including particulate matter (PM_{10}), harmful gases, and associated metals, as well as the analysis of heavy metals in the soil and monitoring of noise levels in nearby areas, were conducted. The results showed that the concentrations of pollutants in the air and heavy metals in the soil remained below the limits established by environmental regulations, while noise levels showed a progressive reduction, approaching the permitted standards. It is concluded that the applied environmental management model has been effective in mitigating environmental impacts, contributing to the improvement of environmental quality in the study area.

Keywords: air quality, soil quality, environmental noise

INTRODUCCION

La actividad minera, en especial en zonas como las concesiones mineras Caracolito I (2005) y Caracolito II (2006), ubicadas en Supe/Ámbar, ha sido históricamente una fuente de desarrollo económico, pero también ha generado una serie de impactos ambientales significativos. Estos impactos incluyen la degradación de la calidad del aire, la contaminación del suelo y el aumento de los niveles de ruido, los cuales afectan no solo el entorno natural, sino también la salud de las personas y la biodiversidad de la zona. En este contexto, la implementación de modelos de gestión ambiental se ha convertido en una herramienta crucial para mitigar estos efectos adversos y promover prácticas más sostenibles en la industria minera.

El presente estudio se centra en evaluar el modelo de gestión ambiental implementado en las concesiones mineras Caracolito I y II durante el año 2023, con el objetivo de determinar su efectividad en el control de los impactos ambientales generados por las actividades mineras. Se analizaron tres áreas clave: calidad del aire, calidad del suelo y ruido ambiental. Estos elementos son fundamentales para la salud pública y el bienestar ambiental, ya que las emisiones de gases contaminantes y material particulado afectan directamente la respiración y el ecosistema, mientras que el ruido puede causar alteraciones en las comunidades cercanas, tanto humanas como animales.

Para evaluar estos parámetros, se realizaron mediciones periódicas de material particulado (PM_{10}), gases contaminantes (como NO_2, CO, SO_2 y metales pesados en PM10, así como de metales pesados en el suelo. Adicionalmente, se monitorizó el ruido ambiental en las áreas cercanas a las concesiones mineras. Estas mediciones permiten obtener una visión clara de los efectos de las actividades mineras en la calidad del aire, del suelo y en los niveles de

ruido, y servirán para determinar si las acciones tomadas por la empresa están alineadas con los límites establecidos por las normativas ambientales.

El modelo de gestión ambiental en cuestión ha sido diseñado para minimizar el impacto de la minería en estos aspectos críticos, contribuyendo a mejorar la calidad ambiental y garantizar que las actividades mineras se realicen de manera responsable y sostenible. Este estudio se propone no solo evaluar la efectividad del modelo en la reducción de los impactos negativos, sino también proporcionar recomendaciones para su optimización y aplicación en otras áreas mineras.

Con la creciente preocupación por el impacto ambiental de la minería y la necesidad de encontrar soluciones más ecológicas, este trabajo busca aportar datos y análisis que puedan servir como base para el mejoramiento continuo de las prácticas ambientales en la minería, promoviendo la protección del medio ambiente.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La minería es una de las actividades económicas más relevantes a nivel mundial, pues abastece de minerales esenciales para el desarrollo industrial, tecnológico y energético. No obstante, también es considerada una de las actividades con mayor generación de impactos ambientales. Según informes de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la minería contribuye significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero, la degradación de ecosistemas, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad.

A nivel mundial, es la deficiente implementación de sistemas de gestión ambiental integrales dentro del sector minero. Si bien en las últimas décadas se han desarrollado marcos normativos y estándares internacionales orientados a promover la sostenibilidad como el ISO 14001, el Global Reporting Initiative (GRI) o los principios de la OCDE, persisten brechas significativas en materia de fiscalización, transparencia y aplicación práctica de estos modelos.

En América Latina concentra alrededor del 25% de la producción mundial de minerales metálicos (Banco Mundial, 2023), lo que la convierte en un epicentro de la actividad minera. Sin embargo, el crecimiento minero ha estado acompañado de conflictos socioambientales debido a la afectación de recursos hídricos, deforestación, pasivos ambientales y escasa participación comunitaria en la toma de decisiones. Casos emblemáticos en países como Chile, Brasil, México y Perú evidencian que, aunque existen normativas ambientales, la implementación de modelos de gestión ambiental aún es insuficiente y la supervisión estatal suele ser limitada.

En el Perú, representa el 10% del PBI y más del 60% de las exportaciones. (Ministerio de Energía y Minas, 2024). El país también lidera el número de conflictos socioambientales activos en la región, de acuerdo con la Defensoría del Pueblo. Entre los principales problemas se encuentran: Deficiencias en el cumplimiento de la normativa ambiental, Insuficiente manejo de residuos sólidos y líquidos mineros y escasa aplicación de modelos de gestión ambiental preventivos, predominando un enfoque correctivo más que de mejora continua.

En el distrito de Supe–Ámbar (provincia de Huaura, departamento de Lima), la actividad minera en operación ha generado creciente preocupación debido a los impactos ambientales que afectan directamente a las fuentes hídricas, los suelos agrícolas y la calidad de vida de los pueblos aledaños. Esta situación se ve agravada por la limitada articulación entre las empresas mineras y la población local, lo que evidencia una débil gestión socioambiental. Asimismo, la ausencia de un sistema integral de control ocasiona que las acciones implementadas sean principalmente reactivas y correctivas, en lugar de priorizar un enfoque preventivo, planificado y orientado a la mejora continua. En consecuencia, se hace necesario replantear las estrategias de gestión ambiental en la zona, de modo que se fortalezcan los mecanismos de prevención, participación ciudadana y sostenibilidad a largo plazo.

Esta situación refleja la problemática nacional y regional, evidenciando la necesidad de evaluar el cumplimiento ambiental en las concesiones mineras de Supe – Ámbar se proponer un modelo de gestión adaptado a la realidad local que reduzca los riesgos ambientales, la protección de los recursos naturales y el fortalecimiento de las relaciones entre empresa y la comunidad.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora los impactos ambientales generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025?

1.2.2 Problemas Específicos

¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora la calidad del suelo generada por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025?

¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora la calidad del aire y emisiones generada por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025?

¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora la calidad de ruido generada por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025?

1.3 Objetivo de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora los impactos ambientales generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora la calidad del aire y emisiones generada por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.
2. Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora la calidad del suelo generada por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.
3. Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora la calidad de ruido generada por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.

1.4 Justificación de la investigación

La actividad minera constituye una de las principales fuentes de desarrollo económico en el Perú; sin embargo, también es una de las actividades con mayor generación de impactos ambientales negativos, especialmente en lo referente a la contaminación del aire, suelos y ruido ambiental. En este contexto, la implementación de un modelo de gestión ambiental en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006, ubicadas en el distrito de Supe/Ámbar, resulta de vital importancia para evaluar su eficacia en la reducción de dichos impactos.

- **Justificación académica**, porque aporta evidencia científica de la gestión ambiental y el control de impactos en la actividad minera, enriqueciendo la literatura y sirviendo como referencia para futuras investigaciones.
- **Justificación social y ambiental**, porque busca que la minera se desarrolle en armonía con el medio ambiente, protegiendo la salud de la población local y preservando los ecosistemas.

- **Justificación práctica y de gestión**, porque permite generar información útil para las autoridades ambientales, empresas mineras y comunidades, con miras a implementar estrategias de mitigación más efectivas y sostenibles.

En consecuencia, el estudio permitirá conocer si el modelo de gestión ambiental implementado es realmente una herramienta eficaz para reducir los impactos ambientales en las concesiones mineras analizadas.

1.5 Delimitaciones del estudio

A. Delimitación espacial

El proyecto se desarrollará en las concesiones mineras Caracolito I (2005) y Caracolito II (2006), ubicadas en el distrito de Supe/Ámbar, provincia de Huaura, región Lima – Perú.

B. Delimitación temporal

La investigación abarcará el período correspondiente al año 2025, considerando datos actuales y proyecciones en función de la implementación del modelo de gestión ambiental.

C. Delimitación temática

El estudio se centrará en analizar la influencia del modelo de gestión ambiental sobre tres componentes principales:

1. Calidad del suelo
2. Calidad del aire y emisiones.
3. Ruido ambiental.

1.6 Viabilidad del estudio

El estudio es viable en los siguientes aspectos:

- **Técnico**: Se cuenta con la metodología de evaluación ambiental, normativa vigente y criterios técnicos necesarios para medir los impactos ambientales en minería.

- **Económico**: Los costos asociados a la investigación son accesibles y podrán ser cubiertos con los recursos disponibles, incluyendo acceso a informes ambientales, registros de monitoreo y bases de datos públicas.
- **Logístico**: El estudio es accesible y permite recabar información mediante visitas, entrevistas y análisis de documentos.
- **Académico**: Se dispone de antecedentes, bibliografía especializada y marco normativo que respalda el desarrollo de la investigación.

En suma, el trabajo es factible y relevante, ya que permitirá proponer lineamientos de mejora ambiental de las concesiones mineras Caracolito I y II.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Investigaciones Internacionales

Gallardo-Martínez et al. (2019) propusieron un modelo de gestión ambiental integral con enfoque ecosistémico para la industria minero-metalúrgica en Santa Lucía, Pinar del Río. El estudio aplicó la evaluación de impacto ambiental estratégica, identificando 37 impactos sobre ecosistemas montañosos, de agua dulce y manglar. A partir de ello, plantearon medidas de mitigación, control y seguimiento, además de diseñar un índice general de impactos negativos e incorporar nuevos indicadores para mejorar la toma de decisiones y la gestión ambiental.

Shi et al. (2020) abordaron la gestión ambiental ecológica en zonas mineras de carbón en China mediante la aplicación de un modelo de dinámica de sistemas (SD). Para ello, construyeron un diagrama de bucle causal que representó la estructura general del sistema, del cual se derivaron cinco subsistemas principales. El estudio evaluó diferentes escenarios de asignación de recursos a partir de una inversión constante en gestión ambiental ecológica, con el objetivo de optimizar la calidad del entorno en áreas mineras. Se analizaron seis alternativas de distribución de inversión, y los resultados mostraron que la asignación 4 —destinada principalmente al incremento de la vegetación verde— permitió obtener la mejor mejora en la calidad ambiental de las zonas mineras de carbón.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Otazú (2019) desarrolló un estudio orientado a reducir el incumplimiento de los planes ambientales, destacando el uso de los reportes de sostenibilidad como herramienta clave de transparencia y responsabilidad social. El estudio, aplicado a las empresas Volcan, Minsur y

Cerro Verde, analizó los actos administrativos y observaciones del OEFA, evidenciando una disminución significativa de los incumplimientos ambientales tras la adopción de reportes bajo la metodología del Global Reporting Initiative (GRI). Los resultados concluyen que esta metodología contribuye de manera efectiva a mejorar el desempeño ambiental del sector minero.

García & Rodríguez (2023) El estudio se realizó en Morococha (Oroya, Junín), evaluó la calidad del aire. Se utilizó el método científico, de tipo aplicado y descriptivo-comparativo, con un diseño no experimental y transversal. Realizando mediciones trimestrales de diciembre de 2017 a septiembre de 2018, con cuatro monitoreos de calidad del aire. Los datos meteorológicos mostraron temperaturas promedio de 5.8°C, humedad relativa del 62.3% y una velocidad de viento de 1.3 m/s. En cuanto a la calidad del aire, los resultados fueron: 94.6 μg/m3 de PM2.5, 120.5 μg/m3 de PM10, 0.01 μg/m3 de arsénico, 0.21 μg/m3 de plomo, 93.76 μg/m3 de CO, 4.17 μg/m3 de NO2, 13.80 μg/m3 de SO2, 0.0020 μg/m3 de H2S, 12.50 μg/m3 de ozono, y 0.00 μg/m3 de hidrocarburos totales. Se concluye el estudio es que las concentraciones de material particulado (PM2.5 y PM10), que provienen principalmente de las actividades mineras, son los contaminantes más significativos, mientras que los niveles de gases se encuentran por debajo de los límites establecidos por el ECA, lo que indica que son aceptables para la salud pública.

Durand (2024), Aplico las Herramientas de Gestión Ambiental aplicadas en el planeamiento del desempeño ambiental. Los resultados evidenciaron que los proyectos que incorporaron un mayor número de herramientas preventivas lograron mejores indicadores ambientales, con menos incidentes, sanciones y sobrecostos. Asimismo, se destacó que la implementación temprana de estas herramientas, impulsada por mayores exigencias normativas y sociales, contribuye a mejorar la sostenibilidad en la fase operativa.

Del Río (2019) diseñó un SGA acuerdo a la ISO 14001, para la empresa Agroindustrias Supe S.A.C., y mejorar el control de impactos ambientales, asegurar el cumplimiento legal y promover la mejora continua. La implementación incluyó un diagnóstico inicial, la identificación de aspectos ambientales significativos y la ejecución de un plan de adecuación, cuyos resultados evidenciaron una mejora del desempeño ambiental reflejada en indicadores de gestión y cumplimiento normativo.

Mamani (2022) desarrolló la implementación de un SGA, minera Baltimori, ubicada en Puno, con base en la norma ISO 14001 y el marco legal ambiental peruano. El estudio, de carácter descriptivo y cualitativo, inició con un diagnóstico situacional y un análisis GAP, identificándose 153 aspectos ambientales, de los cuales 63 fueron significativos. Los resultados mostraron que la empresa presentaba un nivel de cumplimiento por debajo del promedio respecto a los lineamientos de la norma, por lo que se diseñó e implementó un plan de gestión orientado a mitigar impactos, asegurar el cumplimiento normativo y promover la mejora continua. Finalmente, se validó el sistema de gestión ambiental en sus procesos operativos.

Castillo (2025) realizó un diagnóstico sobre la cultura ambiental y el manejo de residuos sólidos en la Municipalidad de Juliaca. El estudio, incluyó una muestra de 291 trabajadores. Los resultados revelaron que la mayoría presenta un nivel medio de cultura ambiental (84,9%) y manejo de residuos en nivel regular (74,9%). Mediante la prueba de Spearman se identificó ($r = 0.881$; $p < 0.05$), lo que confirma una relación significativa entre ambas variables, concluyendo que la cultura ambiental incide directamente en la eficacia de la gestión de residuos sólidos.

Curi Prado (2019) analizó la relación entre la auditoría ambiental y la gestión en empresas mineras de Junín y Cajamarca durante 2016–2017. La investigación, de tipo descriptiva y aplicada, utilizó encuestas y análisis estadístico para evaluar la influencia de la auditoría en el cumplimiento normativo y en la protección ambiental. Los resultados

demostraron que la auditoría ambiental incide de manera positiva en la gestión minera, al permitir identificar errores y aplicar medidas correctivas y preventivas que fortalecen la sostenibilidad de las operaciones.

Paredes et al. (2025) evaluaron la gestión ambiental y el desempeño financiero en empresa mineras entre 2017 y 2022, utilizando indicadores ESG y financieros como ROA, ROE y margen EBITDA. El estudio, de enfoque cuantitativo y diseño relacional, analizó datos de cuatro empresas mineras a través de correlaciones de Pearson. Los resultados mostraron diferencias notables: Southern y Minsur evidenciaron una correlación positiva entre sostenibilidad y resultados financieros, mientras que Volcán y Buenaventura no reflejaron esa relación. Se concluye que las estrategias ambientales depende de su institucionalización e integración en el modelo de negocio, destacando que la sostenibilidad debe ser un eje central y no una práctica aislada.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Gestión ambiental en minería

Conjunto de procedimientos y herramientas ambientales para minimizar y controlar los impactos negativo al medio ambiente. De acuerdo con ISO 14001 (2015), constituye un sistema estructurado de planificación, implementación, verificación y mejora continua que permite a las organizaciones alcanzar un desempeño ambiental sostenible. En el ámbito minero, su aplicación es fundamental por la magnitud e intensidad de los impactos asociados a la extracción de recursos naturales.

Modelo de gestión ambiental en minería

Un modelo de gestión ambiental en minería se configura como un marco integral que articula la normativa vigente, las políticas empresariales, los estándares internacionales y la participación de los actores sociales. Incluye elementos como:

- Identificación y evaluación de impactos ambientales.
- Cumplimiento legal y normativo.
- Planes ambientales (agua, aire, suelo, residuos).
- Monitoreo, auditorías y control.
- Participación ciudadana y mecanismos de transparencia.
- Innovación tecnológica para reducción de impactos.

2.2.2 Normativa ambiental aplicable en la gestión ambiental minera

A. Normatividad internacional

La gestión ambiental minera a nivel internacional se encuentra influenciada por acuerdos multilaterales, lineamientos de organismos internacionales y normas técnicas: Norma ISO 14001. Su implementación en la minería contribuye a la reducción sistemática de riesgos ambientales y mejora la percepción social de las operaciones.

La ISO 26000:2010 sobre Responsabilidad Social establece directrices para integrar aspectos ambientales y sociales en la gobernanza corporativa.

Las Directrices de la International Finance Corporation (IFC, 2012) y el Banco Mundial (2017) plantean estándares de desempeño ambiental y social que las empresas deben cumplir para acceder a financiamiento, lo cual ha impulsado una mejora en países de América Latina. Hilson & Murck (2020) destacan que la minería global tiende a adoptar modelos híbridos de gestión ambiental, que combinan regulación estatal con compromisos voluntarios empresariales en materia de sostenibilidad.

B. Normatividad latinoamericana

En América Latina, los marcos regulatorios han evolucionado hacia modelos más estrictos de evaluación y control ambiental:

- En Chile, la creación de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) ha permitido un sistema más robusto de fiscalización y sanción en proyectos extractivos (Arriagada, 2019).
- En Colombia, el Código de Minas y la Ley 99/1993 establecen un marco que vincula la explotación minera con la licencia ambiental obligatoria, con énfasis en la participación ciudadana (Pérez & Rojas, 2021).

C. Normatividad nacional (Perú)

En el Perú, el marco normativo ambiental minero está regulado principalmente por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y el MINAM, bajo el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA):

- La Ley N.° 28611 (Ley General del Ambiente) establece principios de prevención, responsabilidad ambiental, participación ciudadana y desarrollo sostenible.
- D.S. N.° 016-93-EM – Reglamento de Protección Ambiental en la Actividad Minero-Metalúrgica Regula las emisiones, efluentes y residuos sólidos generados en minería y metalurgia.
- D.S. N.° 046-2001-EM – Reglamento para la Protección Ambiental en la Exploración Minera Establece requisitos ambientales para proyectos de exploración (antes de la explotación).
- D.S. N.° 028-2008-EM – Reglamento de Pasivos Ambientales Mineros (PAM) Regula la identificación, registro y remediación de pasivos ambientales mineros.
- Ley N.° 29325 – Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA) Crea el sistema nacional de fiscalización y designa al OEFA como ente rector.
- Ley N.° 28271 – Ley de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera Define obligaciones de titulares y del Estado frente a pasivos ambientales.

- D.S. N.° 015-2012-MINAM –ECA para Agua, Regula los límites de calidad en cuerpos de agua superficiales afectados por minería.
- D.S. N.° 085-2003-PCM – ECA para para Aire Control de la contaminación atmosférica en zonas cercanas a operaciones mineras.
- D.S. N.° 011-2017-MINAM – Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes de Actividades Minero-Metalúrgicas Define los valores máximos de metales, cianuro y otros contaminantes en descargas líquidas.
- D.S. N.° 010-2010-MINAM – Reglamento sobre Participación Ciudadana en Asuntos Ambientales Regula la consulta y participación ciudadana en el marco de proyectos mineros.

