

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**“Gestión Integral del Agua y Creación de Valor Sostenible en la Gran Minería**

**Peruana: El Caso Antamina”**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN**

**ADMINISTRACIÓN ESTRATEGICA DE EMPRESAS**

**QUE PRESENTA:**

Johnny Alvarado Monteza.

Juan Carlos Avila Vargas.

Eric Rafael Diaz Márquez.

Diego Vega Oruna.

**ASESOR**

Carlos Armando Bazán Tejada

**Surco, febrero, 2026**



### Declaración Jurada de Autenticidad

Yo, Carlos Armando Bazán Tejada, docente del Departamento Académico de Posgrado en Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado: “Gestión Integral del Agua y Creación de Valor Sostenible en la Gran Minería Peruana: El Caso Antamina” de los(as) autores(as):

- Johnny Alvarado Monteza, DNI N° 18092702
- Juan Carlos Avila Vargas, DNI N° 26686368.
- Eric Rafael Diaz Márquez, DNI N° 41431312.
- Diego Vega Oruna, DNI N° 46250988.

dejo constancia de lo siguiente:

1. El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 10%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el 22/10/2025
2. He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
3. Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: 22 de octubre 2025

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora:	
<b>Bazán Tejada, Carlos Armando</b>	
DNI: 09385874	Firma 
ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8121-8658">https://orcid.org/0000-0001-8121-8658</a>	

## Agradecimientos

A Dios, por protegerme siempre y brindarme entendimiento en cada paso de mi camino.

A mi esposa, por su amor, devoción y fuerza incondicional; su comprensión y respaldo han sido decisivos para este proceso.

A mis hijas, quienes han sido fuente de inspiración; su alegría y afecto me impulsan a esforzarme en cada etapa de mi vida.

Johnny Alvarado Monteza

Doy gracias a Dios, a mis padres, a mi familia y a todas las personas que me acompañaron en este camino, regalándome consejos, paciencia y aliento en días de alegría y de dificultad. Ese cariño y apoyo constante me dieron fuerzas para no rendirme y cumplir este gran sueño.

Juan Carlos Avila Vargas

Quiero expresar mi más profunda gratitud a mi madre, por su incondicional amor y ejemplo de fortaleza. A mi padre, por ser un modelo de integridad y dedicación, cuya influencia ha guiado mi trayectoria. A mi esposa, cuya paciencia y constante apoyo han sido fundamentales en este arduo camino. A mis adorados hijos, quienes son mi mayor motivación e inspiración, y me impulsan siempre a seguir adelante.

Eric Rafael Díaz Márquez

A mi familia, que ha sido mi mayor sostén en este camino, gracias por su paciencia, comprensión y amor incondicional. Cada palabra de ánimo, cada gesto de apoyo y cada sacrificio compartido me dieron la fuerza necesaria para continuar incluso en los momentos más desafiantes. Este logro les pertenece tanto como a mí.

Diego Vega Oruna

## Dedicatorias

Dedico este trabajo a mi esposa e hijas, mi mayor fuente de amor y motivación.

A mi padre, por su ejemplo de esfuerzo y constancia.

Y a la memoria de mi madre, que desde el cielo sigue iluminando mi camino.

Johnny Alvarado Monteza

Dedicado a Carlos, Betty y Mercedes, mis guías y seres de luz que iluminan mi camino hacia el bien, mi progreso personal y profesional. También a toda mi familia y a sus futuras generaciones, con la esperanza de que este logro sea una inspiración para continuar el camino a la excelencia. Familia, juntos somos más fuertes.

Juan Carlos Avila Vargas

Dedico esta tesis a mi familia, pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mis padres que, con su sabiduría y sacrificio, me inculcaron los valores del esfuerzo y responsabilidad. A mi esposa, por su amor y comprensión durante esta etapa de estudios. Y a mis amados hijos, quienes me llenan de esperanza y motivación diaria. Este logro es el fruto de nuestro esfuerzo compartido y la culminación de un sueño que hemos construido juntos.

Eric Rafael Díaz Márquez

Dedico este trabajo a mi familia, por ser la fuente constante de amor, paciencia y fortaleza. Sin su apoyo incondicional y sus palabras de aliento, este esfuerzo no habría sido posible. También a todas las comunidades que luchan día a día por un acceso justo y sostenible al agua. Este estudio busca ser una contribución, por pequeña que sea, a la construcción de un futuro donde la minería y la gestión responsable de los recursos puedan coexistir en armonía.

Diego Vega Oruna

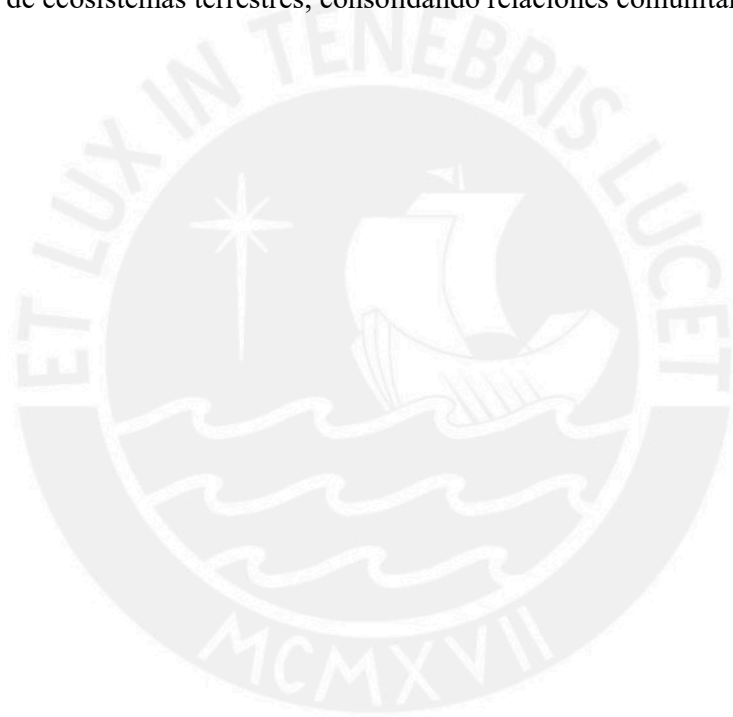
## Resumen Ejecutivo

La industria minera constituye un pilar estratégico en la economía peruana, pero también es una de las principales fuentes de conflictividad social y ambiental debido al elevado consumo de agua en zonas altoandinas vulnerables. En este contexto, la Compañía Minera Antamina (Antamina) representa un caso emblemático de innovación y responsabilidad en la gestión integral del recurso hídrico, al conjugar eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y legitimidad social.

El estudio evidencia que Antamina reutiliza hasta el 99 % del agua de proceso mediante circuitos cerrados de recirculación, garantizando que su demanda de agua fresca provenga exclusivamente de lluvias almacenadas en reservorios propios. Esta autonomía hídrica evita la competencia con las comunidades por un recurso escaso, fortaleciendo la confianza local. Asimismo, resalta el Bosque de Huarmey como un ecosistema desarrollado en la costa desértica gracias al reúso de aguas tratadas del filtrado de concentrado, que alberga más de 120,000 árboles, captura 200 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) anuales y aporta biodiversidad y oportunidades de desarrollo comunitario. Estas iniciativas se complementan con un sistema de monitoreo técnico de 83 pozos que verifican el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECAs agua) establecidos por la normativa peruana, además de adherirse voluntaria y proactivamente a estándares internacionales como: Alliance for Water Stewardship (AWS). El análisis revela que la estrategia hídrica de Antamina genera impactos múltiples: económicos, al reducir costos de consumo y tratamiento de agua, minimizando riesgos regulatorios mediante la recirculación de sus procesos; sociales, al consolidar la licencia social para operar y contribuir con proyectos de agua potable y saneamiento; y ambientales, al convertir pasivos en activos ecosistémicos que mitigan el cambio climático. Sin embargo, persisten desafíos, como la dependencia de la estacionalidad de lluvias, los costos energéticos

asociados a la recirculación y tratamiento, así como el incremento de las exigencias regulatorias en materia ambiental y social.