De este modo, la normatividad ambiental aplicable al sector minero constituye el pilar legal y técnico sobre el que debe estructurarse el modelo de gestión ambiental para concesiones mineras, adaptándolo a la realidad de zonas específicas como Supe–Ámbar**.**

2.2.3 Recursos e Inversión Ambiental en la Minería

A. Recursos humanos

La aplicación en las concesiones mineras exige disponer de recursos humanos altamente especializados, capaces de abordar la complejidad de los impactos ambientales que genera la extracción. Para ello, se requiere personal técnico y profesional en ingeniería ambiental, ingeniería de seguridad industrial, hidrogeología, biología, derecho ambiental y gestión social, lo cual asegura una visión integral en la toma de decisiones.

Dentro de las unidades mineras se conforman comités ambientales y de seguridad encargados de ejecutar y supervisar planes de monitoreo de aire, agua, suelo y biodiversidad, así como de implementar programas de mitigación y remediación de impactos. Estos comités

cumplen además un rol clave en la empresa, la comunidad y autoridades ambientales, favoreciendo la transparencia y la confianza (Paredes & Salazar, 2021).

Un componente esencial es la capacitación continua del personal, que debe estar alineada con estándares internacionales como la ISO 14001 en sistemas de gestión ambiental, además de protocolos de buenas prácticas ambientales, economía circular, seguridad ocupacional y responsabilidad social empresarial. Dichos procesos de formación fortalecen la prevención de riesgos y permiten a las empresas responder oportunamente a contingencias ambientales.

Asimismo, la actualización permanente en materia normativa resulta indispensable, ya que el marco regulatorio ambiental en el Perú y a nivel internacional se encuentra en constante evolución. La incorporación de competencias en evaluación de impacto ambiental (EIA), auditorías ambientales, gestión de residuos sólidos, uso eficiente del agua y energía, contribuye a consolidar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad.

En este sentido, los recursos humanos no solo representan un soporte operativo, sino también un capital estratégico de los modelos ambientales en la minería, ya que su desempeño determina en gran medida la reducción de riesgos ambientales y sociales, así como la mejora de la reputación empresarial.

B. Recursos tecnológicos

La implementación efectiva del modelo ambiental en minería depende de la disponibilidad y adecuada utilización de recursos tecnológicos que permitan prevenir, controlar y remediar los impactos generados.

En el ámbito de la calidad del aire, se emplean estaciones automáticas de monitoreo para medir en tiempo real partículas en suspensión (PM10 y PM2.5), gases contaminantes como dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO). Para

el agua, se utilizan sensores de caudal, equipos multiparámetro y sistemas de teledetección que permiten identificar cambios en la calidad hídrica y posibles filtraciones de relaves o efluentes. En cuanto al suelo, tecnologías de análisis geoquímico y de espectroscopía aportan datos precisos sobre la presencia de metales pesados y otros contaminantes.

La minería moderna también ha incorporado sistemas de información geográfica (SIG) y tecnologías de percepción remota (imágenes satelitales y drones) que facilitan la supervisión de áreas extensas, identificando cambios en la cobertura vegetal y en la morfología del terreno. Estas herramientas son esenciales para evaluar impactos sobre la biodiversidad y para la planificación de medidas de restauración.

El uso de tecnologías limpias en los procesos extractivos y de beneficio de minerales (como sistemas de recirculación de agua, filtros de mangas para emisiones y encapsulado de relaves) también constituye un componente fundamental de la gestión ambiental minera, reduciendo la huella ecológica de las operaciones.

En conjunto, los recursos tecnológicos no solo facilitan la vigilancia y el control ambiental, sino que también refuerzan la transparencia a las comunidades y autoridades, generando confianza y sostenibilidad en el tiempo.2.3. Inversión económica.

C. Inversión económica

La inversión económica en gestión ambiental minera constituye un componente esencial para garantizar la sostenibilidad de la actividad extractiva. En el Perú, las empresas mineras destinan aproximadamente entre el 3% y el 8% de su presupuesto operativo a actividades ambientales, lo que refleja un compromiso creciente frente a las exigencias regulatorias y a la presión de la sociedad civil (INEI, 2023).

la inversión ambiental en el sector ha mostrado un incremento sostenido en la última década MINAN (2024), motivado por la necesidad de cumplir con normas como la Ley SEIA

y los compromisos derivados de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Asimismo, los estándares internacionales, como la ISO 14001 y los lineamientos del International Council on Mining and Metals (ICMM), han impulsado a las compañías a priorizar mayores recursos en prevención, control y remediación.

Los principales rubros de gasto incluyen:

- Elaboración y aprobación de EIA y otros instrumentos de gestión ambiental.
- Programas de monitoreo ambiental de aire, agua, suelo, biodiversidad y ruido.
- Medidas de compensación ambiental y social, tales como reforestación, restauración de ecosistemas y apoyo a comunidades.
- Gestión de pasivos ambientales, que implica la rehabilitación de áreas degradadas por operaciones pasadas.
- Cierre de minas y post-cierre, un proceso que puede representar hasta el 20% de la inversión ambiental total de un proyecto, garantizando la estabilidad física y química de los terrenos intervenidos.

Además, las empresas han comenzado a destinar fondos para la incorporación de tecnologías limpias (energías renovables en operaciones, sistemas de recirculación de agua, control de emisiones) y mecanismos financieros innovadores como bonos verdes y fondos de inversión sostenible. Estas inversiones no solo responden a obligaciones legales, sino que también generan ventajas competitivas, al mejorar la reputación corporativa y atraer capital de inversionistas internacionales comprometidos con los criterios ESG (Environmental, Social and Governance).

En este contexto, la inversión ambiental minera en el Perú no debe entenderse como un gasto adicional, sino como una estrategia de gestión del riesgo que reduce pasivos futuros, previene conflictos socioambientales y asegura la continuidad operativa bajo principios de sostenibilidad.

D. Inversión social y comunitaria

La inversión social y comunitaria constituye un pilar clave dentro de la gestión ambiental minera, pues permite vincular la protección del entorno natural con el bienestar de las poblaciones cercanas. Una parte significativa de los recursos ambientales se canaliza hacia programas de responsabilidad social empresarial (RSE) orientados a garantizar servicios básicos como agua potable, saneamiento, electrificación rural, así como proyectos de reforestación, educación ambiental y fortalecimiento de capacidades productivas locales.

Estos programas buscan no solo mitigar los impactos ambientales y sociales de la minería, sino también generar valor compartido, en el cual la actividad extractiva aporta al desarrollo local al mismo tiempo que asegura su sostenibilidad operativa. Según Bebbington et al. (2018), la ausencia de inversión social estructurada puede agudizar la conflictividad socioambiental, mientras que la implementación de proyectos de desarrollo comunitario mejora la percepción y aceptación de la minería por parte de las comunidades.

Entre los ejes más comunes de inversión social destacan:

- Infraestructura social: acceso a agua segura, sistemas de riego y saneamiento básico.
- Educación y cultura ambiental: capacitación en gestión sostenible de recursos naturales y programas de sensibilización ambiental en escuelas y comunidades.
- Desarrollo productivo local: apoyo a la agricultura, ganadería, artesanía y emprendimientos sostenibles para diversificar la economía local.
- Salud comunitaria: campañas médicas, programas de prevención y fortalecimiento de la atención primaria.
- Participación ciudadana: creación de mesas de diálogo y comités de vigilancia ambiental comunitarios.

La inversión comunitaria también se encuentra respaldada por normativas peruanas que exigen la inclusión de mecanismos de participación ciudadana en los Estudios de Impacto Ambiental (SEIA), lo cual promueve una mayor transparencia en la relación empresa–comunidad.

Asimismo, la incorporación de prácticas internacionales como los Estándares de Desempeño de la IFC (International Finance Corporation, 2020) y los lineamientos del Banco Mundial (2022) han fortalecido la tendencia hacia una gestión ambiental y social más integral, orientada a prevenir conflictos y fomentar relaciones de confianza a largo plazo.

En este sentido, la inversión social y comunitaria no debe entenderse como un gasto compensatorio, sino como un mecanismo de sostenibilidad estratégica, que permite a las empresas mineras consolidar su licencia social para operar, reducir riesgos reputacionales y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

E. Beneficios de la inversión ambiental

La inversión ambiental en la minería genera beneficios estratégicos que trascienden el simple cumplimiento normativo, convirtiéndose en un factor clave para la sostenibilidad, competitividad y permanencia en el mercado. En primer lugar, esta inversión permite la reducción de riesgos legales y económicos, al evitar sanciones, multas y paralizaciones impuestas por los organismos fiscalizadores. En el Perú, la OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) y el MINAM aplican medidas correctivas y sanciones ante el incumplimiento de la normativa ambiental, lo que puede representar pérdidas millonarias para las empresas (OEFA, 2023).

En segundo lugar, el fortalecimiento de la licencia social para operar constituye un beneficio intangible pero decisivo. Una adecuada gestión ambiental, acompañada de programas sociales y de comunicación transparente, reduce la conflictividad socioambiental y aumenta la

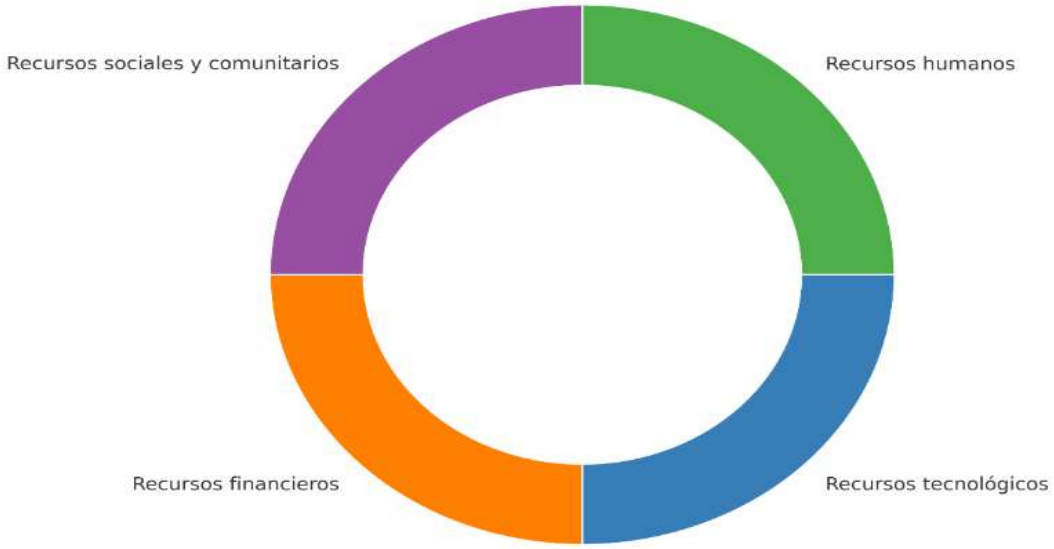
confianza de la comunidad en la empresa minera. Como señalan Franks et al. (2014), la pérdida de la licencia social puede ser más costosa que las multas, ya que deriva en bloqueos, retrasos de proyectos y daño reputacional.

Otro beneficio fundamental es la mejora de la competitividad empresarial. Aquellas compañías que implementan sistemas de gestión certificados bajo normas internacionales como ISO 14001 (gestión ambiental), ISO 45001 (seguridad y salud en el trabajo) o estándares de sostenibilidad como los del ICMM y la IFC, acceden a mejores condiciones en mercados internacionales, financiamiento de fondos verdes y preferencias en acuerdos comerciales.

Además, la inversión ambiental impulsa la innovación tecnológica mediante la adopción de procesos limpios (uso eficiente del agua, energías renovables, reducción de huella de carbono), lo cual genera ahorros operativos a mediano y largo plazo. Según el Banco Mundial (2022), las empresas mineras que integran prácticas ambientales sostenibles logran una mayor resiliencia frente a crisis económicas y climáticas, mejorando su posición en rankings de sostenibilidad global.

En síntesis, la inversión ambiental no debe percibirse como un costo adicional, sino como una estrategia de valor compartido, que fortalece la gestión empresarial, reduce riesgos y proyecta una imagen de responsabilidad frente a inversionistas, reguladores y comunidades.

Figura 1
Ciclo de recursos e inversión ambiental en la minería



2.2.4 Herramientas de gestión y planificación

La gestión ambiental minera requiere del uso de herramientas técnicas y estratégicas que permitan planificar, ejecutar, evaluar y mejorar los procesos de manera continua. Estas herramientas aseguran que la operación minera se desarrolle bajo principios de sostenibilidad, minimizando riesgos ambientales, sociales y económicos.

Principales herramientas de gestión y planificación:

A. **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):**

- Instrumento preventivo clave que identifica, predice y valora los impactos ambientales de un proyecto minero antes de su ejecución.
- Incluye planes de manejo ambiental con medidas de mitigación, compensación y monitoreo.
- Es obligatorio en el Perú según la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA (Ley N.° 27446).

- Plan de Cierre de Minas (PCM):
- Documento técnico que establece las medidas necesarias para rehabilitar el área intervenida una vez concluida la actividad minera.
- Permite prevenir la generación de pasivos ambientales y garantizar la restauración de ecosistemas.
- Regulado por el D.S. N.° 033-2005-EM y normas complementarias del MINEM.

B. **Sistema de Gestión Ambiental (SGA):**

- Marco normativo voluntario (ej. ISO 14001:2015) que ayuda a las empresas a planificar, ejecutar y mejorar sus prácticas ambientales bajo un ciclo de mejora continua (PHVA: planificar, hacer, verificar y actuar).
- Fortalece la cultura de prevención y permite integrar la sostenibilidad en la gestión corporativa.

C. **Planes de Manejo y Monitoreo Ambiental:**

- Incluyen programas de calidad de aire, agua, suelo, ruido y biodiversidad.
- Permiten controlar los impactos en tiempo real y adoptar medidas correctivas.

D. **Indicadores de Desempeño Ambiental (KPIs):**

- Herramientas cuantitativas que permiten medir la eficiencia del modelo de gestión ambiental.

- Ejemplos: toneladas de CO_2 reducidas, porcentaje de agua recirculada, áreas reforestadas, número de incidentes ambientales reportados.

E. **Auditorías Ambientales:**

- Evaluaciones internas o externas que verifican el grado de cumplimiento de las obligaciones ambientales.

- Contribuyen a identificar brechas y oportunidades de mejora.

En conjunto, estas herramientas conforman la base del modelo de gestión ambiental para concesiones mineras, articulando la planificación estratégica con la operativa. Su correcta aplicación no solo asegura el cumplimiento de la normatividad nacional e internacional, sino que también otorga legitimidad social y competitividad global a las empresas mineras.

Tabla 1

Comparativo: Herramientas de gestión

Herramienta	Objetivo	Normativa / Referencia	Beneficios principales
Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	Identificar, predecir y valorar impactos ambientales de un proyecto minero antes de su ejecución.	Ley N.° 27446 – Ley del SEIA (Perú).	Prevención de impactos; mayor legitimidad social; cumplimiento legal.
Plan de Cierre de Minas (PCM)	Garantizar la rehabilitación del área intervenida al finalizar las operaciones mineras.	D.S. N.° 033-2005-EM y modificatorias (MINEM).	Evita pasivos ambientales; asegura restauración de ecosistemas; reduce conflictos sociales.
Sistema de Gestión Ambiental (SGA – ISO 14001)	Implementar un marco de gestión preventiva basado en mejora continua (PHVA).	ISO 14001:2015.	Estandarización internacional; acceso a mercados; reducción de riesgos legales y reputacionales.
Planes de Manejo y Monitoreo Ambiental	Controlar los impactos en aire, agua, suelo, biodiversidad y ruido en tiempo real.	Reglamento de Protección Ambiental en Minería (D.S. N.° 040-2014-EM).	Detección temprana de riesgos; permite acciones correctivas inmediatas.
Indicadores de Desempeño Ambiental (KPIs)	Medir la eficiencia y efectividad de la gestión ambiental en minería.	Lineamientos de Buenas Prácticas (OEFA, 2022).	Transparencia; mejora continua; facilita reportes de sostenibilidad.
Auditorías Ambientales	Evaluar el grado de cumplimiento de las obligaciones ambientales, internas o externas.	Ley General del Ambiente N.° 28611 y OEFA.	Identificación de brechas; mejora la confianza con stakeholders; evita sanciones.

2.2.5 La evaluación del desempeño ambiental

Constituye un pilar clave en la gestión minera en el Perú, ya que permite medir y verificar el cumplimiento de las obligaciones ambientales establecidas en la legislación vigente. Su finalidad es asegurar que las operaciones mineras se desarrollen bajo parámetros de sostenibilidad, minimizando riesgos sobre el ambiente y las comunidades.

En el marco nacional, la Ley General del Ambiente (Ley N.° 28611) establece los principios y lineamientos para la protección ambiental, mientras que la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley N.° 27446) regula la obligatoriedad de contar con Estudios de Impacto Ambiental (EIA) como requisito para la aprobación de proyectos mineros. Estos instrumentos son evaluados por la autoridad competente —en el caso de la gran y mediana minería, el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE).

Asimismo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), adscrito al Ministerio del Ambiente, es el ente encargado de supervisar, fiscalizar y sancionar a las empresas mineras en caso de incumplimientos ambientales. El OEFA aplica auditorías ambientales, monitoreos y revisiones de planes de cierre de minas, verificando la eficacia de las medidas de mitigación implementadas.

El Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades de Exploración y Explotación Minera (D.S. N.° 040-2014-EM) refuerza la necesidad de contar con programas de monitoreo ambiental y reportes periódicos de cumplimiento. Estos reportes (informes ambientales y declaraciones de cumplimiento) son obligatorios y constituyen una herramienta para la evaluación continua del desempeño ambiental de las concesiones mineras.

La evaluación del desempeño ambiental no solo responde al cumplimiento legal, sino que también constituye una estrategia de prevención de riesgos y conflictos socioambientales.

Las empresas que demuestran un desempeño ambiental sólido pueden acceder a beneficios como la licencia social para operar, mayor aceptación comunitaria y reducción de contingencias legales y económicas.

En síntesis, la legislación nacional peruana ha fortalecido en los últimos años el marco normativo para la evaluación del desempeño ambiental en minería, avanzando hacia estándares internacionales. Sin embargo, la eficacia depende de la correcta articulación entre empresas, autoridades fiscalizadoras y comunidades locales, lo cual aún representa un desafío en zonas de alta conflictividad.

2.2.6 Calidad del agua y suelo

La minería es una de las actividades económicas con mayor potencial de impacto en los recursos hídricos y edáficos. La calidad del agua y del suelo en zonas mineras puede verse afectada por la liberación de metales pesados, sedimentos y sustancias químicas utilizadas en los procesos de extracción y beneficio de minerales.

En el caso del agua, los principales riesgos provienen del drenaje ácido de minas (DAM), que ocurre cuando minerales sulfurados entran en contacto con el oxígeno y el agua, generando ácido sulfúrico y movilizando metales pesados como arsénico, plomo, cadmio y mercurio. Estos contaminantes pueden infiltrarse en cuerpos de agua superficiales y subterráneos, afectando ecosistemas acuáticos y poniendo en riesgo la salud humana. El MINAM (2022**)** reconoce que el drenaje ácido constituye uno de los pasivos ambientales más críticos en la minería peruana.

En cuanto al suelo, las operaciones mineras pueden provocar procesos de erosión, pérdida de fertilidad y acumulación de metales pesados que alteran su capacidad productiva. La disposición inadecuada de relaves y desmontes genera lixiviación de contaminantes que se infiltran en el perfil del suelo, reduciendo su calidad agrícola. Según la FAO (2020), la

degradación del suelo en zonas mineras puede tener efectos irreversibles si no se implementan medidas de remediación adecuadas.

La legislación peruana establece parámetros específicos de calidad ambiental: los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y Suelo (D.S. N.° 004-2017-MINAM y D.S. N.° 011-2017-MINAM), los cuales fijan concentraciones máximas permitidas de metales pesados y otros contaminantes. Sin embargo, la brecha entre norma y cumplimiento efectivo sigue siendo un desafío, especialmente en concesiones mineras de pequeña y mediana escala.

La implementación de programas de monitoreo hídrico y edáfico resulta indispensable. Estos permiten identificar variaciones en la calidad del agua y del suelo en relación con las actividades mineras y facilitan la aplicación de medidas preventivas y correctivas. Además, la aplicación de tecnologías como sistemas de tratamiento de aguas ácidas, impermeabilización de depósitos de relaves y reforestación de áreas intervenidas contribuye a mitigar los impactos.

En síntesis, la calidad del agua y del suelo en el contexto minero refleja la necesidad de un modelo de gestión ambiental robusto, que priorice la prevención, el monitoreo constante y la remediación temprana, garantizando tanto la sostenibilidad ambiental como la seguridad de las comunidades locales. Cuadro comparativo: Impactos en agua y suelo por actividad minera.

Tabla 2

Comparativo: Impactos en agua y suelo por actividad minera

ASPECTO	AGUA	SUELO
Fuentes de impacto	- Vertimiento de aguas residuales mineras - Filtraciones de relaves y depósitos de desmontes	- Filtración de metales pesados - Erosión por deforestación y movimiento de tierras
Contaminantes principales	- Arsénico, plomo, cadmio, mercurio - Sulfatos y cianuro - Sedimentos suspendidos	- Metales pesados (arsénico, plomo, cadmio, zinc) -Residuos químicos - Sales que afectan la fertilidad
Consecuencias ambientales	- Pérdida de biodiversidad acuática - Alteración de ecosistemas hídricos - Reducción de disponibilidad de agua potable	- Degradación y pérdida de fertilidad agrícola - Alteración del pH y estructura del suelo - Reducción de productividad agrícola
Consecuencias sociales	- Riesgo a la salud humana por consumo de agua contaminada - Conflictos socioambientales por escasez de agua	- Disminución de tierras productivas - Afectación a la seguridad alimentaria - Migración de comunidades
Normativa aplicable (Perú)	- ECA Agua (D.S. N.° 004-2017-MINAM)	- ECA Suelo (D.S. N.° 011-2017-MINAM)
Medidas de control	-Tratamiento de aguas ácidas -Monitoreo hídrico participativo -Impermeabilización de depósitos de relaves	- Encapsulamiento de relaves - Remediación y recuperación de suelos - Reforestación y revegetación de áreas impactadas

2.2.7 Calidad del aire y ruido

La calidad del aire y los niveles de ruido ambiental son componentes críticos en la evaluación de los impactos de la actividad minera. Ambos factores no solo afectan al medio ambiente, sino también a la salud de los trabajadores y de las comunidades aledañas a las operaciones.

En lo que respecta al aire, las principales emisiones provienen de:

- Material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) generado por voladuras, trituración, acarreo y transporte de minerales.
- Emisiones gaseosas derivadas del uso de combustibles fósiles en maquinaria y transporte, como dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO).
- Polvo fugitivo proveniente de caminos sin asfaltar y disposición de desmontes.

La exposición prolongada a estos contaminantes incrementa riesgos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la población (OMS, 2021). Además, la acumulación de material particulado afecta la calidad de los ecosistemas, alterando procesos de fotosíntesis y productividad agrícola en zonas cercanas (MINAM, 2022).

En relación con el ruido, las fuentes principales son las voladuras, la operación de chancadoras, molinos, perforadoras y el tránsito vehicular pesado. El ruido constante y por encima de los límites permisibles puede generar pérdida de audición, estrés, alteraciones del sueño y reducción de la calidad de vida en las comunidades próximas a los yacimientos.

La normativa peruana establece parámetros de control mediante los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (D.S. N.° 003-2017-MINAM) y los Límites Máximos Permisibles de Ruido (D.S. N.° 085-2003-PCM y modificatorias**)**, que regulan tanto la exposición ocupacional como la ambiental. Sin embargo, estudios de la Defensoría del Pueblo (2023)

indican que en varias operaciones mineras persisten incumplimientos en materia de control de emisiones y monitoreo sonoro, lo que contribuye al aumento de conflictos socioambientales.

Las medidas de mitigación incluyen la instalación de sistemas de supresión de polvo, riego de vías no pavimentadas, uso de filtros en equipos, y planificación de voladuras en horarios adecuados para reducir molestias a la población. Asimismo, la implementación de monitoreo ambiental participativo fortalece la transparencia y la confianza entre empresa y comunidad.

En síntesis, el control de la calidad del aire y del ruido en minería no solo tiene un componente técnico, sino también social, ya que su adecuada gestión representa una condición indispensable para garantizar la sostenibilidad de las operaciones y preservar la salud y bienestar de las poblaciones afectadas.

Tabla 3

Calidad del aire y ruido en la actividad minera

Aspecto	Calidad del aire	Ruido
Fuentes principales	• Voladuras • Emisiones de calderas y equipos de combustión • Transporte de minerales y material particulado • Procesamiento y trituración de rocas	• Explosiones por voladuras • Maquinaria pesada (palas, perforadoras, camiones • Plantas de chancado y molienda • Tránsito vehicular en operaciones
Contaminantes / Efectos	• Partículas (PM10, PM2.5) • Gases: CO, NOx, SO_2 • Polvo de sílice • Efectos: problemas respiratorios, irritación ocular, deterioro ambiental	• Ruido continuo e intermitente (70–120 dB • Vibraciones • Efectos: estrés auditivo, pérdida de audición, alteración de la fauna silvestre
Consecuencias	• Afectación a la salud (asma, bronquitis, enfermedades pulmonares crónicas) • Disminución de visibilidad • Alteración de ecosistemas cercanos	• Daños auditivos en trabajadores • Disminución de calidad de vida en comunidades aledañas • Alteración de patrones de comportamiento animal
Medidas de control / mitigación	• Sistemas de captación y filtros • Riego de vías y control de polvo • Mantenimiento de equipos • Monitoreo de calidad del aire	• Barreras acústicas naturales o artificiales • Uso de silenciadores en maquinaria • EPP (protectores auditivos) • Programas de monitoreo de ruido ocupacional y ambiental

2.2.8 La flora y fauna

Constituyen dos de los componentes más sensibles frente a la actividad minera, ya que la intervención del territorio ocasiona pérdida de hábitats, fragmentación de ecosistemas y alteración de cadenas tróficas. Estos impactos repercuten directamente en la biodiversidad y en

la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios ambientales esenciales como regulación hídrica, captura de carbono, polinización y provisión de alimentos.

En el caso de la flora, la remoción de la cobertura vegetal para habilitar tajos abiertos, accesos y campamentos genera procesos de deforestación y erosión, reduciendo la capacidad de regeneración natural del suelo. Asimismo, la deposición de polvo sobre hojas y tallos limita la fotosíntesis y el crecimiento de especies nativas. Estudios de la FAO (2020) señalan que la minería a gran escala acelera la pérdida de cobertura boscosa, especialmente en ecosistemas de alta fragilidad como los andinos y amazónicos.

Respecto a la fauna, los principales efectos provienen de la pérdida y fragmentación de hábitats, la contaminación de fuentes de agua y la perturbación causada por el ruido y la actividad humana. Estos factores generan migración de especies, disminución de poblaciones y, en algunos casos, riesgo de extinción local. La **UICN (2021)** advierte que la minería es una de las presiones más significativas sobre especies endémicas en Sudamérica, muchas de ellas ya catalogadas como vulnerables o en peligro.

En el Perú, la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley N.° 29763) y sus reglamentos establecen lineamientos para la conservación de especies, mientras que el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) regula autorizaciones para el aprovechamiento y protección de recursos biológicos. Sin embargo, en concesiones mineras se evidencian vacíos en la implementación de planes de rescate y reubicación de especies, así como en la restauración de ecosistemas intervenidos.

Las medidas de mitigación incluyen: rescate y reubicación de especies de fauna, revegetación con especies nativas, establecimiento de corredores biológicos, conservación de áreas intangibles y programas de monitoreo participativo de biodiversidad. Estas acciones,

sumadas a los compromisos de la **ISO 14001:2015** en materia de gestión ambiental, fortalecen la sostenibilidad del sector minero.

En síntesis, la protección de la flora y fauna en zonas mineras no solo es un requisito legal, sino también una estrategia clave para preservar la biodiversidad y garantizar la aceptación social de los proyectos extractivos. Un modelo de gestión ambiental sólido debe integrar la conservación biológica como componente transversal de su planificación y operación.

Tabla 4

Cuadro sinóptico: Impactos de la minería en flora y fauna

Componente	Causas principales	Consecuencias	Medidas de mitigación
Flora	• Deforestación por apertura de tajos, caminos y campamentos • Depósito de relaves y desmontes • Sedimentación y deposición de polvo en hojas y tallos	• Pérdida de cobertura vegetal • Reducción de biodiversidad botánica • Alteración de procesos ecológicos (fotosíntesis, regeneración)	• Revegetación con especies nativas • Programas de reforestación • Control de polvo y sedimentación • Conservación de áreas verdes buffer
Fauna	• Fragmentación y pérdida de hábitats • Contaminación de fuentes de agua • Ruido y vibraciones por explosiones y maquinaria • Presión por presencia humana	• Migración de especies • Disminución de poblaciones • Riesgo de extinción local • Alteración de cadenas tróficas	• Rescate y reubicación de fauna silvestre • Creación de corredores biológicos • Monitoreo participativo de biodiversidad • Programas de educación ambiental comunitaria

Medición del desempeño ambiental: ISO 14031

La norma ISO 14031, desarrollada en 1999 por la Organización Internacional de Normalización (ISO), complementa la ISO 14001 y se utiliza para evaluar el desempeño ambiental de las organizaciones. Según la ISO, la Evaluación de Desempeño Ambiental (EPE) es un "proceso que facilita las decisiones de gestión relacionadas con el desempeño ambiental de una organización mediante la selección de indicadores, recolección y análisis de datos, evaluación de la información con criterios de desempeño ambiental, comunicación e información, revisión periódica y mejora continua de este proceso"

La ISO 14031 ha sido considerada por muchos como un sistema de gestión ambiental sencillo, ya que ofrece un enfoque basado en el ciclo planificar-hacer-verificar-actuar, lo que permite a la alta dirección recopilar información sobre el desempeño ambiental. Los Indicadores Clave de Rendimiento Ambiental (eKPIs) son la herramienta principal para medir la efectividad con la que una organización está alcanzando sus metas medioambientales. Para desarrollar KPIs relevantes, se recomienda considerar estas perspectivas al planificar la evaluación del desempeño ambiental:

- Relevancia: Las organizaciones utilizan la ISO 14001 para identificar los aspectos ambientales más significativos relacionados con sus actividades. La clave para desarrollar indicadores de desempeño ambiental relevantes es priorizar las actividades que presentan mayores riesgos ambientales.
- Equivalencia: El aumento de la información ambiental en los últimos años ha facilitado la comparación entre organizaciones. A diferencia de otras herramientas de comparación, la ISO 14031 se enfoca exclusivamente en aspectos ambientales, sin abordar características sociales, económicas o generales de las organizaciones.

- Verificabilidad: La evidencia obtenida a través de la Evaluación del Desempeño Ambiental es generalmente sólida. Esto se debe a que los indicadores de rendimiento individuales pueden combinarse para mejorar la validez y fiabilidad. Además, como está basada en la norma ISO 14001, el desempeño de una organización es verificado casi siempre por organismos de certificación acreditados, lo que respalda la fiabilidad de los datos de rendimiento.
- Claridad: La ambigüedad se reduce significativamente debido a la especificidad de los indicadores de desempeño ambiental.
- Exhaustividad: Los indicadores de desempeño ambiental proporcionan a las organizaciones la capacidad de comprender completamente el alcance de su desempeño ambiental. Esto les permite anticiparse a posibles incidentes ambientales y obtener una visión más amplia de sus impactos ambientales, que pueden ser solicitados por las partes interesadas.

La ISO 14031 clasifica tres tipos principales de indicadores del rendimiento ambiental:

1. Indicador de rendimiento de gestión (MPI): Este indicador ofrece información sobre la gestión que puede influir en el desempeño ambiental de una organización.
2. Indicador de rendimiento operacional (OPI): Este indicador proporciona información sobre el comportamiento ambiental de las actividades operativas de la organización.
3. Indicador de estado del medio ambiente (ECI): Este indicador ofrece datos específicos sobre la situación ambiental en niveles locales, regionales, nacionales o globales.

La ISO 14031 también proporciona directrices sobre la elaboración de informes internos y externos, y sobre la comunicación, con el fin de facilitar el cambio. Además, refuerza la importancia de la revisión por parte de la dirección, destacando la necesidad de obtener la mejor información posible dentro de cada organización.

2.3 Definición de términos básicos

- Gestión ambiental: Conjunto de políticas, estrategias, procedimientos y acciones orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos ambientales derivados de una actividad productiva (ISO 14001, 2015).
- Mejora continua: Proceso sistemático de evaluación y perfeccionamiento de las prácticas ambientales mediante el ciclo PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar), con el fin de incrementar el desempeño ambiental de una organización (Deming, 1986).
- Calidad del agua: Condición fisicoquímica y biológica de los recursos hídricos en relación con su uso y con los estándares establecidos en la normativa nacional (MINAM, 2021).
- Calidad del suelo: Estado de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que determinan su capacidad de sostener ecosistemas y actividades humanas sin degradarse (FAO, 2019).
- Calidad del aire: Grado de concentración de contaminantes atmosféricos (PM10, PM2.5, NOx, SO_2, CO, entre otros) en relación con los límites máximos permisibles establecidos para proteger la salud y el ambiente (OMS, 2021).
- Ruido ambiental: Conjunto de vibraciones sonoras no deseadas generadas por actividades humanas o naturales que afectan la salud, la fauna y la calidad de vida de las personas (EPA, 2020).
- Flora: Conjunto de especies vegetales presentes en un área determinada, cuya conservación es fundamental para mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (MINAM, 2018).
- Fauna: Conjunto de especies animales silvestres que habitan en un ecosistema específico, cuya preservación garantiza el equilibrio ecológico y la sostenibilidad (UICN, 2020).

- Recursos humanos ambientales: Personal especializado (ingenieros ambientales, biólogos, geólogos, técnicos en seguridad y salud) encargado de implementar y monitorear los programas de gestión ambiental (MINAM, 2022).
- Recursos tecnológicos: Equipos, sistemas de monitoreo, software de modelación ambiental y tecnologías limpias aplicadas a la prevención y mitigación de impactos ambientales (OEFA, 2021).
- Inversión ambiental: Asignación de recursos financieros para implementar medidas de prevención, mitigación, remediación y programas de responsabilidad social y comunitaria vinculados a la gestión ambiental (MINEM, 2024).
- Licencia social para operar: Aceptación y respaldo de la comunidad hacia las actividades de una empresa, basada en la confianza, el diálogo y la percepción positiva del compromiso ambiental y social (Bebbington et al., 2018).

2.4 Formulación de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General:

El modelo de gestión ambiental mejora significamente en los impactos ambientales generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.

2.4.2 Hipótesis Específicas:

1. El modelo de gestión ambiental mejora significativamente la calidad del aire y emisiones generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.
2. El modelo de gestión ambiental mejora significativamente la calidad del suelo generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.

3. El modelo de gestión ambiental mejora significativamente ruido generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.

2.5 Operacionalización de variable

Tabla 5

Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLE	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Variable 1: gestión ambiental	Conjunto de políticas, procedimientos y estrategias orientadas a prevenir, mitigar y controlar impactos ambientales (ISO 14001, MINAM, 2020).	Evaluación de la aplicación del modelo en las concesiones Caracolito I y II.	1. Marco normativo y cumplimiento	Concesiones con Instrumento de Gestión Ambiental (DIA) aprobado.	% De cumplimiento normativo	Lista de verificación normativa - revisión documental (EIA, PAMA, permisos) - auditorías ambientales
				Cumplimiento de los compromisos ambientales		
			2. Herramientas de gestión y planificación	Uso de herramientas como: análisis de alternativas de ubicación, nivel de detalle de la DIA, gestión de riesgos.	Documentos de planificación (planes de manejo, programas ambientales)	Número de herramientas aplicadas / % de implementación
				Calidad/suficiencia de información del estudio de impacto ambiental.		
			3. Evaluación del desempeño ambiental (legislación nacional)	Existencia de sistema de Evaluación de Desempeño Ambiental (legislación nacional).	Escala cualitativa (cumple / no cumple / en proceso) o % de cumplimiento	Informe de auditoría OEFA/
				Número de indicadores monitorizados (emisiones, consumo agua/energía, residuos, biodiversidad) y frecuencia de reporte.		

Variable 2: Impactos ambientales	Cambios positivos o negativos en el medio ambiente derivados de la actividad minera (Conesa, 2010).	Evaluación de la variación en agua, aire y biodiversidad según implementación del modelo.	1. Calidad del aire	concentraciones promedio de partículas PM10, gases (SO_2, NO2, CO) y Metales en PM10.	µg/m³, mg/L	Medidor multiparamétrico de agua,
						Espectrometría de Absorción Atómica (AAS),
			2. Calidad del suelo	Concentraciones de metales pesados (arsénico, bario total, cadmio, cromo total, cromo mercurio y plomo)	µg/m³, mg/L	Detectores de gases, analizadores portátiles certificados
						Sonómetro
			3. Calidad ruido ambiental	Niveles de decibeles(dB)	dB(A)	Imágenes satelitales, GPS, Información Geográfica), trabajo de campo

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Diseño de la investigación.

Se empleará un diseño no experimental, de corte transversal y descriptivo–explicativo. No experimental, porque no se manipulan las variables de manera deliberada, sino que se observa y analiza la realidad existente. De corte transversal, porque la recolección de datos se realizará en un solo periodo de tiempo: año 2025. Descriptivo–explicativo, porque se describen los impactos ambientales (agua, aire, biodiversidad) y se explica si el modelo de gestión ambiental contribuye a mitigarlos.

3.1.2 Tipo de Investigación.

La investigación es de tipo aplicada, porque busca utilizar conocimientos científicos para resolver un problema específico: evaluar la efectividad de un modelo de gestión ambiental en las concesiones mineras Caracolito I y II. Además, es de enfoque cuantitativo–cualitativo (mixto), ya que se analizan parámetros medibles (calidad del aire, suelo y ruido) y también aspectos cualitativos (percepción de mejoras, impacto en ecosistemas).

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población del estudio estará conformada por las concesiones mineras ubicadas en el distrito de Supe – Ámbar, provincia de Huaura, región Lima, que desarrollan actividades extractivas y de procesamiento en el año 2025. Además, se considerarán como parte de la población de análisis a los trabajadores, responsables de gestión ambiental, comunidades aledañas y autoridades locales vinculadas a la supervisión ambiental minera**.**

3.2.2 Muestra

Parámetros seleccionados: calidad del agua (pH, metales pesados, drenaje ácido), calidad del aire (PM10, SO_2, NOx), biodiversidad (riqueza de especies de flora y fauna en áreas de influencia).