En conclusión, Antamina constituye un modelo replicable de economía circular en la gestión integral del agua, transformando un factor crítico de riesgo en una fuente de valor sostenible y competitivo. El caso confirma que la gestión hídrica puede configurarse simultáneamente como una estrategia empresarial, un motor de desarrollo territorial y una contribución efectiva a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular agua limpia, acción climática y vida de ecosistemas terrestres; consolidando relaciones comunitarias sólidas



## Abstract

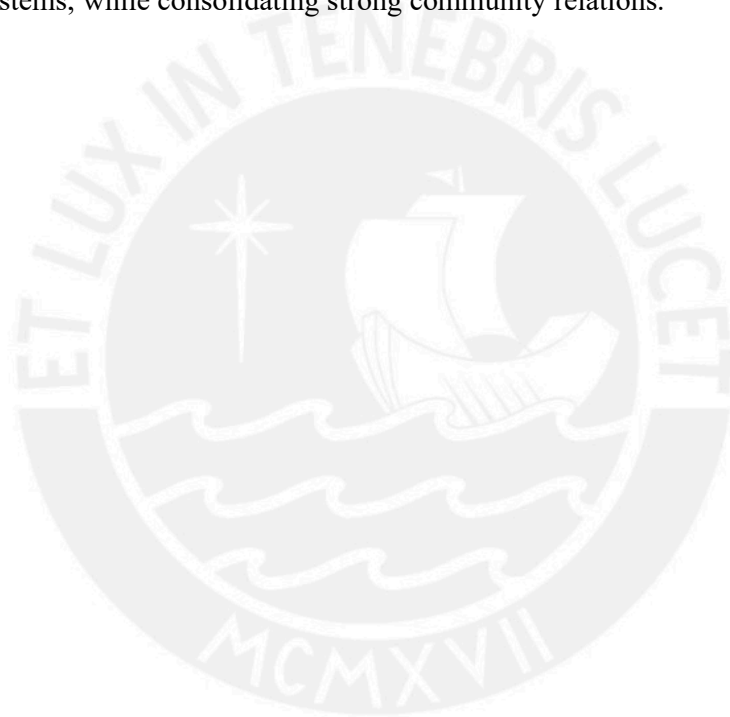
The mining industry constitutes a strategic pillar of the Peruvian economy, yet it is also one of the main sources of social and environmental conflicts due to the high consumption of water in vulnerable high-Andean regions. In this context, Compañía Minera Antamina (Antamina) represents an emblematic case of innovation and responsibility in integrated water management, combining operational efficiency, environmental sustainability, and social legitimacy.

The study shows that Antamina reuses up to 99% of its process water through closed recirculation circuits, ensuring that its demand for fresh water comes exclusively from rainwater stored in its own reservoirs. This water autonomy prevents competition with local communities for a scarce resource, thereby strengthening local trust. Likewise, the Huarmey Forest stands out as an ecosystem developed on the coastal desert through the reuse of treated water from concentrate filtering, which hosts more than 120,000 trees, captures 200 tons of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) annually, and provides biodiversity and community development opportunities. These initiatives are complemented by a technical monitoring system of 83 wells that verify compliance with the Maximum Permissible Limits (MPL) and Environmental Quality Standards for water (EQS-water) established by Peruvian regulations, in addition to voluntary and proactive adherence to international standards such as the Alliance for Water Stewardship (AWS).

The analysis reveals that Antamina's water strategy generates multiple impacts: economic, by reducing water use and treatment costs while minimizing regulatory risks through process recirculation; social, by consolidating its social license to operate and supporting potable water and sanitation projects; and environmental, by transforming liabilities into ecosystem assets that contribute to climate change mitigation. Nonetheless, challenges remain, including dependence on rainfall seasonality, the energy costs of recirculation and treatment, as well as

increasingly stringent regulatory requirements and growing social demands for environmental stewardship.

In conclusion, Antamina constitutes a replicable model of circular economy in integrated water management, transforming a critical risk factor into a source of sustainable and competitive value. The case demonstrates that water management can simultaneously function as a business strategy, a driver of territorial development, and a tangible contribution to the Sustainable Development Goals (SDG), particularly clean water, climate action, and terrestrial ecosystems; while consolidating strong community relations.



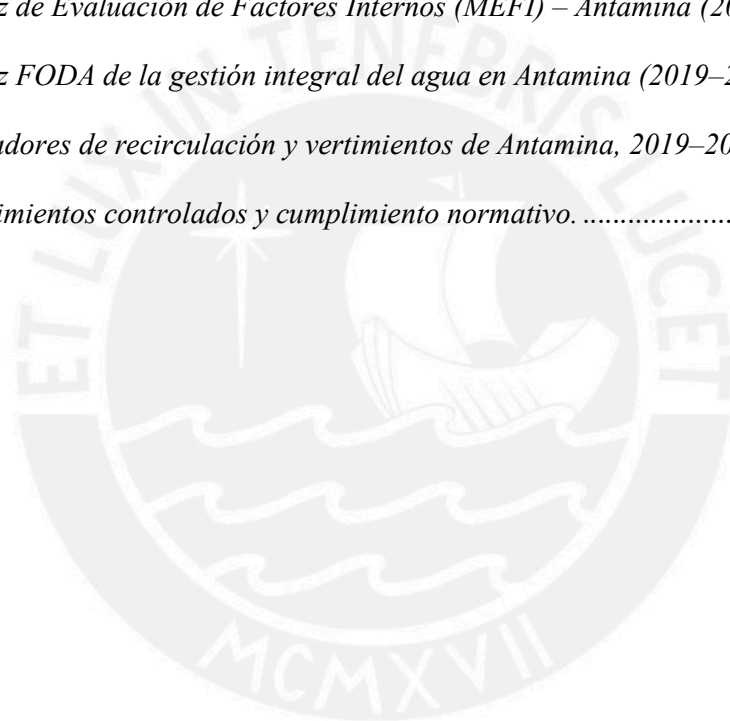
## Tabla de Contenidos

<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>xii</b>
<b>Capítulo I: Presentación del Caso y Justificación de la Relevancia.....</b>	<b>1</b>
1.1. Presentación del Caso. ....	1
<i>1.1.1. Definición del Caso.....</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2. Delimitación del Alcance. ....</i>	<i>3</i>
<i>1.1.3. Propósito del Caso. ....</i>	<i>6</i>
1.2. Relevancia del Caso. ....	7
<i>1.2.1. Importancia de la Industria. ....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.2. Impacto Económico, Social y Ambiental. ....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3. Justificación del Caso. ....</i>	<i>13</i>
1.3. Temas Académicos Vinculados (Marco Teórico).....	16
<i>1.3.1. Selección de Temas Académicos. ....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2. Relación con el Caso.....</i>	<i>19</i>
<i>1.3.3. Síntesis Teórica. ....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.4. Cierre del Subcapítulo. ....</i>	<i>21</i>
<b>Capítulo II: Análisis del Caso. ....</b>	<b>24</b>
2.1. Introducción al Análisis del Caso. ....	24
<i>2.1.1. Definir el Enfoque del Análisis. ....</i>	<i>25</i>
<i>2.1.2. Reafirmar los Objetivos. ....</i>	<i>26</i>
<i>2.1.3. Estructura del Subcapítulo.....</i>	<i>27</i>
2.2. Análisis del Entorno. ....	27
<i>2.2.1. Identificación de Tendencias Clave. ....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.2. Análisis de Competencia. ....</i>	<i>30</i>

2.2.3. <i>Análisis de Oportunidades y Amenazas.</i> .....	35
2.3. Resultados del Trabajo de Campo.....	40
2.3.1. <i>Definir el trabajo de campo.</i> .....	40
2.3.2. <i>Descripción de la Metodología.</i> .....	41
2.3.3. <i>Presentación de los Resultados</i> .....	43
2.3.4. <i>Análisis de Resultados.</i> .....	45
<b>Capítulo III: Aprendizaje del Análisis del Caso.</b> .....	<b>49</b>
3.1. Principales Hallazgos del Caso. ....	49
3.1.1. <i>Principales hallazgos de Gestión Integral del Agua.</i> .....	50
3.2. Lecciones Aprendidas. ....	55
3.2.1. <i>Principales Lecciones Aprendidas en Gestión Integral de Agua.</i> .....	56
3.3. Competencias Clave Identificadas .....	58
3.4. Validación de las Lecciones Aprendidas. ....	59
3.4.1. <i>Validación de Lecciones Aprendidas en Gestión Integral de Agua</i> .....	60
3.5. Implicancias Estratégicas y Recomendaciones.....	61
3.5.1. <i>Implicancias Estratégicas.</i> .....	62
3.5.2. <i>Recomendaciones Prácticas.</i> .....	62
3.6. Limitaciones y Futuras Líneas de Estudio. ....	64
3.6.1. <i>Limitaciones.</i> .....	64
3.6.2. <i>Futuras líneas de estudio.</i> .....	65
<b>Referencias</b> .....	<b>67</b>
<b>Apéndices</b> .....	<b>72</b>
Apéndice A: Declaración de Uso de Inteligencia Artificial (IA).....	73

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Alcance del Estudio</i> .....	4
<b>Tabla 2</b>	<i>Síntesis Teórica</i> .....	22
<b>Tabla 3</b>	<i>Análisis PESTEL Antamina (gestión integral del agua) 2019–2024</i> .....	29
<b>Tabla 4</b>	<i>Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE)– Antamina (2019–2024)</i> . 31	
<b>Tabla 5</b>	<i>Análisis 5 fuerzas de Porter - Gestión integral de agua Antamina (2019–2024)</i> ...	32
<b>Tabla 6</b>	<i>Análisis AMOFHIT – Antamina (2019–2024)</i> .....	36
<b>Tabla 7</b>	<i>Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) – Antamina (2019–2024)</i> .....	37
<b>Tabla 8</b>	<i>Matriz FODA de la gestión integral del agua en Antamina (2019–2024)</i> .....	39
<b>Tabla 9</b>	<i>Indicadores de recirculación y vertimientos de Antamina, 2019–2023</i> .....	46
<b>Tabla 10</b>	<i>Vertimientos controlados y cumplimiento normativo</i> .....	47



**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b>	<i>Infografía Gestión Hídrica de Antamina</i> .....	5
<b>Figura 2</b>	<i>Costo Evitado - Consumo y Tratamiento de Agua, Caso Antamina</i> . ....	10
<b>Figura 3</b>	<i>Bosque Huarmey, Punta Lobitos, Ancash</i> .....	13
<b>Figura 4</b>	<i>Vista Panorámica del Bosque de Huarmey</i> .....	53



## **Capítulo I: Presentación del Caso y Justificación de la Relevancia**

Este capítulo presenta el caso de estudio exponiendo la importancia de la gestión integral del agua en la gran minería peruana, poniendo el caso de Antamina como ejemplo de sostenibilidad técnica, ambiental y social. Se describe su operación basada en la recirculación de hasta el 99 % del agua de proceso, el uso exclusivo de agua pluvial y proyectos de valor compartido como el Bosque de Huarmey. Además, se justifica la relevancia del estudio por su contribución a la sostenibilidad minera, la reducción de conflictos sociales y la alineación con los ODS y principios de economía circular.