3.3 Técnicas de recolección de datos

- Monitoreo ambiental directo: mediciones in situ de agua, aire y biodiversidad con equipos especializados.
- Revisión documental: informes de monitoreo ambiental, EIA, planes de manejo ambiental, reportes del MINEM y OEFA.
- Entrevistas y encuestas: aplicadas a responsables ambientales, técnicos de campo y comunidad local para evaluar la percepción de la gestión ambiental.

3.4 Procesamiento y análisis de datos

- Datos cuantitativos: se empleará estadística descriptiva (promedios, gráficos comparativos) y normativa ambiental como referencia (LMP, ECA del MINAM).
- Datos cualitativos: análisis de contenido y triangulación con resultados cuantitativos.
- Comparación antes y después de la aplicación del modelo de gestión ambiental.

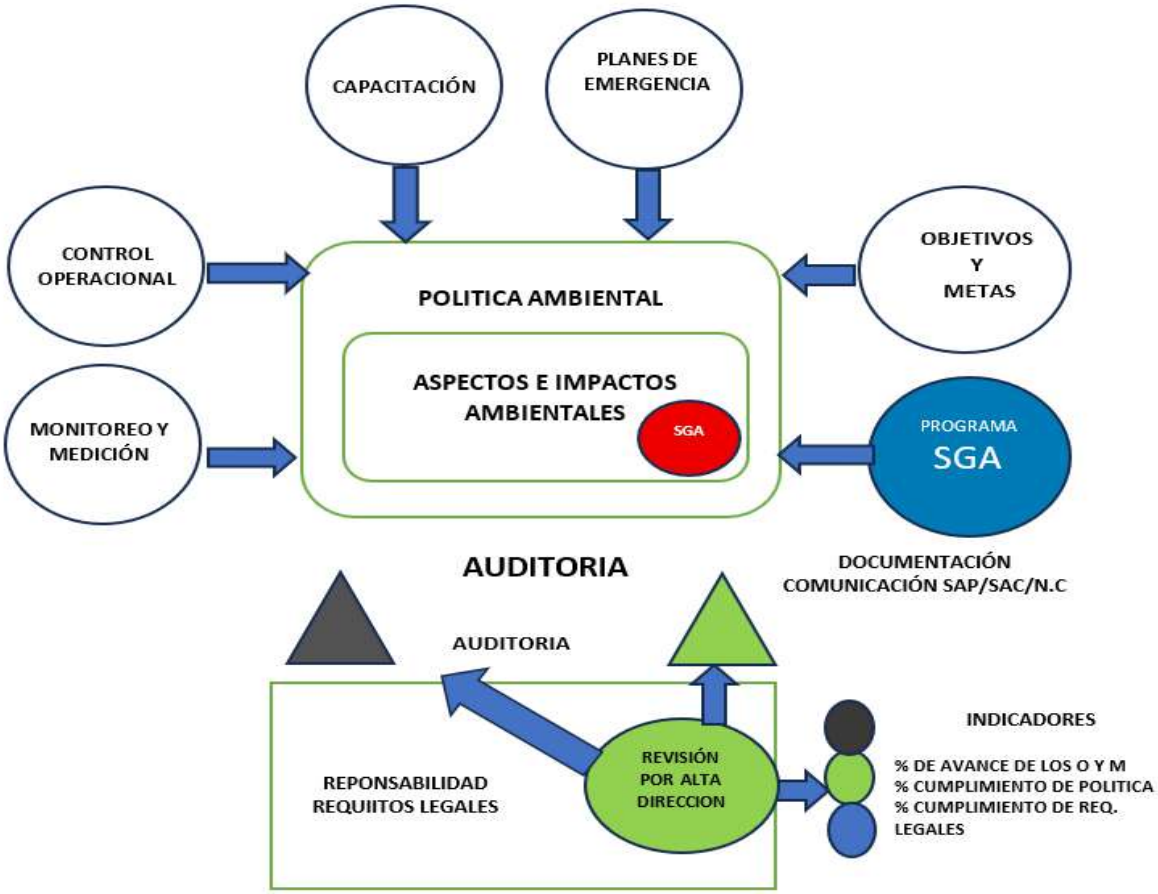
3.5 Modelo aplicado para la evaluación de la gestión ambiental

El presente estudio se sustenta en la aplicación de un Modelo de Gestión Ambiental basado en la norma internacional ISO 14001:2015, complementado con la Evaluación del Desempeño Ambiental (ISO 14031) y herramientas de evaluación de impactos ambientales, con la finalidad de determinar si dicho modelo contribuye a mejorar los impactos ambientales generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006, ubicadas en el distrito de Supe–Ámbar, durante el año 2025.

La selección de este modelo responde a su amplia aceptación a nivel internacional y nacional, así como a su enfoque preventivo, sistemático y orientado a la mejora continua, características fundamentales para la gestión ambiental en actividades mineras de alto impacto.

3.5.1 Modelo de Gestión Ambiental basado en ISO 14001:2015

Figura 2
Modelo de Gestión Ambiental



El modelo aplicado se fundamenta en los principios de la norma **ISO 14001:2015**, la cual establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) orientado a la identificación, evaluación y control de los aspectos e impactos ambientales significativos, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y promoviendo la mejora continua del desempeño ambiental.

Este modelo se estructura bajo el enfoque del ciclo Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA), el cual permite una gestión ambiental dinámica y adaptable a las condiciones operativas de las concesiones mineras evaluadas.

a) Planificar

En esta fase se identificaron y evaluaron los aspectos e impactos ambientales asociados a la actividad minera, con énfasis en la calidad del aire, suelo, ruido y la afectación a la biodiversidad. Asimismo, se revisó el cumplimiento de la legislación ambiental aplicable y se establecieron objetivos, metas e indicadores ambientales acordes con la realidad local de las concesiones Caracolito I y II.

b) Hacer

Comprende la implementación de medidas de control, prevención y mitigación de impactos ambientales, tales como, el programa de monitoreo ambiental, capacitación del personal y fortalecimiento de los mecanismos de gestión ambiental en las operaciones mineras.

c) Verificar

En esta etapa se realizó el seguimiento y evaluación del desempeño ambiental mediante monitoreos de calidad de agua, análisis de drenaje ácido y verificación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa peruana. Los resultados obtenidos permitieron evaluar la eficacia del modelo aplicado.

d) Actuar

Finalmente, con base en los resultados de la verificación, se propusieron acciones correctivas y de mejora, orientadas a fortalecer la gestión ambiental, reducir los impactos negativos identificados y consolidar un enfoque de mejora continua en las concesiones mineras evaluadas.

3.5.2. Evaluación del Desempeño Ambiental (ISO 14031)

Para determinar en qué medida el modelo de gestión ambiental mejora los impactos ambientales, se empleó la Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA) conforme a los lineamientos de la norma ISO 14031, la cual permite medir de manera objetiva el desempeño ambiental a través de indicadores específicos.

En el estudio se utilizaron indicadores operacionales y de condición ambiental, tales como:

- Cumplimiento de ECA y LMP ambientales.
- Resultados de monitoreo antes y después de la aplicación del modelo.

A. Aplicación Evaluación del Desempeño Ambiental(ISO 14031)

La ISO 14031 es una norma internacional que establece directrices para evaluar el desempeño ambiental de una organización mediante el uso de indicadores medibles**,** permitiendo verificar si las acciones de gestión ambiental generan mejoras reales en el ambiente.

B. **Enfoque metodológico para aplicar ISO 14031**

La ISO 14031 se aplica en cuatro etapas, coherentes con el ciclo PHVA:

Etapa 1: Planificación de la medición

Se prioriza aquellos relacionados con la calidad del suelo, aire y ruído. Asimismo, se establecieron los criterios de evaluación tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) vigentes.

Etapa 2: Selección de indicadores ambientales

Los indicadores seleccionados se clasificaron de acuerdo con la ISO 14031 en:

- Indicadores de Desempeño Operacional (IDO): pH del agua, concentración de metales pesados, sulfatos, volumen de efluentes tratados y número de medidas de control implementadas.
- Indicadores de Condición Ambiental (ICA): calidad suelo, aire y ruido nivel de cumplimiento de los ECA Agua.

Los indicadores seleccionados se clasificaron en indicadores de desempeño operacional e indicadores de condición ambiental, de acuerdo con la ISO 14031, permitiendo evaluar tanto la eficacia de las acciones de gestión ambiental como el estado del medio ambiente receptor.

Etapa 3: Recolección y análisis de datos

La recolección de datos se realizó mediante monitoreos ambientales en campo, análisis de laboratorio acreditado y revisión de registros ambientales de las concesiones mineras. El análisis consistió en la comparación de los resultados obtenidos antes y después de la aplicación del modelo de gestión ambiental, así como su contrastación con los ECA.

Etapa 4: Evaluación y comunicación del desempeño

La evaluación permitió determinar el grado de mejora alcanzado en los indicadores ambientales seleccionados, identificando tendencias positivas en la calidad del agua, suelo y aire. Asimismo, se analizaron las brechas existentes y la efectividad de las medidas de control implementadas.

Tabla 6
Indicador de condición ambiental (ICA) aire

	CALIDAD DEL AIRE	
1.	**OBJETIVOS**	Minimizar las concentraciones de contaminantes en el aire, asegurando que los niveles se mantengan dentro de los estándares de calidad del aire establecidos. El objetivo es reducir la exposición de las comunidades y los ecosistemas a niveles peligrosos de contaminación atmosférica.
2.	**DESCRIPCIÓN**	Este indicador mide la concentración de contaminantes atmosféricos, tales como material particulado (PM10), gases como NO2, SO2, CO y metales pesados en PM10 como arsénico, plomo, cromo y cadmio, que son generados por actividades mineras, y otras fuentes antropogénicas.
3.	**VALOR UMBRAL**	El valor umbral es el nivel de concentración de un contaminante que, al ser superado, indica que el aire está fuera de los estándares de calidad establecidos.
4.	**FRECUENCIA DE MEDICIÓN**	Se recomienda monitoreo semestral, dependiendo de las características de la fuente de contaminación y los riesgos asociados.
5.	**UNIDAD DE MEDIDAS**	Los contaminantes se miden en unidades de concentración: Microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) para partículas suspendidas (PM10), gases como NO2, SO2, CO y metales pesados.
6.	**LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO SEGÚN NORMATIVA**	Los límites dependen de la normativa vigente. D.S. N° 003 -2017-MINAM
7.	**UMBRAL CRÍTICO**	El valor umbral para un contaminante se determina según los límites permitidos por la normativa. Si la concentración supera el valor umbral, esto indica que hay un riesgo significativo para la salud humana y/o el ambiente.
8.	**ACCIÓN CORRECTIVA**	Cuando se supera el valor umbral, se deben implementar acciones correctivas inmediatas para reducir las emisiones, tales como:

CALIDAD DEL AIRE	
	• Control de polvo mediante humectación o barreras de control. • Reducción de emisiones utilizando tecnologías más limpias. • Optimización de procesos industriales para reducir la emisión de gases.
9. RESPONSABILIDAD	El monitoreo y las decisiones basadas en este indicador son responsabilidad del departamento de gestión ambiental de la empresa.
10. FÓRMULA PARA EL CÁLCULO	$\textbf{Concentración promedio semestral} = \frac{\sum(\textbf{concentración})}{\textbf{Frecuencia}}$
11. INTERPRETACIÓN	• Si la concentración promedio semestral de un contaminante supera los valores umbral establecidos, se debe activar un plan de intervención para reducir la emisión de contaminantes. • Si el valor está por debajo del valor umbral, se continuará con el monitoreo regular sin necesidad de medidas correctivas inmediatas.
12. REFERENCIA	D.S. N° 003-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental para el Aire (ECA-AIRE), Ley 28611 - Ley General del Ambiente, normas locales

Tabla 7
Indicador de condición ambiental (ICA)- suelo

	CALIDAD DEL SUELO
1. **OBJETIVO**	Mejorar o mantener la calidad del suelo asegurando que los contaminantes estén dentro de los límites permitidos, lo que favorece la salud del ecosistema, la agricultura, y la biodiversidad local.
2. DESCRIPCIÓN	Este indicador mide la calidad del suelo en términos de contaminación, tales como el contenido de metales pesados, como el arsénico (As), mercurio (Hg), y plomo (Pb), entre otros.
3. VALOR UMBRAL	El valor umbral es el nivel de concentración o parámetro que, cuando se supera, indica que el suelo está fuera de los estándares de calidad establecidos
4. FRECUENCIA DE MEDICIÓN	Se recomienda monitoreo semestral.
5. UNIDAD DE MEDIDAS	Las unidades de medida pueden variar según el parámetro evaluado: mg/kg (miligramos por kilogramo) para metales pesados.
6. LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO	Los límites establecidos por las normativas nacionales
7. UMBRAL CRÍTICO	Cuando un contaminante o parámetro físico/químico supera el valor umbral, esto indica que el suelo está severamente afectado, lo que podría comprometer la salud del ecosistema y la biodiversidad.
8. ACCIÓN CORRECTIVA	Si se supera el valor umbral, deben tomarse medidas correctivas inmediatas, tales como: • Remediación del suelo mediante técnicas de bioremediación. • Control de fuentes de contaminación (reducción de emisiones de contaminantes, tratamiento de aguas residuales).
9. RESPONSABILIDAD	El monitoreo y las decisiones basadas en este indicador son responsabilidad del departamento de gestión ambiental de la empresa.
10. FÓRMULA PARA EL CÁLCULO	$\text{Concentración media de contaminantes} = \frac{\sum(\text{concentración de contaminantes en muestras})}{\text{número de muestras}}$
11. INTERPRETACIÓN	• Si la concentración media de contaminantes en el suelo supera el valor umbral, se debe activar un plan de acción correctiva para reducir o eliminar la contaminación del suelo.

CALIDAD DEL SUELO	
	• Si el valor está por debajo del valor umbral, se continuará con el monitoreo regular sin necesidad de medidas correctivas inmediatas.
12. REFERENCIA	Normativas locales e internacionales sobre calidad del suelo, como las establecidas por el Ministerio del Ambiente.

Tabla 8
Indicador de condición ambiental (ICA)- Ruido

CALIDAD- RUIDO AMBIENTAL	
1. OBJETIVO	Evaluar si el ruido ambiental generado o influenciado por la operación (tránsito interno, equipos, voladuras, talleres) mantiene la inmisión sonora dentro del estándar aplicable, para proteger salud y bienestar.
2. DESCRIPCIÓN	Indicador de condición ambiental (ICA) orientado a impacto: refleja la presión/resultado ambiental sobre receptores (comunidades/entorno) mediante niveles de ruido en puntos de monitoreo
3. VALOR UMBRAL	Se activa alerta cuando LA eq, T > ECA en cualquier punto y horario aplicable; se recomienda además tratar como prioridad cuando hay excedencias repetidas
4. FRECUENCIA DE MEDICIÓN	Semestral e incrementar en etapas críticas (construcción, cambios operativos, quejas comunitarias).
5. UNIDAD DE MEDIDAS	dB(A) (decibelios con ponderación
6. LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO SEGÚN NORMATIVA	Zona Residencial: 60 / 50. Zona Comercial: 70 / 60. Zona Industrial: 80 / 70
7. UMBRAL CRÍTICO	El umbral crítico del ruido es el nivel de presión sonora que, al ser superado, indica que el nivel de ruido en un área se ha vuelto potencialmente nocivo para la salud humana o el bienestar del medio ambiente. Este valor crítico se establece en función de los estándares de calidad ambiental (ECA)
8. ACCIÓN CORRECTIVA	En el contexto de la contaminación acústica, estas acciones están orientadas a reducir el nivel de ruido y evitar efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. • Sustitución de equipos ruidosos por otros de menor impacto. • Mantenimiento adecuado de la maquinaria y vehículos. • Instalación de barreras acústicas y mejoramiento de la infraestructura.

CALIDAD- RUIDO AMBIENTAL	
	• Capacitación del personal y sensibilización comunitaria.
9. RESPONSABILIDAD	El monitoreo y las decisiones basadas en este indicador son responsabilidad del departamento de gestión ambiental de la empresa.
10. FÓRMULA PARA EL CÁLCULO	**Fórmula para % Excedencias**: $$\%\textbf{Excedencias} = \left(\frac{\boldsymbol{N}_{\textbf{excedencias}}}{\boldsymbol{N}_{\textbf{mediciones}}}\right) \times \mathbf{100}$$
11. INTERPRETACIÓN	Si hay excedencia: • diagnóstico de fuentes (mapa de ruido/identificación de contribuyentes) • controles de ingeniería (silenciadores, encapsulamiento, barreras, mantenimiento) • controles operativos (horarios, rutas, velocidades), (4) verificación posterior (campaña de cierre).

Tabla 9
Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora calidad del agua y drenaje ácido generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025?	Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora los impactos ambientales generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.	El modelo de gestión ambiental mejora significamente en los impactos ambientales generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.	**Variable 1: Gestión ambiental** **Dimensiones** / **Indicadores** **Marco normativo y cumplimiento** — Concesiones con Instrumento de Gestión Ambiental (DIA) aprobado. Cumplimiento de los compromisos ambientales **Herramientas de gestión y planificación** — Uso de herramientas como: análisis de alternativas de ubicación, gestión de riesgos. Calidad/suficiencia de información del estudio de impacto ambiental. **Evaluación del desempeño ambiental (legislación nacional** — Existencia de sistema de Evaluación (legislación nacional). Número de indicadores monitorizados	**DISEÑO METODOLÓGICO** El diseño metodológico es aplicado, no experimental, descriptivo–explicativo, de corte transversal, con enfoque mixto, basado en la comparación entre indicadores ambientales y el modelo de gestión**.** **POBLACIÓN** La población del estudio estará conformada por las concesiones mineras ubicadas en el distrito de Supe – Ámbar, **MUESTRA** Parámetros seleccionados: calidad del agua (pH, metales pesados, drenaje ácido), calidad del aire (PM10, SO_2, NOx)
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	**OBJETIVOS ESPECIFICOS**	**HIPOTESIS ESPECIFICAS**		
1. ¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora la calidad del aire y emisiones generados por la actividad minera en las concesiones	1. Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora calidad del aire y emisiones generados por la actividad minera en las concesiones	1.El modelo de gestión ambiental mejora significativamente la calidad del aire y emisiones generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I		

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025? 2. ¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora calidad del suelo generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025? 3. ¿En qué medida el modelo de gestión ambiental mejora calidad ruido generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025?	mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025. 2. Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora calidad del suelo generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025. 3.Determinar si el modelo de gestión ambiental mejora del ruido generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.	2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025. 2.El modelo de gestión ambiental mejora significativamente la calidad del suelo generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025. 3.El modelo de gestión ambiental mejora significativamente la calidad del ruido generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar, durante el año 2025.	**Variable 2: Impactos ambientales** **Dimensiones** / **Indicadores** **Calidad del aire y emisiones** — concentraciones promedio de partículas PM10, gases (SO_2, NO2, CO) y Metales en PM10. **Calidad del suelo** — Concentraciones medias de contaminantes metales pesados % Parámetros dentro ECA **Calidad de ruido ambiental** — %Excedencias, que incumplen un estándar.	**TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS** •Revisión documental: informes de monitoreo ambiental, EIA, planes de manejo ambiental, reportes del MINEM y OEFA. • Entrevistas y encuestas: aplicadas a responsables ambientales, **TÉCNICAS PARA EL PROCEDIMIENTO DE LA INFORMACIÓN** • Datos cuantitativos: se empleará estadística descriptiva (promedios, gráficos comparativos) y normativa ambiental como referencia (LMP, ECA del MINAM).