### **1.1. Presentación del Caso**

#### ***1.1.1. Definición del Caso***

La definición del caso se basa en la importancia de la gestión integral del agua en la gran minería como elemento esencial para garantizar la sostenibilidad social, ambiental y económica en contextos de escasez hídrica, sobre todo en las zonas donde operan las grandes empresas mineras, Antamina se presenta como ejemplo destacado al implementar la innovación técnica y prácticas responsables que equilibran la eficiencia operativa, preservación del recurso y el fortalecimiento de relaciones con las comunidades de su entorno y área de influencia.

La minería se erige como uno de los pilares económicos más destacados del Perú, aportando más del 60 % de las exportaciones nacionales y entre el 10 % y 15 % del Producto Bruto Interno (PBI) (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2024). Esta actividad extractiva se desarrolla, relevantemente, en zonas altoandinas donde el agua es escasa, demanda una gestión hídrica eficiente y responsable para garantizar su sostenibilidad social y ambiental.

Dentro de las compañías mineras más representativas tenemos a Antamina, que se ubica en el distrito de San Marcos (Región Áncash), opera por encima de los 4, 300 msnm y

es uno de los yacimientos polimetálicos más grandes del mundo, tanto por su producción de cobre, zinc y molibdeno y destaca por su visión innovadora en sostenibilidad hídrica.

La gestión integral del agua en Antamina está centrada en tres elementos claves:

**Recirculación Hidráulica Avanzada.** Antamina reutiliza hasta el 99 % del agua de proceso en su planta concentradora, disminuyendo así su dependencia de nuevas extracciones hídricas de fuentes de agua fresca y evitando así competir con las Comunidades por este vital elemento en fuentes superficiales y subterráneas, ya que capta el agua de las lluvias en dos represas construidas en quebradas dentro de la zona de influencia (Confiep, 2021).

**Reutilización Ambiental a través del Bosque de Huarmey.** En una zona desértica costera, se ha creado un ecosistema de 110 a 170 hectáreas con 120,000 árboles y más de 50 especies de fauna, utilizando las aguas tratadas provenientes del filtrado de concentrado que es transportado por el mineroducto desde Antamina. Este bosque contribuye con la captura de 200 toneladas CO<sub>2</sub> y a la repoblación de la biodiversidad local; generando un futuro ecosistema sostenible con potencial de explotación racional de los recursos “Bosque de Huarmey”

**Estrategia Hídrica y Monitoreo Técnico.** Antamina ha implementado pozas de almacenamiento (de 30,000 a 280,000 m<sup>3</sup>), sistemas de irrigación por microaspersión y monitoreos constantes (incluyendo 83 pozos de tubo abierto para monitorear la calidad del acuífero natural), garantizando el cumplimiento de estándares ambientales normados: Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECAS agua).

Este enfoque convierte a Antamina en un referente técnico para operaciones mineras en entornos climáticamente sensibles, combinando la preservación del recurso hídrico con innovación ambiental y aceptación de las comunidades.

La estructura del caso permitirá analizar cómo esta estrategia contribuye a la sostenibilidad operativa, social y ecológica de la compañía, así como a la legitimidad de su modelo en un contexto donde el agua es un bien escaso y altamente disputado.

Adicionalmente se ha realizado un estimado de los costos evitados que obtiene Antamina al recircular hasta el 99% del agua del proceso y evitar el consumo de agua fresca, para lo cual requeriría de una autorización del Gobierno y hacer un pago anual por el volumen consumido, lo cual servirá para estimar el beneficio económico directo.

### ***1.1.2. Delimitación del Alcance***

La delimitación del caso establece un marco claro para analizar la gestión integral del agua en la gran minería polimetálica (procesamiento de diversos minerales en paralelo) enfocándose en Antamina como un ejemplo sobresaliente, su alcance geográfico, temporal y temático, que permitirá a los investigadores centrarse en definir las prácticas de recirculación, reutilización, infraestructura de manejo hídrico y gobernanza; excluyendo otros impactos, con el fin de extraer lecciones replicables en otras compañías mineras de similares características y aportes para la emisión de políticas públicas en beneficio de los involucrados claves. La delimitación del alcance del estudio se observa en la Tabla 1.

El caso se enfoca en la gestión integral del agua en la industria minera polimetálica de gran escala en el Perú, y se centra específicamente en la huella de intervención de Antamina, una de las operaciones más grandes del país por su volumen de producción de cobre, zinc, molibdeno, plata y plomo, situada en el distrito de San Marcos, provincia Huari, región Áncash, la cual la posiciona en un contexto socio ambiental e hídrico vulnerable que exige soluciones integrales para poder gozar de la aceptación social. Ver Figura 1.

**Tabla 1***Alcance del Estudio*

Elemento	Delimitación del Caso
Industria:	Minería Polimetálica (cobre, zinc, molibdeno, plata, entre otros)
Empresa Específica:	Como ejemplo: Compañía Minera Antamina S.A.
Región o contexto geográfico:	Desde el distrito de San Marcos (Región Áncash) – zona de Yanacancha – Hasta Punta Lobitos y el bosque de Huarmey.
Periodo de Análisis:	Aproximadamente 2020 – 2024, con referencias a metas hacia 2030.
Nivel de Análisis:	Gestión integral del agua en la industria minera a gran escala, caso Antamina: recirculación, reutilización, infraestructura hídrico y monitoreo.
Fuentes de Información:	Revisión documental de reportes (MINEM, OEFA, ANA, Antamina, etc.); sitios institucionales, medios especializados.
Problema o Enfoque Principal:	Analizar como en la industria minera de gran escala, caso Antamina, se equilibra la sostenibilidad técnica, ambiental y social y la adecuada gestión integral del recurso hídrico que tienen implementado y evaluar sus impactos en todos los aspectos.
Exclusiones:	No están incluidos en el análisis: emisiones atmosféricas, biodiversidad fuera del contexto hídrico, seguridad laboral, análisis financiero, entre otros aspectos no mencionados explícitamente.
Perspectiva del caso:	Análisis técnico – ambiental – social en la dimensión regulatoria.
Impacto Esperado	Definición de buenas prácticas empresariales, lecciones replicables en otras compañías e industrias, aportes para políticas públicas en la gestión integral del agua, usando como ejemplo a Antamina.

Figura 1

## Infografía Gestión Hídrica de Antamina



Nota. Adaptado de Presentación Antamina, Certificado Ambiental 14001 (2023), Compañía Minera Antamina S.A., Oficina de Comunicaciones. <https://www.antamina.com>

El periodo de análisis comprende los años 2020 al 2024, con atención a las metas planteadas por la empresa para el 2030, como alcanzar el 100 % de recirculación hídrica en la planta concentradora (Confiep, 2022)

El enfoque está claramente delimitado a los aspectos hídricos de la gestión integral aplicados en la industria minera: recirculación de agua, reutilización mediante técnicas como microaspersión en el Bosque de Huarney, infraestructura como pozas de almacenamiento y

monitoreo técnico. Se excluyen deliberadamente otros impactos como emisiones, seguridad laboral o temas financieros, para concentrarse en la gestión integral del recurso esencial en minería, como lo es el agua.

La metodología se basa en la revisión de reportes corporativos de sostenibilidad emitidos por Antamina, documentos regulatorios emitidos por el Gobierno Peruano y material periodístico especializado (p. e. Energiminas), datos de fuentes diversas y de acceso público para la localización, dimensiones del bosque, características del mineroducto y de otra infraestructura relacionada.

La pregunta clave que articula el caso es:

¿Cómo la industria minera de gran escala puede implementar una gestión integral del agua que equilibre sostenibilidad técnica, ambiental y social en contextos de escasez hídrica?;

Antamina constituye un ejemplo representativo al aplicar la innovación y prácticas responsables que buscan aceptación social y eficiencia operativa. Esto orienta el análisis hacia prácticas replicables, desafíos sociales (como percepción comunitaria) y retos regulatorios

Este enfoque revela la intención de generar valor a distintos niveles: académico (conocimiento en gestión de recursos críticos), empresarial (mejores prácticas para aplicación de otras empresas mineras), y regulatorio (insumos claves para la regulación e inclusión en políticas públicas sobre agua y minería).

### ***1.1.3. Propósito del Caso***

El propósito del caso es analizar cómo la gran minería puede convertir la gestión del agua en un eje de sostenibilidad integral, al minimizar los conflictos sociales y generación de activos ambientales que beneficien las comunidades, gobierno y empresa para que pueda seguir operando gozando de la aceptación social y cumpliendo con las regulaciones vigentes en general, combinando la eficiencia operativa, innovación ambiental y responsabilidad

social. El caso Antamina se presenta como un ejemplo destacado al mostrar prácticas replicables que fortalecen la aceptación social de la industria como un actor de desarrollo responsable y que aportan lecciones aprendidas para reflejarlas en las políticas públicas

Antamina se ha distinguido por tres ejes fundamentales:

**Eficiencia Operativa de Uso Hídrico.** Según Antamina, hasta el 99 % del agua utilizada en el proceso de molienda y flotación proviene de la recirculación desde la presa de relaves, reduciendo drásticamente el consumo de agua fresca (Horizonte Minero, 2024).

**Innovación Ambiental Restaurativa.** Antamina desarrollo satisfactoriamente el proyecto técnico ambiental del Bosque de Huarmey en la zona costera desértica.

**Responsabilidad Social y Técnica del Agua.** Antamina logró el 100 % de cumplimiento en calidad del agua y aire, certificaciones ISO 14001 y OHSAS 18001, y mantiene mesas de diálogo con comunidades, lo que fortalece su aceptación social como actor de desarrollo responsable (Horizonte Minero, 2024).

A partir de esto, el caso persigue los siguientes tres objetivos específicos:

- Describir el impacto en la sostenibilidad operativa con la gestión integral del agua a través de la recirculación del agua utilizada en el proceso.
- Analizar cómo la reutilización del agua en iniciativas ambientales que generan impactos tangibles en el ecosistema y en la percepción comunitaria.
- Extraer lecciones aprendidas y mejores prácticas replicables para otras empresas y para la formulación de políticas públicas en minería en el Perú.

## 1.2. Relevancia del Caso

La relevancia del caso radica en que la gran minería es un pilar económico y social para el Perú, pero también un foco de conflictos socio ambientales (reclamos de las comunidades por agotamiento y contaminación de fuentes de agua, impactos reputacionales y pérdidas económicas por bloqueos y paradas de producción, entre otros) asociados al agua.

Antamina ejemplifica como la gestión integral del agua puede transformar desafíos en oportunidades mediante recirculación, innovación ambiental y proyectos sociales que fortalecen la aceptación comunitaria y la sostenibilidad integral.

### ***1.2.1. Importancia de la Industria***

La minería de gran escala es esencial para la economía peruana por su aporte al PBI y las exportaciones, además de sus efectos multiplicadores. Sin embargo, su dependencia intensiva del uso del agua plantea retos ambientales y sociales, haciendo indispensable una gestión integral del agua eficiente y sostenible

La minería representa un eje estructural para la economía peruana, en el 2024, las exportaciones mineras alcanzaron un récord de US\$ 47.7 mil millones, lo que representa el 63 % del total de las exportaciones nacionales; este dinamismo fue impulsado por un aumento en la exportación de oro, plomo y estaño, además del cobre; a nivel económico general, el sector minero aporta cerca del 8.5 % del PIB; así mismo la industria minera de gran escala invierte alrededor del 0.25% del PBI en la gestión integral del agua (800 Mm USD anuales).

**Relevancia Social.** El sector minero también es una fuente clave de empleo formal y desarrollo local, empresas formales que contribuyen al desarrollo de capacidades, ejecución de obras y fortalecimiento institucional en áreas rurales; sin embargo, esta coexistencia no está libre de tensiones ya que casi el 60 % de los conflictos socioambientales del país se relacionan con el uso y calidad del agua, lo que convierte a este recurso en un nodo estratégico para la aceptación y sostenibilidad social del sector.

**Relevancia Ambiental.** En un país rico en minerales críticos para la transición energética, como cobre, plata, oro y zinc, extraerlos implica uso intensivo de agua y riesgo ambiental de gran impacto por lo que la conservación del recurso y la mitigación de impactos socio ambientales son vitales. Innovaciones, implementadas por Antamina, como la

recirculación hídrica, el tratamiento de efluentes, y proyectos restaurativos como el Bosque de Huarmey destacan como ejemplos de cómo transformar desafíos ambientales en oportunidades de valor compartido.

### ***1.2.2. Impacto Económico, Social y Ambiental***

La gestión integral del agua, tomando como ejemplo la implementada por Antamina, demuestra que la gran minería puede generar eficiencia económica, fortalecer la aceptación comunitaria y crear valor ambiental positivo. Su modelo de recirculación, proyectos de valor ambiental y la transparencia social evidencian que la sostenibilidad en minería es alcanzable mediante innovación y compromiso responsable; generando los siguientes impactos:

**Impacto Económico.** La gestión integral del agua de Antamina permite una eficiencia operativa notable ya que la empresa reutiliza hasta el 99 % del agua de proceso y solo requiere anualmente entre el 1 % a 3 % de agua fresca que provienen de las aguas de lluvias almacenadas en infraestructura construida en las quebradas que están dentro de la huella de la operación actual, esta acción refuerza la intención clara de no competir por agua con las comunidades aledañas, generando así confianza y buena vecindad. Además, utiliza técnicas de reciclaje y monitoreo riguroso de su huella hídrica conforme a la norma ISO 14046 (Confiep, 2021).

Esta política reduce los costos asociados al abastecimiento externo, limita la dependencia de fuentes naturales y mitiga riesgos vinculados a demandas regulatorias o restricciones hídricas. Ver Figura 2.

**Impacto Social.** El Bosque de Huarmey, impulsado por Antamina, funciona como un activo ambiental urbano que genera impactos positivos en la zona costera del Valle de Huarmey; siendo reconocido por su creatividad ambiental (Premio Creatividad Empresarial 2012). Estas acciones fortalecen el bienestar local, el orgullo territorial y la percepción positiva de la empresa en su zona de influencia.

**Figura 2***Costo Evitado - Consumo y Tratamiento de Agua, Caso Antamina*

<b>Consumo Total de Agua Antamina</b>					
Consumo de agua (en megalitros)		2020	2021	2022	2023
Extracción de agua por fuente	<b>Agua Superficial Total</b>	14,799.30	16,655.10	16,779.30	16,762.90
	Agua dulce (total de sólidos disueltos = 1000 mg/l)	14,799.30	16,655.10	16,779.30	16,762.90
	<b>Agua Subterránea Total</b>	1,978.30	2,364.10	2,539.70	2,380.60
	Agua dulce (total de sólidos disueltos = 1000 mg/l)	1,978.30	2,364.10	2,539.70	2,380.60
	<b>Agua producida total</b>	67,545.80	69,484.50	84,301.90	75,898.60
	Agua proceso (total de sólidos disueltos = 1000 mg/l)	67,545.80	69,484.50	84,301.90	75,898.60
<b>Extracción total de agua</b>		<b>84,323.40</b>	<b>88,503.70</b>	<b>103,620.90</b>	<b>95,042.10</b>
Vertido de aguas por destino	Agua Superficial	23,975.90	32,152.60	31,415.40	33,825.70
<b>Consumo total de agua (extracción total de agua - vertido total de agua)</b>		<b>60,347.50</b>	<b>56,351.10</b>	<b>72,205.50</b>	<b>61,216.40</b>
Costo por consumo de agua fresca soles / m <sup>3</sup>		0.2468	0.2468	0.2468	0.2468
Costo total por consumo de agua evitado S/.		14,893,763.00	13,907,451.48	17,820,317.40	15,108,207.52
Costo de tratamiento de agua soles / m <sup>3</sup>		3.75	3.75	3.75	3.75
Costo total por consumo de agua evitado S/.		226,303,125.00	211,316,625.00	270,770,625.00	229,561,500.00
<b>Costo total evitado por consumo y tratamiento de agua S/.</b>		<b>241,196,888.00</b>	<b>225,224,076.48</b>	<b>288,590,942.40</b>	<b>244,669,707.52</b>
<b>Costo total evitado por consumo y tratamiento de agua USD</b>		<b>64,319,170.13</b>	<b>60,059,753.73</b>	<b>76,957,584.64</b>	<b>65,245,255.34</b>

*Nota.* Adaptado de Reportes de Sostenibilidad 2020, 2021, 2022 y 2023, Compañía Minera Antamina S.A., Oficina de Comunicaciones. <https://www.antamina.com>

Los planes futuros del Bosque de Huarney se centran en consolidarlo como un espacio sostenible que beneficie tanto al ambiente como a la comunidad local; buscando que este proyecto no sea sólo un pulmón verde, sino también un motor de desarrollo social, educativo y económico en la región.