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

La evaluación se llevó a cabo utilizando el índice de desempeño ambiental (IDA) para los componentes aire, suelo y ruido, siguiendo las directrices para ISO 14031 y los estándares de calidad ambiental (ECA) vigentes en Perú. Los resultados se presentan de forma comparativa antes y después de la implementación del modelo, lo que permite evaluar la efectividad del modelo en la reducción de los impactos ambientales de las actividades mineras.

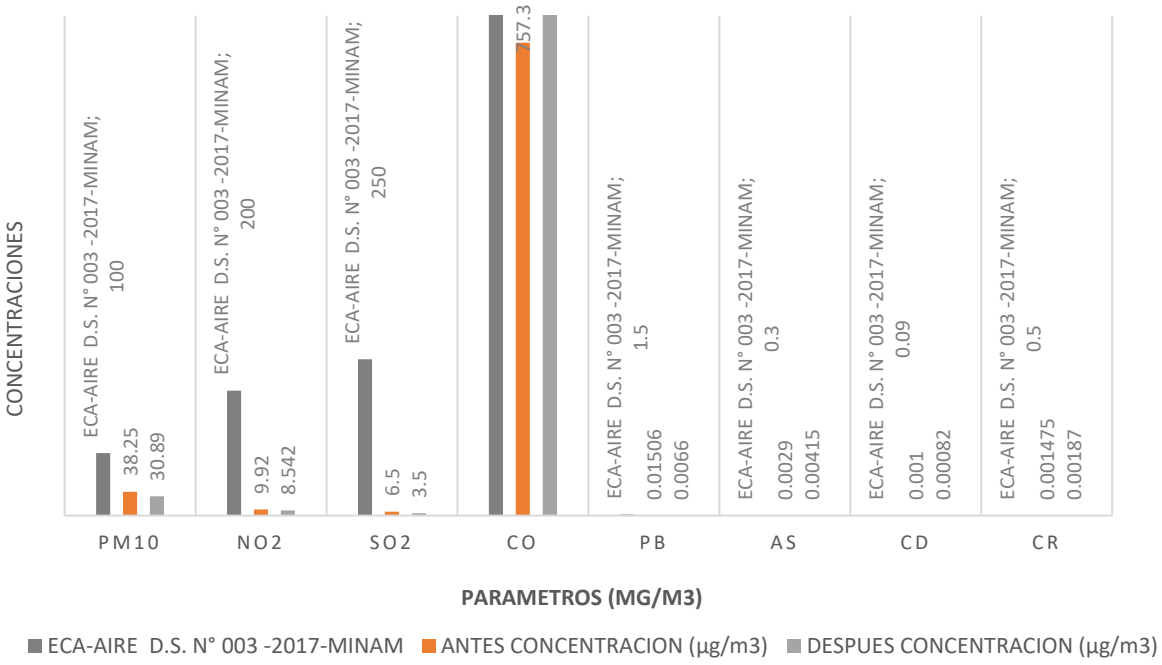
- **Objetivo específico 1: Calidad aire y emisiones**

Tabla 10
Comparación calidad de aire y emisiones

PARAMETROS (µg/m3)	**ECA-AIRE Valor ECA D.S. N° 003 - 2017-MINAM**	**CONCENTRACION (µg /m^3) Antes**	**CONCENTRACION (µg/m^3) Después**
PM_{10}	100	38.25	30.89
NO_2	200	9.92	8.542
SO_2	250	6.5	3.5
CO	10000	757.30	1027.817
Pb	1.50	0.01506	0.00660
As	0.30	0.00290	0.00415
Cd	0.09	0.001	0.00082
Cr	0.50	0.001475	0.00187

Figura 3

Comparación calidad de aire y emisiones: 2023-2025



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

El gráfico muestra las concentraciones de varios contaminantes atmosféricos en el aire, comparando los valores antes y después de la implementación del modelo de gestión ambiental en las operaciones minera Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 en relación con los Estándares de Calidad Ambiental para el Aire (ECA-AIRE) establecidos en el D.S. N° 003-2017-MINAM. Análisis de los contaminantes PM10 (Material Particulado). El valor **antes** de la intervención es significativamente más bajo que el límite permitido por la norma (38.25 µg/m³ frente a 100 µg/m³). Después de la intervención, la concentración cae más, lo que indica que la intervención ha sido efectiva. El NO2 (Dióxido de Nitrógeno) el valor antes es de (9.92) µg/m³, mientras que el límite de la norma es de 200 µg/m³, por lo que está muy por debajo del límite. Después de la intervención, la concentración es menor, lo que refleja una reducción en las emisiones. El SO2 (Dióxido de Azufre) el valor antes es 6.5 µg/m³, mientras que el límite de la norma es de 250 µg/m³. La concentración baja considerablemente después de la intervención. CO (Monóxido de Carbono): Este contaminante muestra una gran diferencia. El valor antes es bajo

(750 µg/m³), mientras que el límite (10000 µg/m³). La concentración después de la intervención es notablemente más alta (1027.817 µg/m³)., lo que muestra la efectividad de las acciones correctivas en la reducción de CO. Otros contaminantes (Pb, As, Cr, Cd). Los valores de Pb (Plomo), As (Arsénico), Cr (Cromo) y Cd (Cadmio) presentan concentraciones bajas tanto antes como después de la intervención, lo que sugiere que estos metales pesados tienen niveles controlados en la zona.

Medición del Indicador de Condición Ambiental (ICA):

La medición del Indicador de Condición Ambiental (ICA) correspondiente a la concentración de material particulado PM_{10} en el aire, en las inmediaciones de la zona de concesión minera, evidencia una variación significativa en los valores históricos y actuales registrados durante el período 2023–2025.

El cálculo del indicador se realizó mediante el promedio aritmético de las concentraciones de PM_{10} obtenidas en los monitoreos ambientales ejecutados, conforme a la siguiente expresión:

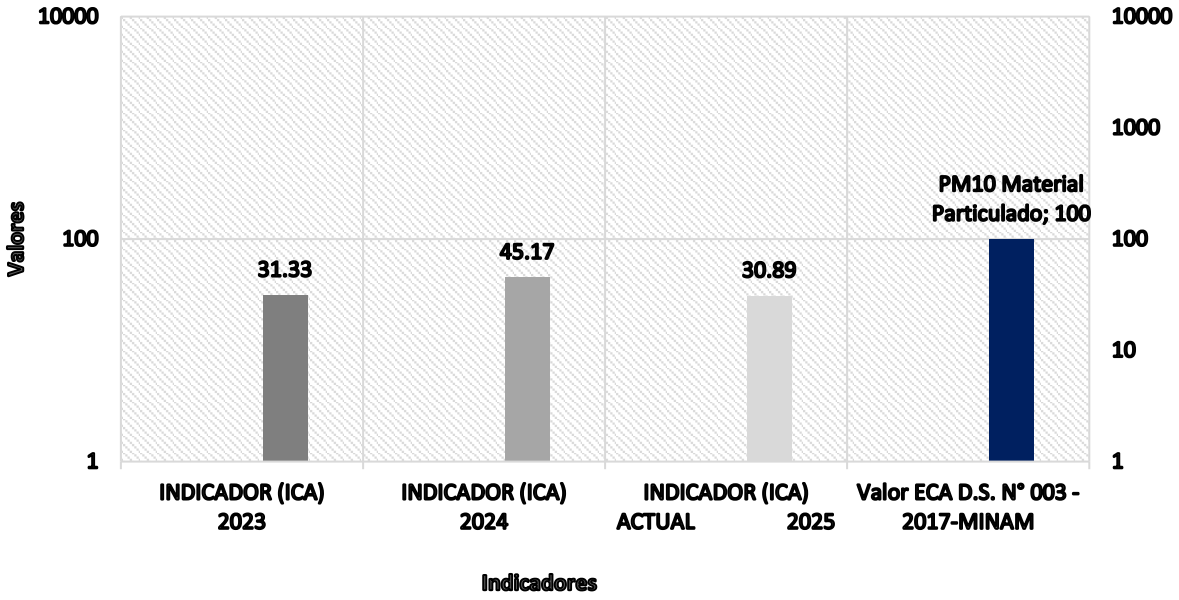
Fórmula para el Cálculo:

$$\mathbf{PM_{10} = \Sigma\ (concentración\ de\ PM_{10}) / total\ de\ monitoreos\ realizados}$$

Tabla 11
Indicador de PM10

Parámetros µg/m3	**Formulación Del indicador**	**Indicador (ICA) 2023**	**Indicador (ICA) 2024**	**Indicador ACTUAL) 2025**	**ECA-Aire D.S. N° 003 - 2017-MINAM**
Material Particulado PM_{10}	$PM10= \frac{\sum(\text{concentración PM10})}{\text{Total realizados}}$	31.33	45.17	30.9	100

Figura 4
Indicador Material Particulado (PM10)



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C.

La figura 4. muestra la evolución de la concentración promedio anual de material particulado PM_{10} registrada en la zona de influencia de las concesiones mineras durante el período 2023–2025. Se observa que en el año 2023 la concentración promedio fue de 31.33 µg/m³, manteniéndose ampliamente por debajo del Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire) establecido en 100 µg/m³ por el D.S. N.° 003-2017-MINAM.

En el año 2024, el gráfico evidencia un incremento del valor de PM_{10} hasta 45.17 µg/m³, lo cual se asocia al aumento de las actividades operativas mineras, mayor tránsito vehicular y condiciones ambientales que favorecieron la resuspensión de partículas. No obstante, dicho valor continuó dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa nacional vigente.

Para el año 2025, tras la implementación del modelo de gestión ambiental, se observa una disminución significativa de la concentración de PM_{10}, alcanzando un valor promedio de 30.89 µg/m³, incluso inferior al registrado en el año 2023. Esta reducción evidencia la

efectividad de las medidas de control ambiental implementadas, tales como el riego de vías, control de emisiones difusas y mejoras en la gestión operativa.

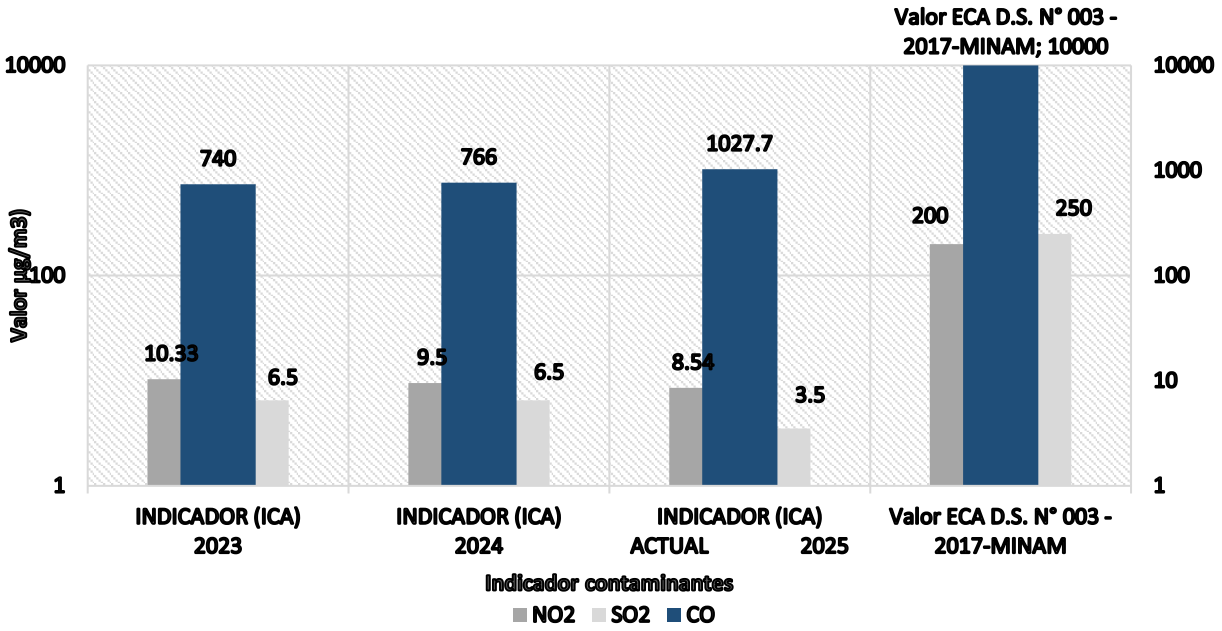
Tabla 12

Indicador de Condición Ambiental (ICA): Emisiones atmosféricas

Parámetros µg/m3	**Formulación Del indicador**	**Indicador (ICA) 2023**	**Indicador (ICA) 2024**	**Indicador (ICA) Actual 2025**	**ECA-Aire D.S. N° 003 - 2017- MINAM**
NO_2	**$NO_2 = \frac{\sum(\text{concentración N02})}{\text{Total realizados}}$**	10.33	9.50	8.54	200
SO_2	**$SO_2 = \frac{\sum(\text{concentración SO2})}{\text{Total realizados}}$**	6.5	6.5	3.5	250
CO	**$= \frac{\sum(\text{concentración CO})}{\text{Total realizados}}$**	740	766	10277	10000

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 5
Indicador Contaminantes atmosféricos



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

El valor del indicador NO2 en 2023 (10.33 µg/m³) ya es significativamente inferior al límite máximo de 200 µg/m³ según el ECA-AIRE. Lo que es importante es que se observa una disminución constante de la concentración de NO2 en los años siguientes (2024 y 2025), con una reducción de casi el 20% de 2023 a 2025. Esto indica que las políticas y acciones de control de emisiones de NO2 están siendo efectivas, contribuyendo a una mejora de la calidad del aire y reduciendo los riesgos asociados a este contaminante.

En el caso del SO2, los valores del indicador están muy por debajo del umbral máximo permitido de 250 µg/m³ según el ECA-AIRE. Los niveles registrados de 6.5 µg/m³ en 2023 y 2024 son excelentes, y lo más positivo es que para 2025 se prevé una disminución aún mayor (3.5 µg/m³), lo que indica una mejora notable en la calidad del aire. El SO2 es un contaminante que principalmente proviene de la quema de combustibles fósiles. La tendencia decreciente muestra que las políticas medioambientales y las tecnologías más limpias están logrando reducir este contaminante.

Aunque el CO sigue estando muy por debajo del límite permitido de 10,000 µg/m³, la tendencia es preocupante ya que se observa un aumento continuo en las concentraciones de CO desde 2023 hasta 2025. Este incremento es significativo, pasando de 740 µg/m³ en 2023 a 1027.7 µg/m³ en 2025. El CO es un gas tóxico que se produce principalmente por la combustión incompleta de materiales como combustibles fósiles, y un aumento en sus concentraciones puede ser un indicador de que las emisiones provenientes del entorno. Es crucial que se realicen intervenciones para controlar este aumento, ya que niveles elevados de CO pueden tener efectos adversos en la salud humana.

Tabla 13

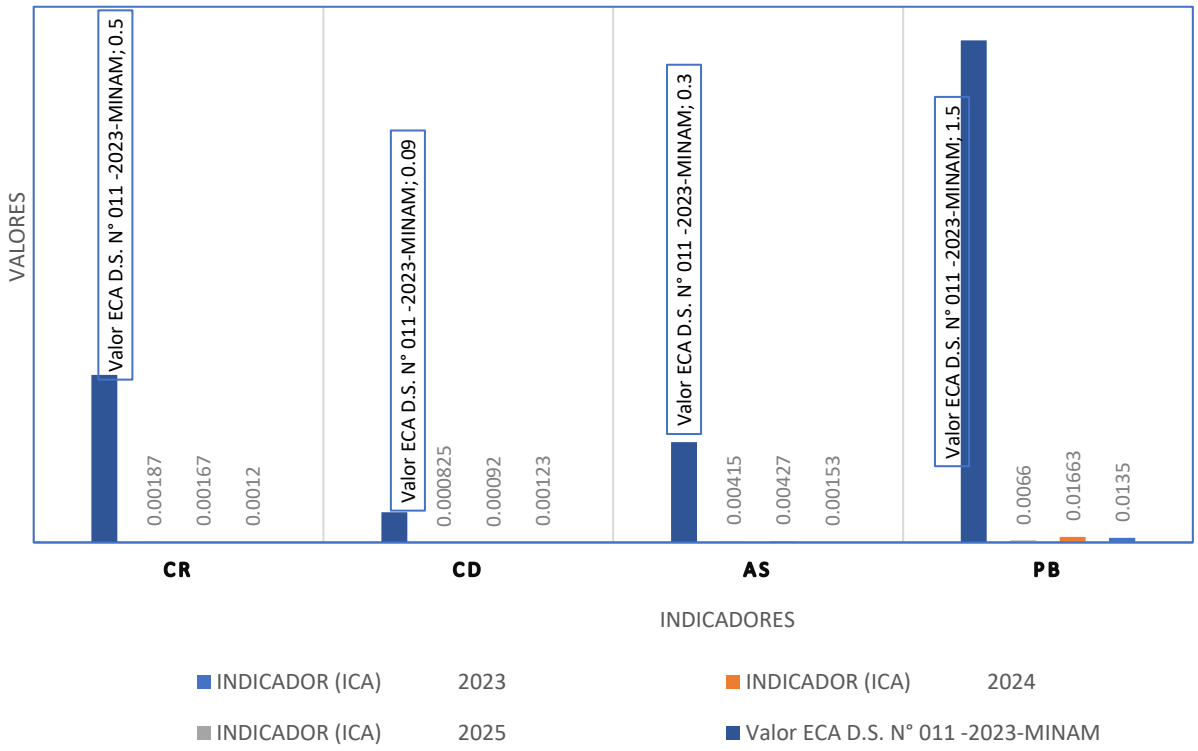
Indicador (ICA): Metales pesados en PM10

Parámetros µg/m3	**Formulación Del indicador**	**Indicador (ICA)2023**	**Indicador (ICA2024**	**Indicador (ICA)ACTUAL 2025**	**ECA-Aire D.S. N° 003 -2017-MINAM**
Plomo (Pb)	$Pb=\frac{\sum(\text{concentración Pb})}{\text{Total realizados}}$	0.0135	0.01663	0.0066	1.5µg/m3
Arsénico (As)	$As=\frac{\sum(\text{concentración As})}{\text{Total realizados}}$	0.00153	0.00427	0.00415	0.3µg/m3
Cadmio Cd)	$Cd=\frac{\sum(\text{concentración Cd})}{\text{Total realizados}}$	0.00123	0.00092	0.000825	0.09µg/m3
Cromo (Cr)	$Cr=\frac{\sum(\text{concentración Cr})}{\text{Total realizados}}$	0.0012	0.00167	0.00187	0.50 µg/m3

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 6

Indicador Metales pesados en PM10:2023-2024



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Según la figura 6. En los años 2023 y 2024, los niveles fueron bastante bajos y por debajo del límite permitido por el ECA-AIRE de 1.5 µg/m³.Para 2025, se observa una reducción significativa en la concentración de plomo, lo que indica una mejora en la calidad del aire. Esto es positivo, ya que los valores están muy por debajo del estándar de calidad ambiental. Arsénico a lo largo de los tres años analizados, los niveles se mantienen bastante bajos, pero se observa un ligero aumento en 2024 y una ligera disminución en 2025. Sin embargo, todos estos valores están muy por debajo del ECA-AIRE de 0.3 µg/m³, lo cual es una buena señal, ya que los niveles no representan un riesgo inmediato. Los valores para cadmio son extremadamente bajos en los tres años evaluados, especialmente en 2024 y 2025, donde los niveles se mantienen en valores muy cercanos a cero, valores son muy inferiores al límite de ECA-AIRE de 0.09 µg/m³,

lo que indica un buen control de las emisiones de cadmio. La tendencia muestra que no hay preocupación en cuanto a este contaminante en el aire. El nivel de cromo en 2025 muestra un leve incremento en comparación con los valores de 2023 y 2024. Sin embargo, todos los valores están muy por debajo del límite establecido de 0.50 µg/m³ según el ECA-AIRE.

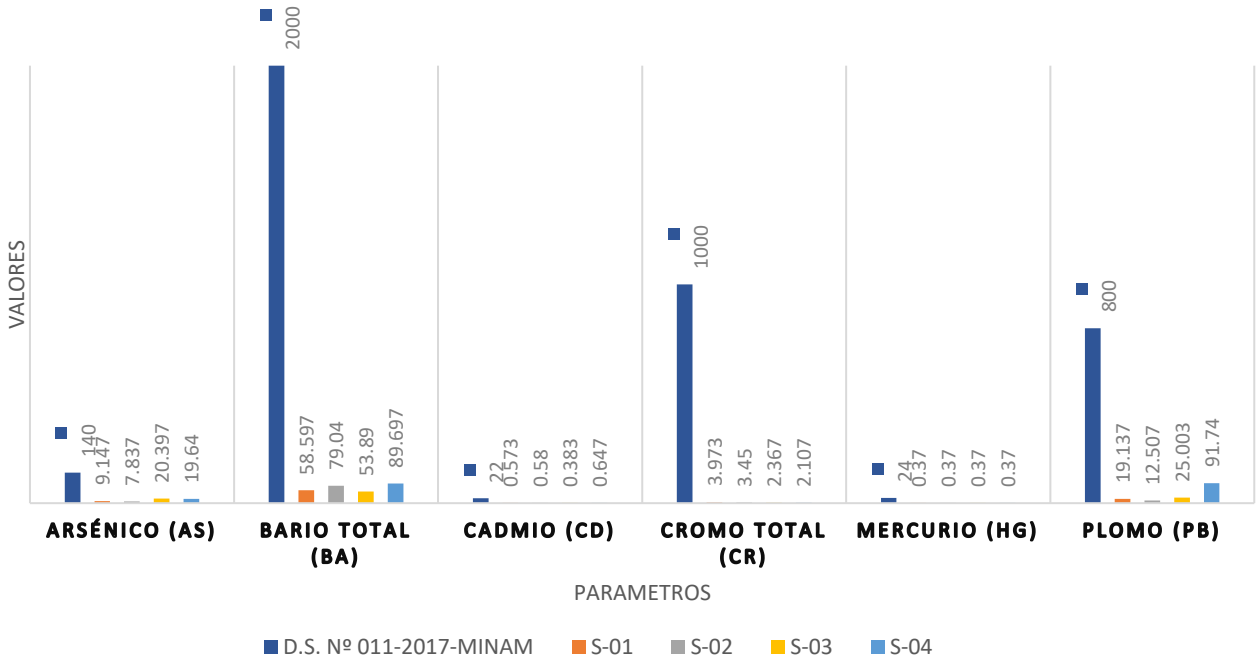
- **Objetivo Especifico 2: Calidad del suelo**

Tabla 14
Comportamiento calidad suelo 2023-2024 (antes)

PARAMETROS		**D.S.Nº 011 2017**	**S-01**	**S-02**	**S-03**	**S-04**
Arsénico (As)	mg/kg)	140	9.147	7.837	20.397	19.64
Bario total (Ba)	mg/kg)	2000	58.597	79.04	53.89	89.697
Cadmio (Cd)	mg/kg)	22	0.573	0.58	0.383	0.647
Cromo total (Cr)	mg/kg)	1000	3.973	3.45	2.367	2.107
Mercurio (Hg)	mg/kg)	24	0.37	0.37	0.37	0.37
Plomo (Pb)	mg/kg)	800	19.137	12.507	25.003	91.74

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 7
Calidad del suelo-2023-2024



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

De acuerdo con los resultados del monitoreo del 2023 – 2024. El gráfico muestra que los valores de plomo en las muestras están bajo el límite de 800 mg/kg. En particular, la muestra S-04 tiene una concentración más alta de 91.74 mg/kg, pero sigue estando por debajo del límite, lo cual es positivo. Sin embargo, la mayor concentración en S-04 podría indicar una posible fuente localizada de contaminación, que podría ser objeto de monitoreo adicional. El valor de mercurio es constante en todas las muestras (0.37 mg/kg) y está muy por debajo del límite de 24 mg/kg, lo que sugiere que no hay contaminación significativa por mercurio en las muestras de suelo. Los valores de Cromo total (Cr): Las concentraciones de cromo en todas las muestras están bajo el límite de 1000 mg/kg. Esto muestra que el suelo no está contaminado por cromo a niveles peligrosos, y las concentraciones son muy bajas en comparación con el límite establecido. El cadmio presenta concentraciones que están muy por debajo del límite de 22 mg/kg, lo que indica que este metal pesado no representa un riesgo para la calidad del suelo en

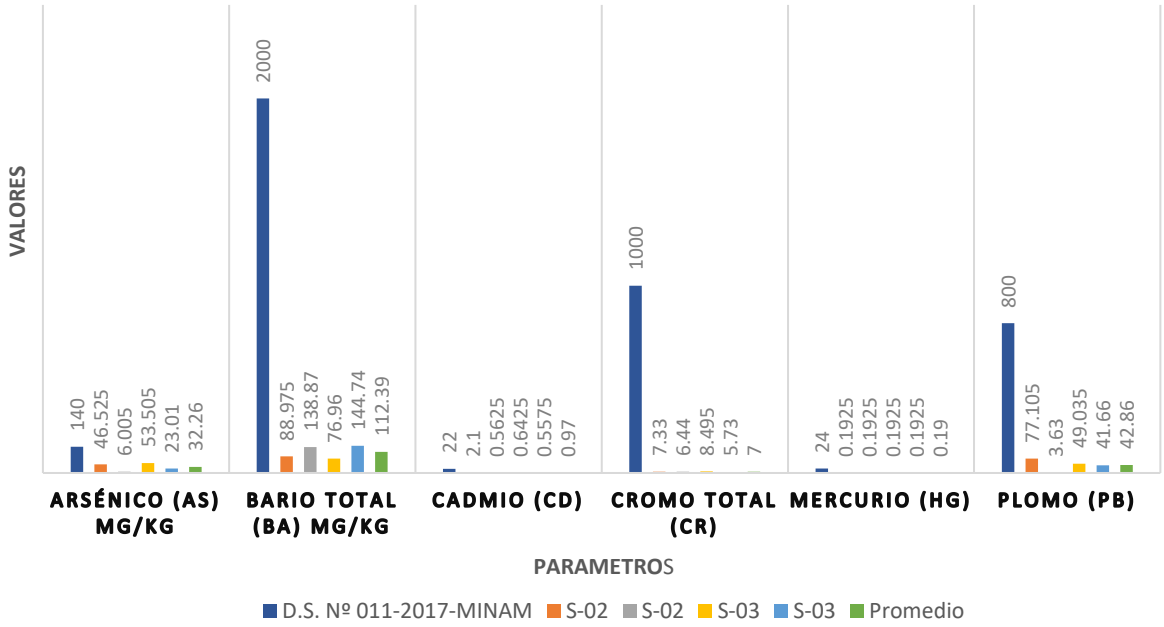
las muestras analizadas. Las concentraciones de bario están muy por debajo del límite de 2000 mg/kg, lo que también indica que no existe un riesgo de contaminación significativa por bario en el suelo. El valor de arsénico en las muestras está bajo el límite de 140 mg/kg. Los valores son muy bajos, lo que sugiere que no existe contaminación significativa por arsénico en el suelo.

Tabla 15
Calidad suelo 2025

Parámetros mg/kg	**Unidad**	**D.S. Nº 011-2017-MINAM**	**S-01**	**S-02**	**S-03**	**S-03**
Arsénico (As)	mg/kg)	140	46.525	6.005	53.505	23.01
Bario total (Ba) mg/kg	mg/kg)	2000	88.975	138.87	76.96	144.74
Cadmio (Cd)	mg/kg)	22	2.1	0.5625	0.6425	0.5575
Cromo total (Cr)	mg/kg)	1000	7.33	6.44	8.495	5.73
Mercurio (Hg)	mg/kg)	24	0.1925	0.1925	0.1925	0.1925
Plomo (Pb)	mg/kg)	800	77.105	3.63	49.035	41.66

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 8
Calidad del suelo-2025



La figura 8. correspondiente a la calidad del suelo muestra la comparación de las concentraciones de metales pesados evaluados (plomo, mercurio, cadmio, cromo, arsénico y bario) en los períodos antes (2023–2024) y después (2025) de la implementación del modelo de gestión ambiental en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006.

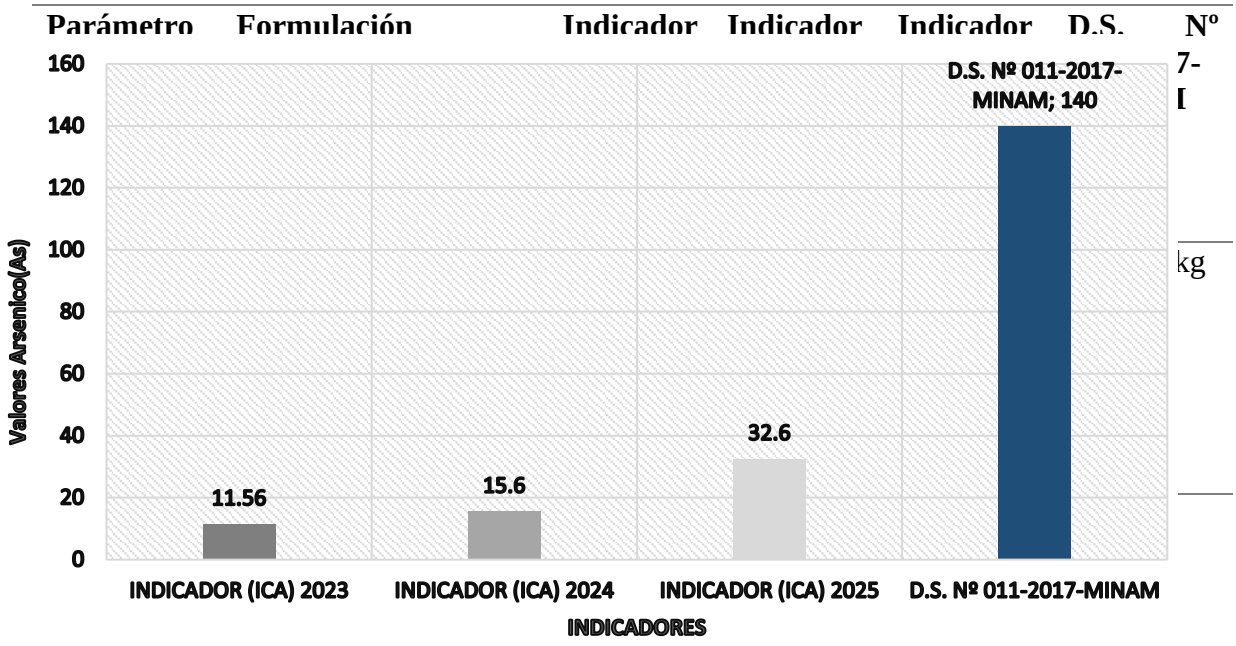
Se observa que, en ambos períodos, las concentraciones de todos los metales analizados se mantienen muy por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA-Suelo), lo que indica que el área de estudio no presenta contaminación significativa. No obstante, el gráfico evidencia que, antes de la aplicación del modelo, algunas muestras presentaban valores relativamente más elevados, especialmente en el caso del plomo, lo que reflejaba una mayor variabilidad entre puntos de muestreo.

Posterior a la implementación del modelo de gestión ambiental, el gráfico muestra una reducción y mayor uniformidad de las concentraciones, destacando una tendencia hacia la

estabilización de los valores de metales pesados. Esta disminución relativa sugiere la efectividad de las medidas preventivas, de control y seguimiento ambiental aplicadas, tales como el manejo adecuado de residuos, control de escorrentías y monitoreo sistemático del suelo. Asimismo, los niveles de mercurio, cadmio, cromo, arsénico y bario presentan barras con diferencias mínimas entre ambos períodos, lo que confirma que estos elementos no representan un riesgo ambiental y que el modelo contribuyó al mantenimiento de condiciones ambientales seguras.

Tabla 16
Indicador (ICA) Metales pesados : Arsénico(As)

Figura 9
Indicador (ICA) Metales pesados : Arsénico(As)



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Según la figura 9. Los indicadores ICA para arsénico muestran una tendencia de aumento a lo largo de los tres años, pero los valores se mantienen muy bajos en comparación

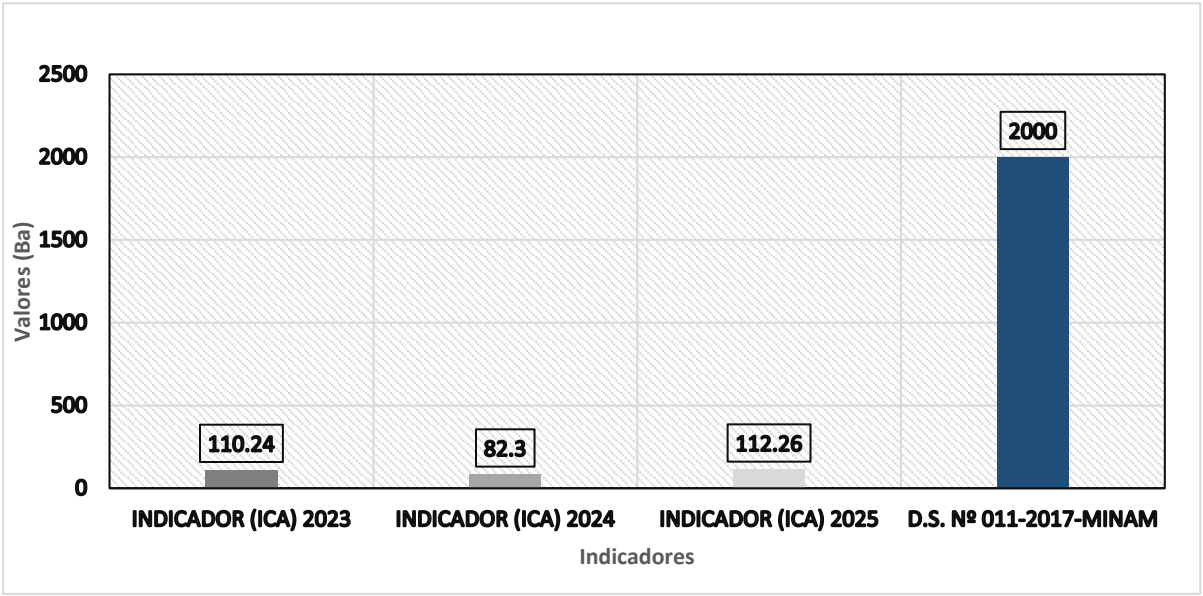
con el límite crítico. Esto asegura que no hay contaminación significativa de arsénico en el suelo.

Tabla 17
Indicador (ICA) Metales pesados : Bario(Ba)

Parámetros en mg/kg	Formulación Indicador	Indicador (ICA) histórico 2023	indicador (ICA) histórico 2024	indicador (ICA) actual 2025	D.S Nº 011-2017-MINAM
Bario (Ba)	**Concentración =** $\frac{\sum(\text{Concentración de contaminante Ba})}{\text{Número de muestra}}$	110.24	82.30	112.26	2000

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 10
Indicador (ICA) Metales pesados Bario(Ba)



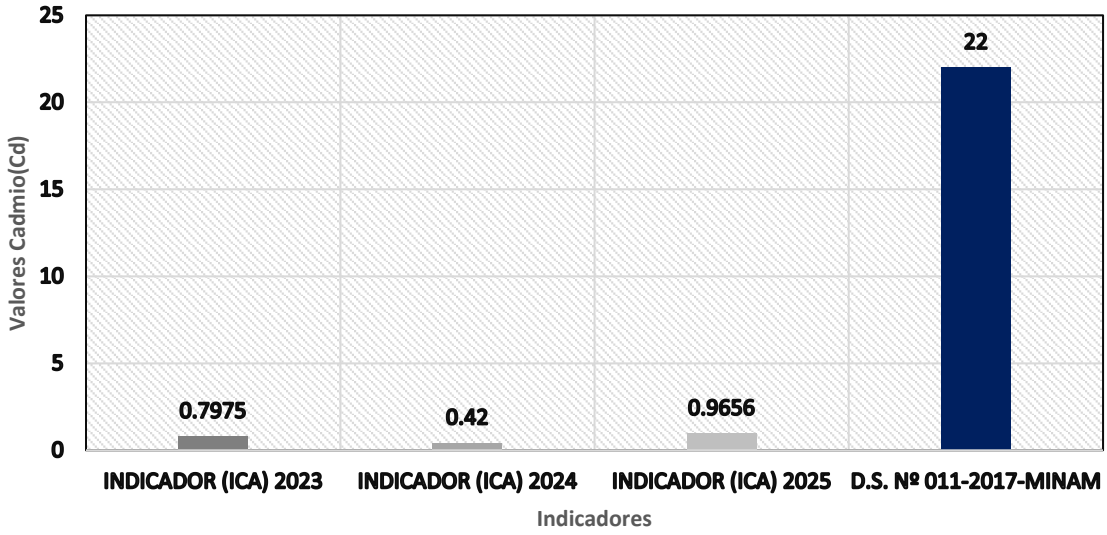
La figura 10, los indicadores ICA para bario en 2023, 2024 y 2025 muestran una tendencia estable y segura. La concentración de bario en el suelo se mantiene muy por debajo del límite máximo permitido por el D.S. N° 011-2017-MINAM Suelo, lo que asegura que no hay contaminación significativa. A pesar del ligero aumento en 2025, los niveles siguen siendo

bajos y no se consideran peligrosos, lo que refleja que la calidad del suelo en cuanto a este contaminante es muy buena.

Tabla 18
Indicador (ICA) Metales pesados : Cadmio(Cd)

Parámetros en mg/kg	Formulación Indicador	Indicador (ICA) Histórico 2023	Indicador (ICA) Histórico 2023-2024	Indicador (ICA) actual 2025	D.S. Nº 011-2017-MINAM
Cadmio (Cd)	**Concentración= ∑(Concentración de contaminante Cd) Número de muestra**	0.7975	0.42	0.9656	**22 mg/kg**

Figura11
Indicador (ICA) Metales pesados : Cadmio(Cd



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.