Se prevé potenciar el ecoturismo y la educación ambiental; el bosque será acondicionado con senderos interpretativos, señalética y áreas de visita, con el objetivo de recibir estudiantes, investigadores y turistas. Esto permitirá que el Bosque de Huarney se convierta en un aula viva donde se promueva la conciencia ecológica y el conocimiento de la biodiversidad del desierto costeño.

La generación de empleo local; impulsando actividades relacionadas con la conservación, mantenimiento y vigilancia del bosque, así como emprendimientos asociados, como guías turísticos, viveros y producción de plantas ornamentales. Esto contribuirá a dinamizar la economía de Huarney y a fortalecer capacidades en la población.

En materia ambiental, el plan incluye ampliar la cobertura forestal mediante la siembra de nuevas especies nativas y adaptadas al ecosistema, incrementando la captura de CO<sub>2</sub> y la protección del valle frente a la erosión eólica; mejoramiento de la eficiencia del riego tecnificado y se integrarán tecnologías renovables para reducir la huella hídrica y energética del proyecto.

Adicionalmente, se contempla la creación de un centro de investigación y monitoreo ambiental que evalúe la salud del ecosistema, el impacto en el acuífero y la calidad del aire, con participación de universidades y organizaciones locales. Actualmente, se cuenta con sistema de monitoreo del acuífero del Bosque de Huarney mediante una red de 83 pozos de observación equipados con sensores automáticos que registran niveles freáticos en tiempo real. Este control se complementa con tecnología satelital y modelamiento hidrogeológico para anticipar variaciones y gestionar el recurso de manera sostenible. Además, se realizan muestreos periódicos para evaluar la calidad del agua, analizando parámetros físico-químicos y metales pesados como arsénico y hierro. La información se reporta en informes ambientales a autoridades y comunidades, garantizando transparencia y cumplimiento normativo. Estas acciones aseguran que el bosque no afecte negativamente el acuífero de la zona.

Con estas acciones, el Bosque de Huarney aspira a convertirse en un referente nacional de desarrollo sostenible, combinando restauración ambiental, educación y bienestar comunitario.

Adicionalmente, Antamina ha llevado a cabo proyectos de forestación en Huari, sembrando más de 512,000 plantas en 400 hectáreas en colaboración con comunidades locales, mejorando su resiliencia ambiental y ofreciendo empleo temporal en la zona.

Antamina ha logrado mejorar la percepción de las comunidades aledañas gracias a una gestión responsable del agua y proyectos que generan beneficios tangibles. Un ejemplo clave es la creación del Comité de Monitoreo Ambiental de Huarmey (CMAH), que “garantiza la participación de la población en el conocimiento de la calidad ambiental existente” (CMAH, 2024). Este espacio fortalece la confianza mediante vigilancia participativa y reportes públicos periódicos.

Asimismo, Antamina ha ejecutado proyectos de infraestructura hídrica que responden a necesidades históricas, como el sistema integral de agua potable y saneamiento en Huarmey, que “beneficiará a más de 34,000 habitantes” (Antamina, 2024). Este tipo de iniciativas posiciona a la compañía como un aliado estratégico en el desarrollo local.

Los reconocimientos nacionales, como el Premio Pro Activo 2024, consolidan esta percepción positiva, al destacar la alianza estratégica para el desarrollo local.

Antamina combina transparencia, gestión hídrica responsable y proyectos ambientales emblemáticos para fortalecer su licencia social y mejorar la percepción comunitaria para continuar operando y dando oportunidad a que la sociedad tenga mejor percepción de la industria minera, tan necesaria en estos tiempos.

**Impacto Ambiental.** La reutilización controlada del agua tratada permite proteger ecosistemas sensibles, monitoreando con 83 pozos a tubo abierto con tecnología satelital, garantizando su calidad y evitando descargas contaminantes.

El Árbol de Huarmey, que ha sido la especie más revegetada, ha generado un nuevo ecosistema en una zona desértica, acumulando carbono, enriqueciendo el suelo y actuando como reserva climática.

Estos esfuerzos se alinean con las tendencias globales de economía circular y restauración ecológica en minería, demostrando que una operación extractiva puede generar valor ambiental positivo, en vez de solo impactos negativos.

La gestión integral del agua de Antamina y el proyecto Bosque de Huarney generan un impacto ambiental significativo al promover la sostenibilidad en un contexto de estrés hídrico. A nivel operativo, se prioriza la recirculación del agua, lo que reduce la extracción de fuentes naturales (Antamina, 2023). Ver Figura 3.

### Figura 3

*Bosque Huarney, Punta Lobitos, Ancash*



*Nota.* Adaptado de Google Earth (2025), Google LLC. <https://earth.google.com/>

#### **1.2.3. Justificación del Caso**

La justificación del caso radica en evidenciar cómo la gestión integral del agua en la gran minería refleja de manera articulada los principales desafíos y oportunidades del sector, tomando como referente a Antamina. Su modelo integra eficiencia operativa, innovación ambiental y compromiso social, en concordancia con los ODS y los marcos regulatorios vigentes. Este enfoque constituye una fuente de lecciones replicables que contribuyen al

fortalecimiento de la sostenibilidad, la gobernanza hídrica y la aceptación social en las comunidades aledañas a las áreas de operación.

**Escala y Complejidad Operativa.** Antamina constituye uno de los proyectos mineros más relevantes del país y del mundo, con un sistema integrado que abarca mina a tajo abierto, planta concentradora, mineroducto de 304 km, puerto y Bosque de Huarmey (Botts & Cantuarias, 2003). Este alcance convierte su modelo hídrico en una referencia clave para operaciones de similar magnitud y desafío logístico.

**Avances en Recirculación y Reúso.** Antamina ha logrado reutilizar hasta el 99 % del agua de proceso en planta concentradora, lo que refleja un notable nivel de eficiencia industrial y compromiso con la sostenibilidad hídrica.

**Innovación Ambiental Aplicada.** El Bosque de Huarmey es una iniciativa pionera en restauración ecológica y ha recibido premios por creatividad ambiental. Este proyecto transforma agua tratada en ecosistemas locales con valor ecológico y social.

**Gestión de Riesgos y Gobernanza Hídrica.** Estudios hidrogeológicos identificaron que el riego en el Bosque de Huarmey elevó la napa freática del acuífero de Cascajal, lo que llevó a Antamina a construir pozas de almacenamiento y sustituir el riego por inundación por sistemas tecnificados por microaspersión mejorando la influencia en su entorno; pero las investigaciones locales han detectado niveles elevados de arsénico en agua y población, lo que refuerza la urgencia de una gobernanza hídrica responsable y participativa.

**Legitimidad Frente a Impactos Locales.** Reportes recientes muestran la escasez creciente del agua en comunidades altoandinas y denuncias por envenenamiento con metales pesados en Huarmey. En ese contexto, el caso de Antamina permite explorar si las regulaciones y prácticas técnicas son suficientes o si se requiere una visión más integradora de justicia ambiental.

**Relevancia para Políticas y Normativas Futuras.** Perú impulsa una gestión integrada de los recursos hídricos en cuencas como parte del Plan Nacional Ambiental (PLANAA). Casos como Antamina ilustran cómo las empresas mineras pueden alinearse generando modelos replicables para otros actores mineros.

La gestión integral del agua de Antamina impacta directamente en varios ODS y sus metas específicas alineado con compromisos globales.

En primer lugar, contribuye al ODS 6: Agua limpia y saneamiento; en la meta 6.4 busca “aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos” y Antamina lo cumple recirculando hasta el 99 % del agua en su planta concentradora y reutilizando el agua para regar el Bosque de Huarmey, evitando extraer agua de fuentes naturales; en la meta 6.3, orientada a “mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación”, la empresa realiza monitoreo hidrogeológico con 83 pozos, análisis de parámetros físico-químicos y tratamiento de aguas antes de su uso.

Asimismo, impacta en el ODS 13: Acción por el clima, meta 13.2 busca “integrar medidas contra el cambio climático en políticas y estrategias”; Antamina implementa un modelo de economía circular y proyectos ambientales reduciendo su huella climática.

También contribuye al ODS 12: Producción y consumo responsables, en la meta 12.2 busca “lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales”. La optimización del agua, su reutilización y el enfoque de economía circular son prácticas que responden a este objetivo.

Finalmente, se relaciona con el ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres, en su meta 15.1, que establece “asegurar la conservación, restauración y uso sostenible de los ecosistemas terrestres”. El Bosque de Huarmey es un ejemplo de restauración ecológica en un desierto costero generando biodiversidad en una zona árida.

Antamina ha incorporado voluntariamente en su gestión hídrica prácticas alineadas con el Estándar AWS (Alliance for Water Stewardship), demostrando un enfoque responsable y sostenible en el uso del agua, en concordancia con la normativa peruana. Este estándar promueve la gobernanza, la calidad, el balance hídrico y la conservación, principios que la compañía aplica rigurosamente de manera voluntaria.

Cumple cabalmente con la Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338) y las disposiciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Antamina posee licencias de uso, planes de gestión y sistemas de monitoreo que aseguran eficiencia y sostenibilidad.

En cuanto a descargas, Antamina garantiza que cumplen con los LMP (Límites Máximos Permisibles) para la actividad minera establecidos en el D.S. N.º 010-2010-MINEM y referencialmente cumple con los ECAS aguas (Estándares de Calidad Ambiental para Agua) establecidos en el D.S. N.º 004-20170-MINAM, lo cual asegura que sus vertimientos no afectan los cuerpos receptores naturales (como acuíferos, ríos y lagunas) y que ejecuta un monitoreo hidrogeológico en 83 pozos, reportando resultados a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en línea con el principio AWS de control y transparencia.

De esta forma, Antamina no solo respeta la regulación nacional, sino que adopta voluntariamente estándares internacionales para garantizar la sostenibilidad del agua, la protección de ecosistemas y la seguridad hídrica de las comunidades.

### **1.3. Temas Académicos Vinculados (Marco Teórico)**

#### ***1.3.1. Selección de Temas Académicos***

La gestión integral del agua se ha convertido en un factor crítico para la sostenibilidad operativa, ambiental y social de la minería, especialmente ante la escasez hídrica y el creciente escrutinio social y regulatorio. En este contexto, las empresas deben transitar de modelos lineales a enfoques circulares y resilientes, alineados con estándares internacionales.

El caso de Antamina evidencia este cambio mediante un modelo de gestión integral del agua que destaca por su eficiencia hídrica, autonomía de abastecimiento, valorización de efluentes, gobernanza participativa y cumplimiento de estándares ESG (Environmental, Social and Governance), lo que exige sustentar su análisis en marcos teóricos académicos y contemporáneos.

En ese sentido, se presentan los principales conceptos teóricos que permiten explicar y fundamentar los hallazgos y lecciones aprendidas de este estudio.

**Eficiencia Hídrica y Recirculación en Minería.** La eficiencia hídrica se define como la capacidad de una organización para optimizar el uso del recurso agua en sus procesos productivos, reduciendo el consumo por unidad de producción sin afectar los niveles de desempeño (UNEP, 2021). En el sector minero, donde el agua es un insumo crítico y costoso, este enfoque ha cobrado relevancia estratégica.

Kirchherr et al. (2023) sostuvieron que la aplicación de principios de economía circular al uso del agua permite cerrar ciclos de producción y disminuir pérdidas, impulsando simultáneamente eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental.

Lottermoser (2019) resaltó que, ante escenarios de escasez hídrica y mayor escrutinio social, la recirculación de agua es clave para asegurar la continuidad operativa y reducir la huella hídrica de las operaciones extractivas.

**Abastecimiento Pluvial y Autonomía Hídrica.** La autonomía hídrica se entiende como la capacidad de una operación industrial para abastecerse de agua de manera independiente de fuentes hídricas externas, garantizando su seguridad hídrica a largo plazo (Arroyo & Valdés, 2020). Este concepto está estrechamente vinculado con la resiliencia frente al cambio climático y la reducción de conflictos socioambientales.

El Banco Mundial (2022) señaló que, en sectores de alto consumo hídrico, como la minería, el uso de agua de lluvia y aguas residuales tratadas es una estrategia crítica para

enfrentar los impactos del cambio climático, que alteran la disponibilidad estacional de los recursos hídricos.

Estudios recientes de UN-Water (2023) destacaron que la autonomía hídrica también permite a las empresas reducir su exposición a restricciones regulatorias y sociales relacionadas con el agua.

**Valoración de Efluentes y Servicios Ecosistémico.** La gestión tradicional de efluentes busca solo el cumplimiento normativo (LMP y ECAs agua), pero enfoques recientes promueven su valorización ambiental, es decir, la conversión de aguas residuales tratadas en insumos que aporten beneficios ecológicos o sociales (De Jesus & Mendonça, 2018).

Daily et al. (2009) definieron los servicios ecosistémicos como los beneficios directos e indirectos que las personas obtienen de los ecosistemas, tales como la regulación climática, provisión de hábitats, control de erosión o captación de carbono. Esta perspectiva se ha incorporado en estrategias de sostenibilidad corporativa, donde el tratamiento de efluentes no se concibe como un costo hundido, sino como una oportunidad de generar valor ambiental y reputacional (Hodges et al., 2021).

**Gobernanza Hídrica Participativa.** La gobernanza hídrica participativa se define como el conjunto de reglas, instituciones y procesos mediante los cuales diversos actores (Estado, empresa, sociedad civil y comunidades) toman decisiones sobre el uso y gestión integral del agua (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, [OCDE], 2021). Este enfoque busca asegurar eficiencia, transparencia y legitimidad en la gestión de un recurso vital y limitado.

AWS (2020) estableció la participación de las partes interesadas como uno de sus cinco pilares fundamentales, promoviendo mecanismos de consulta, monitoreo compartido y resolución colaborativa de conflictos.

Gehman et al. (2017) vincularon este enfoque con el concepto de Licencia Social para Operar (SLO), indicando que la aceptación comunitaria es indispensable para sostener operaciones extractivas en el largo plazo.

### **Gestión Estratégica de Recursos Hídricos como Ventaja Competitiva Sostenible.**

La gestión estratégica de recursos hídricos consiste en integrar el uso eficiente, seguro y resiliente del agua como parte central de la planificación y toma de decisiones empresariales, no solo como un requisito operativo o ambiental (Hart & Dowell, 2011). Este enfoque asume que el agua es un recurso escaso y crítico que, bien gestionado, puede convertirse en una fuente de ventaja competitiva sostenible.

Barney (1991) estableció que los recursos que son valiosos, escasos, difíciles de imitar y organizacionalmente aprovechables permiten construir ventajas competitivas sostenibles. En minería, el agua que cumple con estas características cuando su gestión eficiente y segura protege a la empresa de riesgos regulatorios, reputacionales y climáticos, y además reduce costos operativos (Lozano & Garcia, 2020).

Asimismo, Porter y Kramer (2011) añadieron que integrar la sostenibilidad hídrica en el núcleo de la estrategia genera valor compartido, al abordar desafíos sociales y ambientales de manera rentable. De este modo, la gestión del agua deja de ser una función de soporte para convertirse en un activo estratégico que refuerza la posición competitiva de la empresa.

#### ***1.3.2. Relación con el Caso***

El presente caso de estudio analiza el modelo de gestión integral del agua en la industria minera peruana, tomando como referencia el modelo implementado por Antamina, por lo que resulta fundamental vincular los conceptos teóricos seleccionados con el contexto de la industria minera peruana y con los hallazgos obtenidos. Estos conceptos permiten comprender de qué manera las decisiones relacionadas con el uso y manejo del agua pueden

trascender el plano operativo y convertirse en ejes estratégicos que fortalecen la sostenibilidad y competitividad de la empresa.

En primer lugar, el concepto de eficiencia hídrica y recirculación en minería es clave para interpretar los resultados alcanzados por Antamina en la reducción del consumo de agua fresca mediante sistemas cerrados que recirculan hasta el 99 % del recurso. Este enfoque permite evaluar cómo la eficiencia técnica en el uso del agua contribuye directamente a la continuidad operativa y a la reducción de costos en un entorno de creciente escasez hídrica.

Asimismo, el concepto de abastecimiento pluvial y autonomía hídrica resulta esencial para analizar cómo Antamina ha logrado independencia de fuentes hídricas externas a través del uso exclusivo de agua de lluvia. Este marco permitirá examinar la resiliencia de la operación frente a la variabilidad climática y su capacidad para prevenir conflictos socioambientales por el uso compartido del recurso.

Por su parte, el concepto de valorización de efluentes y servicios ecosistémicos permite comprender iniciativas como el Bosque de Huarmey, donde Antamina reutiliza agua tratada para restaurar ecosistemas y generar co-beneficios verificables como captura de carbono, conservación de biodiversidad y desarrollo socio – económico de la región. Este enfoque facilita evaluar cómo la empresa transforma un pasivo ambiental en un activo socioambiental que fortalece su legitimidad.

De igual forma, el concepto de gobernanza hídrica participativa es fundamental para entender el rol de los actores locales en el monitoreo de la calidad del agua y en la toma de decisiones vinculadas a su uso. Este marco permitirá analizar cómo la participación de las comunidades ha contribuido a reducir la conflictividad social y a consolidar la licencia social para operar de Antamina.

Finalmente, el concepto de gestión estratégica de recursos hídricos y ventaja competitiva sostenible posibilita analizar cómo las prácticas de gestión hídrica de Antamina

no solo buscan mitigar impactos ambientales, sino también generar ventajas competitivas al proteger a la empresa de riesgos regulatorios, reputacionales y climáticos. Este enfoque servirá para evaluar cómo el agua puede gestionarse como un recurso estratégico que aporta valor y resiliencia a largo plazo.