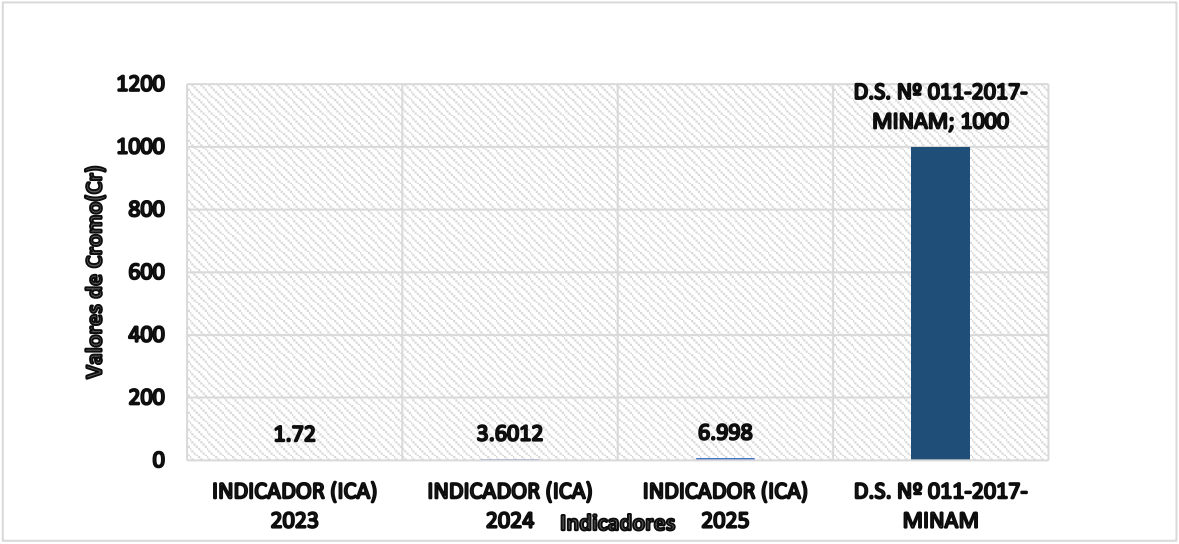
La figura 11, los indicadores ICA para cadmio en 2023, 2024 y 2025 muestran una tendencia estable y segura. La concentración de cadmio en el suelo se mantiene muy por debajo del límite máximo permitido por el D.S. N° 011-2017-MINAM Suelo, lo que asegura que no

hay contaminación significativa. Lo que refleja que la calidad del suelo en cuanto a este contaminante es muy buena.

Tabla 19
Indicador (ICA) Metales pesados : Cromo(Cr)

Parámetros en mg/kg	Formulación indicador	Indicador (ICA) Histórico 2023	Indicador (ICA) Histórico 2023-2024	Indicador (ICA) actual 2025	D.S. Nº 011-2017-MINAM
Cromo total Cr)	**Concentración= ∑(Concentración de contaminante Cr) / Número de muestra**	1.72	3.6012	6.998	1000 mg/kg

Figura 12
Indicador (ICA) Metales pesados : Cromo total (Cr)



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

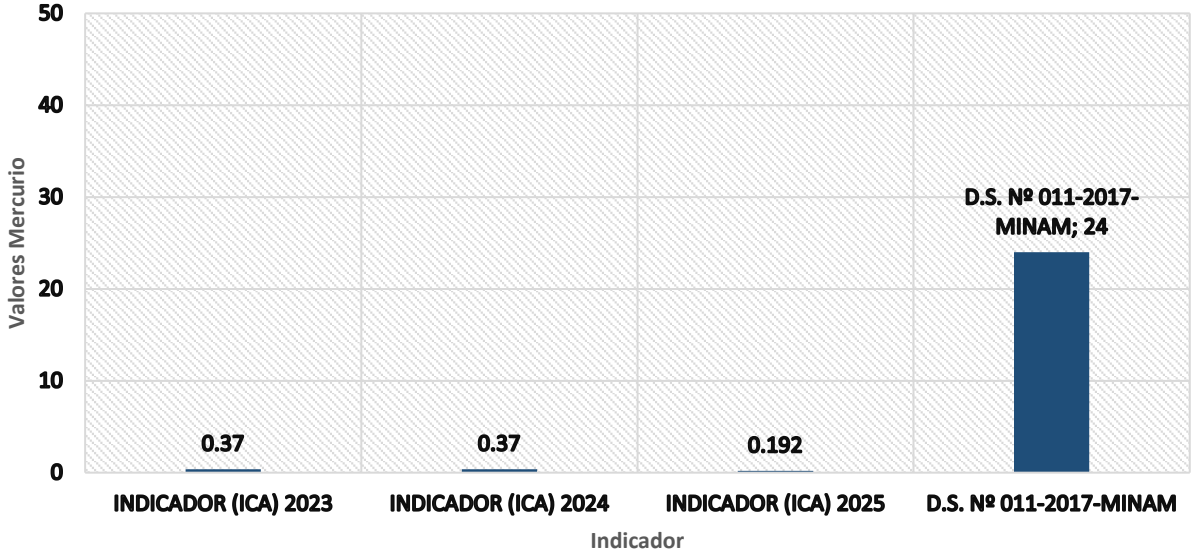
La figura 12. Los valores de cromo totales en el suelo en 2023, 2024 y 2025 están muy por debajo del límite establecido de 1000 mg/kg. Esto significa que no hay riesgo significativo de contaminación por cromo en el suelo. Aunque se observa un aumento progresivo de las concentraciones de cromo a lo largo de los tres años, los niveles siguen siendo bajos y seguros. El aumento no representa un riesgo inmediato para la salud humana ni para el medio ambiente. La tendencia es positiva, ya que las concentraciones siguen dentro de los niveles seguros, lejos de los límites establecidos, lo que muestra que el suelo no está afectado por una contaminación preocupante.

Tabla 20

Indicador (ICA) Metales pesados : Mercurio (Hg)

Parámetro en mg/kg	Formulación Indicador	Indicador (ICA) Histórico 2023	Indicador (ICA) Histórico 2023-2024	Indicador (ICA) actual 2025	D.S. Nº 011-2017-MINAM
Mercurio (Hg)	$\text{Concentración} = \frac{\sum(\text{Concentración de contaminante Hg})}{\text{Número de muestra}}$	0.37	0.37	0.192	24mg/kg

Figura 13
Indicador (ICA) Metales pesados : Mercurio (Hg)



Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

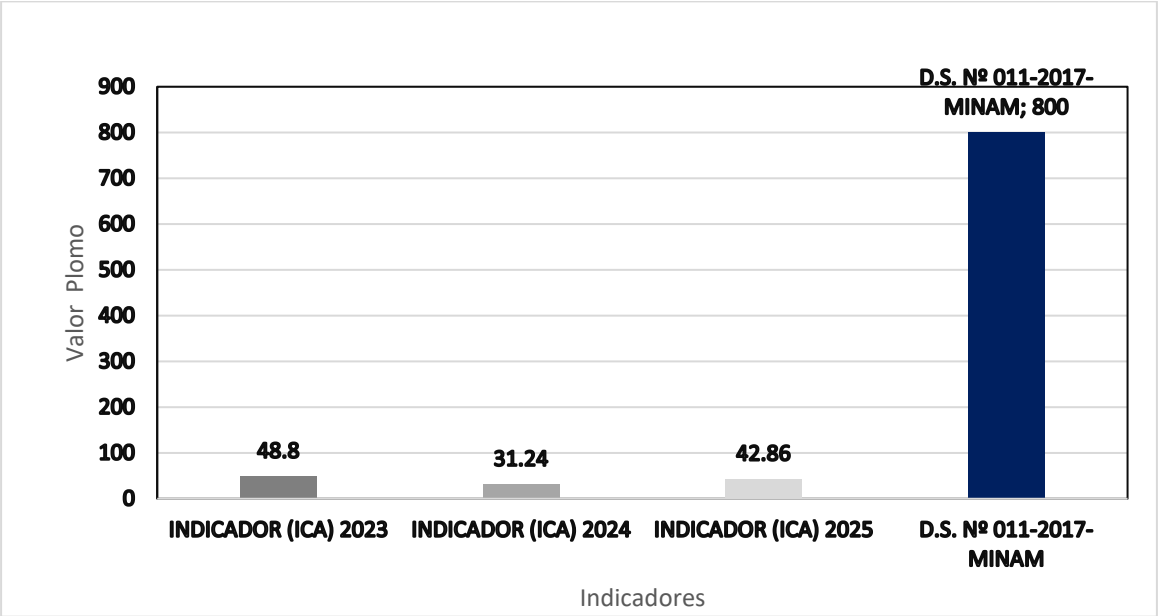
En la figura 13. Los indicadores ICA para mercurio muestran que los valores están muy lejos de los límites críticos, por lo que no hay riesgo de contaminación. La calidad del suelo es adecuada y los valores de mercurio siguen dentro de los límites seguros establecidos por la normativa**.**

Tabla 21
Indicador (ICA) Metales pesados : Plomo(Pb)

Parámetros en mg/kg	**Formulación Indicador**	**Indicador (ICA) Histórico 2023**	**Indicador (ICA) histórico 2023-2024**	**Indicador (ICA) actual 2025**	**D.S. Nº 011-2017-MINAM**
Plomo (Pb)	**Concentración= ∑(Concentración de contaminante Pb) / Número de muestra**	48.8	31.24	42.86	800mg/kg

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 14
Indicador (ICA) Metales pesados : Plomo(Pb)



En la figura 14. Los indicadores ICA para plomo muestran que la concentración se mantiene muy baja en los tres años evaluados, lo que indica una baja contaminación por plomo en el suelo. Los valores siguen estando muy por debajo del umbral crítico, lo cual es positivo y asegura que el suelo no representa un riesgo de contaminación por plomo.

- **Objetivo específico 3. Calidad de ruido ambiental**

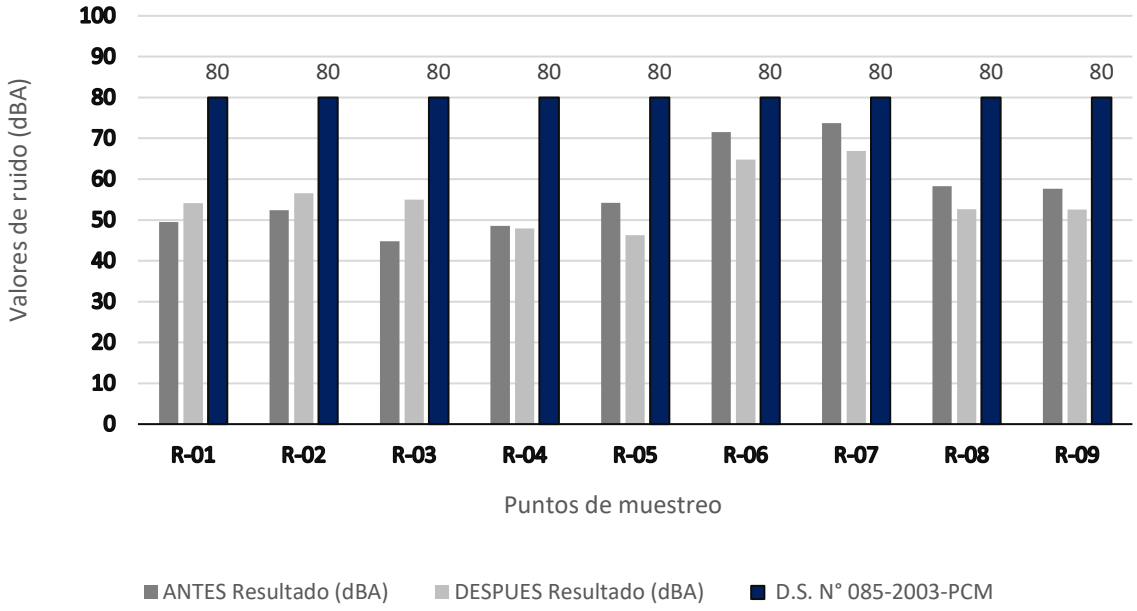
Tabla 22
Comparativo ruido diurno 2023-2025

Punto de muestreo	ECA- Ruido (dB)-LA eqt D.S. N° 085-2003-PCM	antes	después
		Resultado(dBA)	Resultado (dBA)
R-01	80.0 dB	49.50	54.10
R-02	80.0 dB	52.43	56.55
R-03	80.0 dB	44.80	54.95
R-04	80.0 dB	48.53	47.95
R-05	80.0 dB	54.23	46.30

R-06	80.0 dB	71.53	64.80
R-07	80.0 dB	73.73	66.90
R-08	80.0 dB	58.27	52.65
R-09	80.0 dB	57.62	52.525

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 15
Comparativo Ruido diurno 2023-2025



Los niveles de ruido medidos antes de la intervención muestran valores que oscilan entre 44.8 dBA (R-03) y 71.53 dBA (R-06), lo que indica que en algunas áreas las mediciones están cerca o superan el límite de 80 dBA.

Las mediciones en R-06 (71.53 dBA) y R-07 (73.73 dBA) están relativamente cerca del límite de 80 dBA, lo que sugiere que estas áreas podrían estar experimentando niveles elevados de ruido, especialmente si no se realizan acciones para reducirlo. Los niveles de ruido después de la intervención muestran una reducción en la mayoría de las ubicaciones. Los valores ahora oscilan entre 46.3 dBA (R-05) y 64.21 dBA (R-06), lo que indica que, en general, los niveles de ruido han disminuido después de la intervención, con valores mucho más cercanos al límite

de 80 dBA. La medición en R-06 sigue siendo la más alta (64.21 dBA), pero está dentro de un rango más aceptable comparado con las mediciones anteriores.

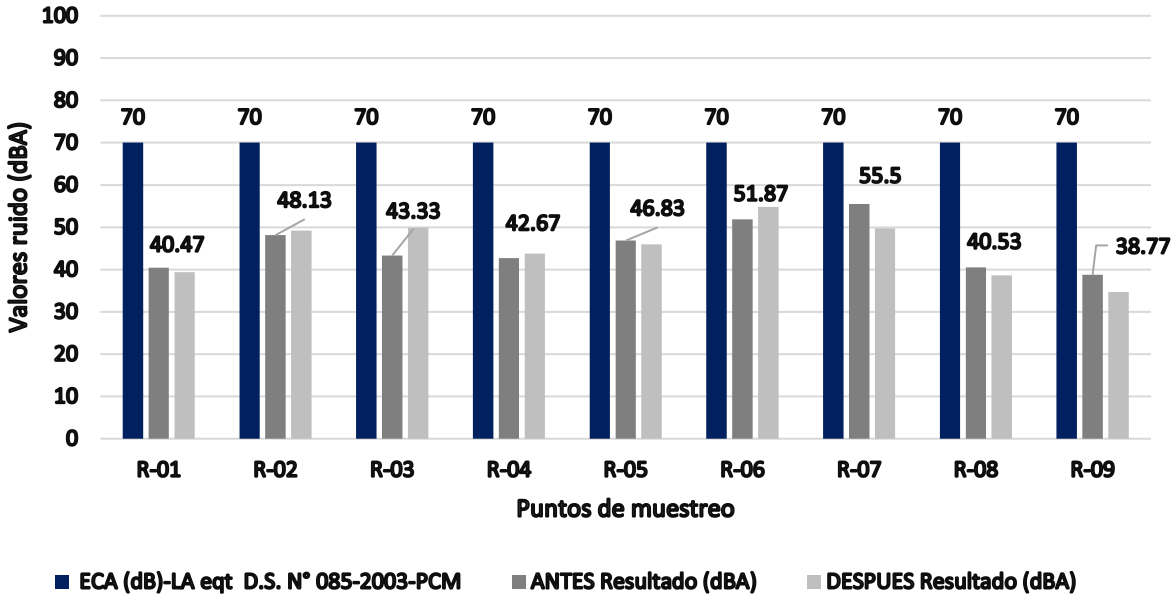
Tabla 23
Comparativo ruido nocturno 2023-2025

Punto de muestreo	**Valor ECA (dB)-LA eqt D.S. N° 085-2003-PCM**	**Antes**	**Después**
		Resultado (dBA)	Resultado (dBA)
R-01	70.0 dB	40.47	39.4
R-02	70.0 dB	48.13	49.2
R-03	70.0 dB	43.33	49.9
R-04	70.0 dB	42.67	43.75
R-05	70.0 dB	46.83	45.95
R-06	70.0 dB	51.87	54.8
R-07	70.0 dB	55.50	49.75
R-08	70.0 dB	40.53	38.65
R-09	70.0 dB	38.77	34.65

Nota: Del reporte de monitoreo Minera Caracol S.A.C

Figura 16

Comparación Ruido nocturno 2023-2025



De acuerdo con la figura 16 respecto, al ruido nocturno tenemos:

R-01 a R-03:

- Los valores de ruido en estas ubicaciones, tanto antes como después de la intervención, están por debajo del límite de 50 dBA (en el caso de las mediciones de 2024 y 2025, los niveles de ruido se mantienen dentro de los límites normativos).En estas ubicaciones, no se observan grandes problemas de ruido.

R-04 a R-06:

- En R-04, los valores de ruido antes de la intervención están muy cerca de 50 dBA, lo que podría generar cierta preocupación, ya que está cerca del límite permitido.
- R-05 y R-06 muestran niveles de ruido más elevados (en torno a los 60-70 dBA antes de la intervención), lo que indica que en estas zonas existe un impacto más significativo en cuanto al ruido. Después de la intervención, se observa una reducción significativa de los niveles de ruido en R-06 (que baja de 70 dBA a alrededor de 50 dBA). Esto es positivo y

sugiere que las acciones tomadas para reducir el ruido han tenido un efecto notable en esta zona.

R-07 a R-09:

- Las zonas R-07 y R-08 muestran niveles de ruido que superan los 50 dBA en las mediciones antes de la intervención, lo que está fuera de los límites permitidos.
- R-09, por su parte, también muestra una medición de ruido superior a 50 dBA antes de la intervención, lo que podría estar afectando la calidad de vida en esta zona. En todos estos casos, después de la intervención, se observa una disminución en los niveles de ruido, acercándose al límite de 50 dBA, lo cual es positivo.

- **CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

Hipótesis General*:*

- El modelo de gestión ambiental ha tenido un impacto positivo y mejorando los impactos ambientales generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar durante el año 2025, durante el año 2025, en cuanto a calidad del aire, calidad del suelo y ruido. La hipótesis general puede considerarse confirmada.

Hipótesis específica 1

- Los resultados confirman que la implementación del modelo de gestión ambiental tuvo un impacto positivo y significativo en la reducción de contaminantes atmosféricos generados por la actividad minera en concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar durante el año 2025.Por tanto, se acepta la hipótesis específica.
-

Hipótesis específica 2

- En función de los resultados obtenidos y su comparación con los ECA-Suelo, se acepta la hipótesis específica, concluyéndose que el modelo de gestión ambiental mejora significativamente la calidad del suelo generado por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar durante el año 2025.

Hipótesis específica 3

- En función de los resultados obtenidos y su comparación con los ECA-Ruido vigentes, se acepta la hipótesis específica, concluyéndose que el modelo de gestión ambiental mejora significativamente los niveles de ruido generados por la actividad minera en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar durante el año 2025.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

- Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación del modelo de gestión ambiental tuvo un impacto positivo y significativo en la mejora de la calidad ambiental en las concesiones mineras evaluadas. La comparación de los indicadores ambientales antes (2023–2024) y después (2025) de la implementación del modelo muestra una reducción sostenida de contaminantes**,** así como el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por la normativa nacional. Estos hallazgos coinciden con estudios Durand (2024) y Otazú (2019), quienes destacan que la aplicación temprana y estructurada de herramientas de gestión ambiental para mejorar el desempeño ambiental y reduce sanciones y sobrecostos. En ese sentido, el modelo aplicado demostró ser una herramienta viable para fortalecer el desempeño ambiental del sector minero, particularmente en contextos de pequeña y mediana minería.

- La evaluación del material particulado PM_{10} evidencia una mejora significativa en la calidad del aire durante el año 2025, registrándose una disminución del indicador ICA respecto a los valores históricos de 2023 y 2024. Si bien en 2024 se observó un incremento en las concentraciones de PM_{10}, en 2025 estas se redujeron notablemente, situándose muy por debajo del valor máximo permitido por el ECA-Aire. Esta reducción puede atribuirse a la implementación de medidas de control contempladas en el modelo de gestión ambiental, tales como riego de vías, el control del polvo en zonas de operación y el mantenimiento de maquinaria. Resultados diferentes han sido reportados Garcia & Rodriguez (2023) en su estudio sobre calidad del aire, los resultados fueron: 120.5 μg/m3 de PM10, 0.01 μg/m3 de

arsénico, 0.21 µg/m3 de plomo, 93.76 µg/m3 de CO, 4.17 µg/m3 de NO2, 13.80 µg/m3 de SO2, 0.0020 µg/m3 de H2S, 12.50. donde la gestión preventiva y el control operativo lograron disminuir la dispersión de material particulado en zonas mineras.