En conjunto, estos cinco conceptos constituyen la base analítica para examinar el modelo de gestión integral del agua que aplica Antamina desde una perspectiva estratégica, evaluando su contribución simultánea a la sostenibilidad ambiental, la eficiencia operativa y la legitimidad social.

### ***1.3.3. Síntesis Teórica***

Esta síntesis teórica tiene por objetivo vincular los conceptos académicos seleccionados con el análisis de la industria minera peruana, proporcionando un marco conceptual que oriente la interpretación del caso de Antamina. Estos conceptos permiten explicar cómo la gestión integral del agua puede convertirse en un elemento estratégico que integra eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental, aceptación social y creación de valor competitivo.

La Tabla 2 presenta un resumen de los conceptos teóricos clave, su definición, su aplicación en el caso y las principales fuentes académicas que los sustentan.

### ***1.3.4. Cierre del Subcapítulo***

El marco teórico desarrollado es una base conceptual sólida para analizar la gestión integral del agua desde el enfoque de la economía circular, entendida como un modelo que busca optimizar el uso de recursos, reducir impactos ambientales y generar valor sostenible.

**Tabla 2***Síntesis Teórica*

Concepto Académico	Definición o Explicación	Aplicación en el Caso	Fuente Académica Relevante
Eficiencia hídrica y recirculación en minería	Capacidad de optimizar el uso del agua en procesos productivos, reduciendo el consumo de agua fresca mediante sistemas de recirculación en circuito cerrado.	Analizar cómo Antamina ha alcanzado niveles de recirculación superiores al 97 %, reduciendo costos y su dependencia de fuentes externas para garantizar continuidad operativa.	Kirchherr et al. (2023); Lottermoser (2019); UNEP (2021).
Abastecimiento pluvial y autonomía hídrica	Capacidad de autoabastecerse de agua de manera independiente de fuentes externas, incrementando la seguridad hídrica y reduciendo conflictos socioambientales.	Evaluar cómo Antamina ha operado exclusivamente con agua de lluvia desde sus inicios, asegurando resiliencia frente a la variabilidad climática y estabilidad operativa.	Arroyo & Valdés (2020); Banco Mundial (2022); UN-Water (2023).
Valorización de efluentes y servicios ecosistémicos	Conversión de aguas residuales tratadas en insumos que aporten beneficios ecológicos o sociales, contribuyendo a la regeneración ambiental y reputación corporativa.	Examinar el proyecto Bosque de Huarney, donde Antamina reutiliza agua tratada para restaurar ecosistemas, promover biodiversidad y capturar carbono, generando legitimidad social.	De Jesus & Mendonça (2018); Daily et al. (2009); Hodges et al. (2021).
Gobernanza hídrica participativa	Proceso de toma de decisiones colaborativas sobre el uso del agua entre empresa, Estado y comunidades, basado en transparencia, rendición de cuentas y participación local.	Analizar cómo el monitoreo hídrico participativo y la relación con comunidades han reducido la conflictividad y reforzado la licencia social para operar de Antamina.	AWS (2020); OCDE (2021); Gehman et al. (2017).
Gestión estratégica de recursos hídricos	Integración de la gestión eficiente, segura y resiliente del agua como parte central de la estrategia empresarial para generar ventaja competitiva sostenible.	Evaluar cómo Antamina ha convertido la gestión hídrica en un activo estratégico que protege frente a riesgos regulatorios y climáticos, fortaleciendo su competitividad a largo plazo.	Barney (1991); Hart & Dowell (2011); Porter & Kramer (2011); Lozano & Garcia (2020).

Los cinco conceptos seleccionados (eficiencia hídrica y recirculación, abastecimiento pluvial y autonomía hídrica, valorización de efluentes y servicios ecosistémicos, gobernanza hídrica participativa, y gestión estratégica de recursos hídricos como ventaja competitiva)

permiten abordar de manera integrada las principales dimensiones en la transición de un modelo lineal a uno circular en el uso del agua.

Este marco facilita comprender tanto los procesos técnicos y ambientales involucrados como su incorporación en la estrategia empresarial, posicionando el agua como un recurso clave para la resiliencia, competitividad y aceptación social de las empresas mineras.

Además, permite evaluar los beneficios de aplicar principios de economía circular en contextos de escasez hídrica, presión regulatoria y mayores demandas sociales.

En este contexto, el caso de Antamina se presenta como ejemplo para aplicar estos conceptos en un entorno real de una operación minera de gran escala de reconocimiento mundial.

El análisis del caso no constituye el objetivo central de la investigación, sino un medio para mostrar cómo los principios teóricos aquí expuestos pueden materializarse en prácticas concretas de gestión integral del agua. Así, el marco teórico servirá de guía para el análisis de los capítulos siguientes, centrados en la gestión integral del agua en minería desde una perspectiva de economía circular.

## Capítulo II: Análisis del Caso

En este capítulo se analizó la influencia de los factores externos e internos que condicionaron la gestión hídrica de Antamina, empleando las herramientas PESTEL, AMOFHIT, MEFE, MEFI, FODA y las cinco fuerzas de Porter. Se evaluaron los aspectos de eficiencia hídrica, recirculación, autonomía pluvial, valorización de efluentes y gobernanza participativa. Los resultados evidenciaron que la estrategia hídrica circular de la empresa integró innovación técnica, cumplimiento normativo y participación comunitaria, consolidando un modelo de sostenibilidad empresarial. Asimismo, el análisis permitió vincular los conceptos teóricos desarrollados en el capítulo anterior con evidencia empírica obtenida de fuentes públicas y especializadas. Se abordó tanto el entorno competitivo del sector minero peruano como las prácticas de gestión integral del agua implementadas por Antamina, consideradas un referente en la aplicación de principios de economía circular. Este enfoque facilitó comprender las condiciones que hicieron viable dicha estrategia y sentó las bases para la síntesis crítica y las recomendaciones estratégicas presentadas en el capítulo 3.

### 2.1. Introducción al Análisis del Caso

En esta sección se explica el enfoque metodológico que guiará el desarrollo del capítulo y reafirma los objetivos específicos que lo orientan. Se definirán los criterios de análisis que permitirán vincular los factores externos que inciden en la industria minera con las decisiones internas que han posibilitado la implementación de un modelo de gestión integral del agua basada en principios de economía circular.

Asimismo, se precisará cómo los marcos de análisis PESTEL, MEFE y las cinco fuerzas de Porter servirán para caracterizar el entorno competitivo y social de la minería, mientras que los conceptos definidos en el marco teórico orientarán la interpretación de las prácticas observadas en el caso específico de Antamina.

Esta aproximación garantiza la coherencia metodológica entre el diagnóstico estratégico y el análisis técnico-operativo.

### ***2.1.1. Definir el Enfoque del Análisis***

El análisis del caso seguirá un enfoque multidimensional que combina herramientas de diagnóstico estratégico con la evaluación de resultados documentados. Este enfoque permitirá no solo describir las prácticas de gestión integral del agua implementadas, sino también explicar por qué fueron viables y qué condiciones externas e internas las hicieron posibles en su fase de implementación.

En primera etapa, se analizará el entorno externo y competitivo del sector minero peruano mediante los marcos PESTEL, Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE) y las cinco fuerzas de Porter, con el fin de identificar los principales factores macro ambientales (políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales) y las presiones competitivas que condicionan la adopción de modelos de economía circular en la gestión integral del agua. Este análisis permitirá comprender el nivel de exigencia y oportunidad que enfrenta la industria minera para transformar sus modelos de uso de este recurso crítico.

En segunda etapa, se abordará el análisis interno de Antamina a partir de tres instrumentos complementarios, el Análisis AMOFHIT, la Matriz de Evaluación de Factores Interno (MEFI) y la Matriz FODA, enfocando específicamente el modelo de gestión integral del agua. Este se basará en información pública y documentos técnicos, y se estructurará en torno a cinco ejes conceptuales derivados del marco teórico: eficiencia hídrica y recirculación, abastecimiento pluvial y autonomía hídrica, valorización de efluentes y servicios ecosistémicos, gobernanza hídrica participativa y gestión estratégica de recursos hídricos como ventaja competitiva.

La integración de ambas perspectivas, externa e interna, permitirá comprender de forma sistémica las condiciones que posibilitaron la implementación del modelo de gestión circular, así como evaluar sus resultados operativos, ambientales y sociales. Esta lógica metodológica garantizará que el análisis trascienda la descripción de prácticas puntuales y permita explicar su racionalidad estratégica y su potencial de replicabilidad en otras operaciones mineras.

### ***2.1.2. Reafirmar los Objetivos***

El análisis del caso está orientado por los tres objetivos específicos definidos en el Capítulo 1, los cuales constituyen la columna vertebral de la investigación. Con el fin de mantener la coherencia metodológica, este capítulo se centrará en los dos primeros objetivos, mientras que el tercero será abordado en el Capítulo 3, a partir de los hallazgos obtenidos en el presente análisis.