- Los resultados del monitoreo de suelos muestran que las concentraciones de metales pesados (plomo, cadmio, cromo, mercurio, arsénico y bario) se mantienen muy por debajo de los límites máximos permisibles, tanto antes como después de la aplicación del modelo de gestión ambiental. No obstante, en el año 2025 se observa una mayor estabilidad y homogeneidad en las concentraciones, lo que indica un control más eficiente de las fuentes potenciales de contaminación.

- La comparación de los niveles de ruido antes y después de la implementación del modelo evidencia una reducción significativa de los niveles sonoros, especialmente en zonas operativas cercanas a áreas sensibles. En el año 2025, los valores registrados se mantuvieron dentro de los límites establecidos por los ECA-Ruido, lo cual refleja una mejora en el control del impacto acústico. Investigaciones similares señalan que la gestión del ruido en actividades mineras depende en gran medida de la planificación operativa y del compromiso del personal, aspectos que fueron fortalecidos mediante el modelo de gestión ambiental aplicado.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se concluye que el modelo de gestión ambiental implementó mejoró significativamente los impactos ambientales causados por las actividades mineras en las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006 – Supe/Ámbar en el año 2025, mostrando un mejor desempeño ambiental en los componentes evaluados (aire, suelo y ruido), así como el cumplimiento sostenido de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por la legislación vigente.

- Se concluye que el modelo de gestión ambiental contribuyó significativamente a la mejora de la calidad del aire, reflejada en la disminución de las concentraciones de material particulado (PM_{10}) y otros contaminantes atmosféricos, manteniéndose por debajo de los límites permisibles. Esta mejora se asocia a la aplicación de controles operacionales, mantenimiento de equipos y gestión adecuada de vías y materiales.
- Se concluye que la implementación del modelo de gestión ambiental mejoró y preservó la calidad del suelo, manteniendo las concentraciones de metales pesados evaluados muy por debajo de los ECA-Suelo. Asimismo, se observó una reducción de la variabilidad entre puntos de muestreo, lo que evidencia un mejor control de las actividades mineras y un enfoque preventivo eficaz.

- Se concluye que el modelo de gestión ambiental redujo de manera significativa los niveles de ruido ambiental, manteniéndolos por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental

para Ruido. La implementación de buenas prácticas operativas y medidas de control acústico permitió minimizar las molestias a la población y a los ecosistemas cercanos.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda la aplicación del modelo de gestión ambiental a todas las actividades del proceso de las concesiones mineras Caracolito I 2005 y Caracolito II 2006, para asegurar su integración en la planificación y operación, la toma de decisiones y los procesos de mejora continua, con el fin de consolidar los avances logrados en la reducción de impactos ambientales y garantizar la sostenibilidad de la actividad minera a largo plazo.
- Se recomienda reforzar las medidas de control de emisiones atmosféricas, tales como el riego permanente de vías, el control de polvo en zonas de carga y transporte, y el mantenimiento preventivo de maquinaria, a fin de reducir de manera sostenida las concentraciones de material particulado. Asimismo, se sugiere incorporar tecnologías de monitoreo continuo de calidad del aire, que permitan evaluar en tiempo real el desempeño ambiental y facilitar la toma de decisiones oportunas.
- Se recomienda mantener y ampliar el programa de monitoreo de calidad de suelo**,** priorizando las zonas con antecedentes de mayores concentraciones de metales pesados, con la finalidad de prevenir procesos de acumulación a largo plazo. Asimismo, se sugiere aplicar medidas de manejo y remediación preventiva del suelo, control de residuos y recuperación progresiva de zonas afectadas.
- Se recomienda optimizar la gestión del ruido ambiental**,** estableciendo límites operacionales internos más estrictos que los ECA-Ruido, regulando los horarios de operación y reforzando el uso de barreras acústicas y capacitar de forma periódica al personal operativo en buenas prácticas para la reducción de ruido, fomentando una cultura de prevención y control ambiental.

REFERENCIAS VII

7.1 Fuentes bibliográficas

Arriagada, A. (2019). *Fiscalización ambiental en la minería chilena: avances y desafíos*. Revista de Derecho Ambiental, 12(2), 45–67

Avalos Ortecho, Edilberto Miguel (2018) Modelo de mejora ambiental para la producción más limpia de cobre, y su influencia en la gestión empresarial con ecuaciones estructurales Industrial Data, vol. 21, núm. 2, 2018, Julio-, pp. 63-72 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Perú.

Banco Mundial. (2022). *Sustainable mining and climate resilience: Opportunities in Latin America*. World Bank Group.

Bebbington, A., & Humphreys, D. (2018). *Mining, social conflicts, and sustainable development in the Andes*. World Development, 106, 400–412.

Castillo Mucho, Roxana Magaly (2025) Diagnóstico de la cultura ambiental y su impacto en la gestión de residuos sólidos en la Municipalidad Provincial San Román, Juliaca – 2025 URI: http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/1619

Damaris Gallardo-Martínez, Noel Bruguera-Amaran , José A. Díaz-Duque, José Francisco Lastra-Rivera, José Alberto Pons-Herrera[5]Modelo de gestión ambiental integral para la actividad minero-metalúrgica en yacimientos sulfurosos de Santa Lucía, Pinar del Río

Delgado, J., & Flores, M. (2019). *Cumplimiento ambiental en la minería peruana: análisis crítico del SEIA*. Revista de Gestión Ambiental, 7(1), 20–34.

Esmeralda Mery Mamani Mamani (2022) Implementación del sistema de gestión ambiental para la empresa minera Baltimori, según la normativa ISO 14001 para optar el título profesional de: Ingeniero ambiental Puno – Perú 2022

Estudio de caso del IGF: Gestión de residuos mineros estudios de caso de Ghana y Canadá https://www.iisd.org/publications/brief/igf-case-study-mine-waste-management

Franks, D. M., Davis, R., Bebbington, A., Ali, S. H., Kemp, D., & Scurrah, M. (2014). *Conflict translates environmental and social risks into business costs*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(21), 7576–7581.

Giovanna Durand Caballero (2024) Influencia de las Herramientas de Gestión Ambiental en la Etapa de Planeamiento sobre los Indicadores de Desempeño Ambiental en Proyectos Mineros Tesis para obtener el grado académico de Maestra en Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones.

García Comun, Rummenigee Ulrich & Rodriguez Ramos, Lizbeth Teresa(2023) su investigación Impacto de la actividad minera sobre la calidad del aire en el Distrito de Morococha - Oroya - Junin, 2017-2018http://hdl.handle.net/20.500.12894/9861

Heras-Saizarbitoria, I., Arana, G., & Boiral, O. (2020). *ISO 14001 and environmental performance: A meta-analysis*. Business Strategy and the Environment, 29(3), 1145–1163.

hi, F., Cao, H., Wang, C. y Yao, C. (2020). Un modelo de dinámica de sistemas para la gestión ambiental ecológica en áreas mineras de carbón en China. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, *17*(6), 2115. https://doi.org/10.3390/ijerph17062115

Hilson, G., & Murck, B. (2020). *Sustainable mineral development and environmental management*. Resources Policy, 65, 101–129.

IGF Secretariat (hosted by IISD). (2020). IGF guidance for governments: Environmental management and mining governance. IGF / IISD.

International Institute for Sustainable Development (IISD) / IGF. (2024). Strategic environmental assessment for the mining sector: Lessons from country case studies. IISD.

International Institute for Sustainable Development (IISD) / Intergovernmental Forum on Mining (IGF). (2021). Mine water management: Case studies from Mongolia and Chile. IISD / IGF.

Liu, Q., et al. (2023). Evaluation and empirical research on green mine construction: analytic hierarchy process approaches. Resources Policy / Journal of Political Ecology.

Max Schwarz B&G Engineering S.A.C. Gestión ambiental aplicada al planeamiento de proyectos mineros Ingeniería Industrial, núm. 29, 2011, pp. 101-123 Universidad de Lima

Melina Mercedes Curi Prado(2019) La auditoría ambiental y la gestión de las empresas del sector minero de las regiones Junín y Cajamarca 2016-2017 https://hdl.handle.net/20.500.12727/4097

MINAM. (2009). *Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental*. D.S. N.° 019-2009-MINAM.

MINEM. (2014). *Reglamento para el Cierre de Minas*. D.S. N.° 040-2014-EM.

Mostacero Marín, C. P. (2025). Implementación del instrumento de gestión ambiental y fiscalización para la formalización de minera en la mina La Luminosa en el distrito de Sorochuco–Cajamarca.

OEFA. (2023). *Informe anual de fiscalización ambiental en minería*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental del Perú.

OTAZÚ MEJÍA, José Miguel (2019) Planteamiento de una metodología de sostenibilidad para disminuir el incumplimiento de los planes de gestión ambiental en empresas mineras. trabajo de investigación para optar el grado académico de magíster en regulación, gestión y economía minera

Paredes Castro, A. S., Estrada Vega, G., & Chávez Vera, K. J. (2025). Gestión ambiental y desempeño financiero de compañías mineras peruanas. https://doi.org/10.5281/zenodo.17058006

Pérez, L., & Rojas, C. (2021). *Gestión ambiental minera en Colombia: avances normativos y retos de implementación*. Revista Jurídica, 18(35), 89–112.

Pretell Del Rio, M. Y. (2019). Diseño del sistema de gestión ambiental para minimizar los impactos ambientales significativos en la Empresa Agroindustrias Supe SAC–Supe 2019. http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3459

Sun, J., et al. (2024). Sustainable development in green mining and technological pathways for ecological restoration. Sustainability, 16(22).

Villalobos, G. (2020). *La minería en México y su marco regulatorio ambiental*. estudios sociales, 28(52), 1–23.

Yang, W., Xue, M., Wang, Y., Long, T., Deng, S., Deng, B., & Fang, N. (2023). Evaluation of enterprise green mine construction based on DPSIR model. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(6), 4932. https://doi.org/10.3390/ijerph20064932

ICMM. (2020). *Performance expectations: Environmental stewardship in mining*. International Council on Mining and Metals.

ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018 – Integrating sustainability into management systems. International Organization for Standardization.

SENACE. (2021). *Guía para la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros*. Lima: SENACE.

ANEXOS

ANEXO 1.

Cuadro comparativo de normas ambientales aplicables a la minería en el Perú

Norma	Año / Decreto	Objetivo principal	Relevancia en la actividad minera
Ley N.° 28611 – Ley General del Ambiente	2005	Establece principios de prevención, sostenibilidad, participación ciudadana y responsabilidad ambiental.	Base de toda la gestión ambiental en minería, obliga a prevenir impactos y reparar daños.
Ley N.° 27446 – SEIA (Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental)	2001	Regula la evaluación de impacto ambiental a través de EIA y otros instrumentos.	Obliga a contar con EIA aprobados antes de operar concesiones mineras.
D.S. N.° 016-93-EM – Reglamento de Protección Ambiental en Actividad Minero-Metalúrgica	1993	Controla emisiones, efluentes y residuos en operaciones minero-metalúrgicas.	Regula el desempeño ambiental de minas en operación.
D.S. N.° 046-2001-EM – Reglamento de Protección Ambiental para Exploración Minera	2001	Establece medidas de protección ambiental en fase de exploración.	Evita impactos tempranos (deforestación, contaminación de aguas superficiales).
Ley N.° 28271 – Ley de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera	2004	Define responsabilidades de titulares y del Estado frente a pasivos ambientales.	Obliga a identificar y remediar pasivos ambientales mineros.
D.S. N.° 028-2008-EM – Reglamento de Pasivos Ambientales Mineros	2008	Regula la clasificación, registro y gestión de pasivos.	Instrumento clave para mitigar riesgos de minas abandonadas.
Ley N.° 29325 – Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA)	2009	Crea el sistema nacional de fiscalización y encarga al OEFA la supervisión.	Garantiza la fiscalización y sanción de infracciones ambientales.
D.S. N.° 015-2012-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	2012	Define límites de calidad para el agua en cuerpos receptores.	Controla vertimientos y protege cuencas hídricas.
D.S. N.° 085-2003-PCM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire	2003	Regula calidad del aire por emisiones industriales y mineras.	Previene contaminación atmosférica y riesgos a la salud.
D.S. N.° 011-2017-MINAM – Límites Máximos Permisibles (LMP) en minería	2017	Define límites máximos de metales y cianuro en efluentes líquidos.	Controla descargas contaminantes de minas hacia cuerpos de agua.
D.S. N.° 010-2010-MINAM – Reglamento de Participación Ciudadana en Asuntos Ambientales	2010	Establece mecanismos de consulta y participación ciudadana.	Fortalece transparencia y reduce conflictos socioambientales.
D.S. N.° 040-2014-EM – Reglamento para el Cierre de Minas	2014	Obliga a planes de cierre progresivo y final de minas.	Garantiza restauración ambiental y reduce pasivos futuros.

ANEXO 2

HOJA DE CÁLCULO INDICADOR (ICA)

	Concentración PM10 semestral= $\frac{\sum(\text{concentración PM10})}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración PM10 = $\frac{35+28+31}{3}$ = 31.33
2024	Concentración PM10 = $\frac{45+38+46+49+43+50}{6}$ = 45.17
2025	Concentración PM10 = $\frac{21.21+24.17+22.96+43+35+39}{6}$ =30.89
	Concentración NO_2 semestral= $\frac{\sum(\text{concentración } NO_2)}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración NO2 = $\frac{12+9+10}{3}$ = 10.33
2024	Concentración NO2 = $\frac{9+6+14+8+9+11}{6}$ = 9.5
2025	Concentración NO2 = $\frac{1.75+1.75+1.75+15+17+14}{6}$ = 8.54
	Concentración SO_2 semestral= $\frac{\sum(\text{concentración } SO_2)}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración SO2 = $\frac{6.5+6.5+6.5}{3}$ = 6.5
2024	Concentración SO2 = $\frac{6.5+6.5+6.5+6.5+6.5+6.5}{6}$ = 6.5
2025	Concentración SO2 = 0.5$\frac{+0.5+0.5+6.5+6.5+6.5}{6}$ = 3.5

	Concentración CO semestral= $\frac{\sum(\text{concentración CO})}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración CO = $\frac{772+713+735}{3}$ = 740
2024	Concentración CO = $\frac{732+782+749+782+762+789}{6}$ = 766
2025	Concentración CO = $\frac{940+912+969+1099+1083.2+1163.1}{6}$ = 1027.71
	Concentración Pb semestral= $\frac{\sum(\text{concentración Pb})}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración Pb = $\frac{0.0166+0.0096+0.0142}{3}$ = 0.0135
2024	Concentración Pb = $\frac{0.0255+0.0142+0.0101+0.0275+0.0092+0.0133}{6.0}$ = 0.01663
2025	Concentración Pb =$\frac{0.0008+0.00065+0.007+0.01035+0.01035+0.01035}{6}$= 0.0066
	Concentración As semestral= $\frac{\sum(\text{concentración As})}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración As = $\frac{0.0019+0.0012+0.0015}{3}$ = 0.001533
2024	Concentración As= $\frac{0.0019+0.0022+0.0016+0.0066+0.00665+0.00665}{6}$ =0.004275
2025	Concentración As = $\frac{0.0054+0.0054+0.0054+0.0028+0.003+0.0029}{6}$ = 0.00415
	Concentración As semestral= $\frac{\sum(\text{concentración Cd})}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración Cd = $\frac{0.0015+0.0012+0.001}{3}$ = 0.00123

2024	Concentración Cd=$\frac{0.00115+0.00115+0.00115+0.0007+0.0007+0.0007}{6}$ = 0.00092
2025	Concentración Cd= $\frac{0.0001+0.0001+0.0001+0.00155+0.0015+0.0015}{6}$ = 0.000825
	Concentración As semestral= $\frac{\sum(\text{concentración Cr})}{\text{Total realizados}}$
2023	Concentración Cr = $\frac{0.0015+0.0011+0.001}{3}$ = 0.0012
2024	Concentración Cr= $\frac{0.0006+0.0006+0.0006+0.0027+0.0027+0.0027}{6}$= 0.001675
2025	Concentración Cr= $\frac{0.0001+0.0001+0.0001+0.0036+0.0036+0.0036}{6}$ = 0.001875

Lista de chequeo IO 14001:2015

	Concentración As = $\frac{\sum(\text{concentración de contaminantes As})}{\text{número de muestras}}$
2023	Concentración Arsénico= $\frac{8.56+10.44+6.14+21.11}{4}$ = 11.56
2024	Concentración As = $\frac{12.51+12.21+9.64+18.42+6.37+0.86+45.41+19.39}{8}$ = 15.60
2025	Concentración As = $\frac{89.05+8.42+97.42+40.64+4+3.59+9.59+5.38}{8}$ =32.26
	Concentración Ba = $\frac{\sum(\text{concentración de contaminantes Ba}}{\text{número de muestras}}$
2023	Concentración Ba = $\frac{152.17+110.64+45.71+132.45}{3}$ = 110.24
2024	Concentración Ba = $\frac{91.15+182.6+11.65+42.31+17.25+125.62+70.55+117.25}{8}$ = 82.30
2025	Concentración Ba = $\frac{115.3+234.11+121.92+258.7+62.65+43.63+32+30.78}{}$ = 112.265

	8
	Concentración Cd = $\frac{\sum(\text{concentración de contaminantes Cd}}{\text{número de muestras}}$
2023	Concentración Cd = 0.88+0.75+0.60+0.96 = 0.7975 4
2024	Concentración Cd= 0.74+0.89+0.45+0.88+0.1+0.1+0.1+0.1 = 0.42 8
2025	Concentración Cd = 3.19+0.025+0.025+0.025+1.01+1.1+1.26+1.09 = 0.9656 8
	Concentración Cr = $\frac{\sum(\text{concentración contaminante Cr})}{\text{Número de muestra}}$
2023	Concentración Cr= 2.45+1.64+1.85+0.94 = 1.72 4
2024	Concentración Cr= 7.35+6.89+3.6+4.15+2.12+1.82+1.65+1.23 = 3.601 8
2025	Concentración Cr = 5.39+6.61+5.18+2.79+9.27+6.27+11.81+8.67 = 6.99 8
	Concentración Hg = $\frac{\sum(\text{concentración contaminante Hg})}{\text{Número de muestra}}$
2023	Concentración Hg= 0.37+0.37+0.37+0.37 = 0.37 4
2024	Concentración Hg= 0.37+0.37+0.37+0.37+0.37+0.37+0.37+0.37 = 0.37 8
2025	Concentración Hg = 037+0.37+0.37+0.37+0.015+0.015+0.015+0.015 = 0.1925 8
	Concentración Pb= $\frac{\sum(\text{concentración contaminante Pb})}{\text{Número de muestra}}$
2023	Concentración Pb= 18.76+15.24+8.76+152.44 = 48.80 4
2024	Concentración Pb= 025.16+19.27+25.21+100.05+13.49+3.01+41.04+22.73 = 31.245 8
2025	Concentración Pb = 153.16+6.21+97.02+82.27+1.05+1.05+1.05+1.05 = 42.86 8

ANEXO 3:

FOTOGRAFIAS

FOTOS MONITOREO CALIDAD DE AIRE





FOTO MONITOREO RUIDO AMBIENTAL









FOTO MONITOREO CALIDAD DE SUELO