El primer objetivo busca describir el impacto en la sostenibilidad operativa derivado de la gestión integral del agua mediante la recirculación del agua utilizada en el proceso. Su abordaje permitirá analizar el desempeño técnico y operativo de esta estrategia, evaluando su contribución a la eficiencia de los procesos, la reducción del consumo de agua fresca y la mitigación de riesgos asociados a la escasez hídrica.

El segundo objetivo se orienta a analizar cómo la reutilización del agua en iniciativas ambientales genera impactos tangibles en el ecosistema y en la percepción comunitaria. Este análisis incluirá proyectos como el Bosque de Huarmey y la reforestación de Huari, considerando sus beneficios ambientales, restauración de áreas degradadas, conservación de la biodiversidad y regulación hídrica, así como su rol en el fortalecimiento de la relación de confianza con las comunidades aledañas.

El tercer objetivo, centrado en extraer lecciones aprendidas y buenas prácticas replicables para otras empresas y para la formulación de políticas públicas en minería, se desarrollará en el Capítulo 3, a partir de los resultados obtenidos a lo largo del estudio.

### ***2.1.3. Estructura del Subcapítulo***

En este marco, el Capítulo 2 se centra en los Objetivos 1 y 2 por lo que la sección 2.2 examinará los factores contextuales y organizacionales que explican la adopción de prácticas de recirculación y reutilización de agua en Antamina, mediante herramientas como el análisis PESTEL, MEFE y las cinco fuerzas de Porter, para comprender cómo elementos externos, como exigencias regulatorias, presiones sociales o disponibilidad hídrica, junto con condiciones internas como capacidades técnicas, visión estratégica y cultura organizacional, han configurado sus decisiones.

Posteriormente, en la sección 2.3, se presentarán los resultados del trabajo de campo documental, que incluyen indicadores cuantitativos sobre recirculación y reutilización de agua, así como percepciones cualitativas de actores clave. Esta evaluación permitirá valorar el grado de efectividad de la estrategia implementada, sus resultados concretos y sus implicancias para los distintos grupos de interés.

Finalmente, estos hallazgos sentarán las bases para el Capítulo 3, donde se abordará el Objetivo 3 desde un enfoque integrador, orientado a la síntesis crítica de aprendizajes y la formulación de recomendaciones estratégicas para el sector minero.

## **2.2. Análisis del Entorno**

### ***2.2.1. Identificación de Tendencias Clave***

A continuación, se examinan los factores contextuales que inciden en la gestión hídrica circular de Antamina, utilizando la metodología PESTEL, herramienta estratégica que permite evaluar el entorno externo de una organización considerando seis dimensiones: Política, Económica, Social, Tecnológica, Ecológica y Legal; siendo su propósito es

identificar factores externos que pueden influir positiva o negativamente en la operación y en la sostenibilidad de un proyecto o empresa.

En el caso de la minería, y particularmente en la gestión integral del agua, el PESTEL resulta relevante porque las decisiones relacionadas con el recurso hídrico no solo dependen de la eficiencia interna de la empresa, sino también de un contexto amplio: regulaciones ambientales, disponibilidad de agua frente al cambio climático, expectativas de comunidades, costos energéticos de tratamiento, avances tecnológicos en recirculación y presión de inversionistas que exigen cumplimiento de estándares internacionales.

Aplicar PESTEL a la gestión integral del agua que ha implementado Antamina (2019–2024) permite comprender cómo estas fuerzas externas han condicionado su estrategia hídrica circular, consolidada en un modelo de recirculación hasta el 99%, el uso exclusivo de agua pluvial y proyectos de valor compartido como el Bosque de Huarmey. Ver Tabla 3.

En el análisis PESTEL sobresalen algunos puntos:

**Político.** Un entorno regulatorio cada vez más exigente obliga a la minera a fortalecer su gestión hídrica y demostrar compromiso con sostenibilidad.

**Económico.** La eficiencia en el uso y recirculación del agua reduce costos y fortalece la competitividad en un mercado global sensible a la sostenibilidad.

**Social.** La presión de comunidades y opinión pública impulsa mayor transparencia y acciones de valor compartido en torno al recurso hídrico.

**Tecnológico.** Se incorporan sistemas avanzados de recirculación, monitoreo y tratamiento, que potencian la innovación en gestión del agua.

**Ecológico.** La disponibilidad limitada de agua en la región y los impactos del cambio climático obligan a estrategias de economía circular más robustas en cuanto la gestión integral del agua.

**Tabla 3***Análisis PESTEL Antamina (gestión integral del agua) 2019–2024*

Dimensión	Factores Clave	Implicancias para Antamina
P – Político	Política pública de agua y fiscalización multisectorial (SENACE, ANA, MIDAGRI, SERNANP, SERFOR, MINCUL) en procesos de evaluación ambiental (MEIA).	Mayor escrutinio y coordinación con agencias; exigencia de trazabilidad y metas.
	Reconocimiento estatal a la eficiencia hídrica mediante Certificado Azul (ANA).	Reputación reforzada por certificaciones voluntarias.
	Agenda de inversión pública/privada en seguridad hídrica territorial (OXI: riego, saneamiento).	Ventana para cofinanciar obras hídricas y fortalecer licencia social.
E – Económico	Volatilidad del precio del cobre 2023–2025; proyecciones 2024–2025 con sesgo al alza moderado por transición energética.	Necesidad de eficiencia hídrica/energética para mantener competitividad en escenarios de precio fluctuante.
	Sensibilidad de costos operativos a energía para bombeo/tratamiento de agua.	Justifica CAPEX/OPEX en recirculación y optimización.
S – Social	Conflictividad social persistente en Perú con alta proporción socioambiental; 196–209 casos totales reportados 2024.	Mantener transparencia y participación reduce riesgos de percepción en torno al agua.
	Mecanismos de monitoreo participativo agua con comunidades y autoridades.	Integrar proyectos de valor compartido hídrico fortalece licencia social.
T – Tecnológico	Circuito de alta recirculación de agua (hasta 99% 2022–2023).	Optimización de balances hídricos en tiempo casi real; soporte a decisiones operativas/regulatorias.
	Modelos predictivos de calidad de agua para anticipar escenarios operativos.	
	Políticas/estándares internos de gestión del agua formalizados.	Base para gemelos digitales/IA en gestión hídrica.
E – Ecológico	100% del agua utilizada proviene de lluvias (fuente superficial captada); evita competencia con terceros.	Enfoque de cuenca y resiliencia climática es crítico (reservorios, manejo de avenidas, reforestación).
	Cumplimiento 2023: 100% vs. LMP/ECA y permisos ANA.	
	Exposición a eventos extremos (p. ej., Ciclón Yaku 2023) y variabilidad climática andina.	Mantener desempeño de recirculación y calidad sostiene el valor reputacional.
L – Legal	ECA Agua (D.S. 004-2017-MINAM) y categorías de calidad; referencia obligatoria para cuerpos receptores.	Cumplimiento regulatorio como umbral; tendencia a mayor transparencia y trazabilidad.
	LMP efluentes minero-metalúrgicos (D.S. 010-2010-MINAM).	
	Requerimientos de permisos ANA para extracción/vertimiento (R.J. 224-2012-ANA) y reportabilidad (GRI 303).	Necesidad de gestión documental y verificación independiente.

**Legal.** Normativas ambientales más estrictas y la fiscalización de OEFA demandan cumplimiento continuo y adaptación a nuevos estándares.

A partir de la información obtenida en la metodología PESTEL, se elaboró la Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE), con el objetivo de cuantificar la respuesta estratégica de la compañía frente a dichas tendencias. Esta matriz pondera las oportunidades y amenazas identificadas, otorgando un valor que refleja la capacidad de adaptación de Antamina a su entorno operativo. El resultado global (3.26) indica una posición sólida y proactiva sustentada en políticas corporativas alineadas a estándares internacionales (GRI 303, ICMM) y en su liderazgo en innovación tecnológica hídrica, aunque persisten desafíos vinculados con la variabilidad climática, los costos energéticos y la gestión social del recurso agua. Ver Tabla 4.

En conjunto, ambos instrumentos muestran que las principales tendencias que configuran el entorno de Antamina se orientan hacia la regulación ambiental más estricta, la digitalización de la gestión hídrica, la presión social por la transparencia, la transición energética y la adaptación climática, factores que determinan la agenda estratégica de sostenibilidad hídrica en la minería peruana.

### ***2.2.2. Análisis de Competencia***

Aplicando el modelo de Porter a este caso específico (economía circular en la gestión integral del agua en Antamina), el análisis toma un matiz particular, pues no se trata de un producto comercial tradicional sino de una estrategia interna en el contexto de la industria minera. Aun así, estas cinco fuerzas aportan perspectivas sobre las presiones competitivas y de entorno de negocio que pueden influir en la gestión integral del agua. Ver Tabla 5.

**Tabla 4***Matriz de Evaluación de los Factores Externos (MEFE) – Antamina (2019–2024)*

Factores Determinantes de Éxito	Peso	Valor	Ponderación
<b>Oportunidades</b>			
1. Reconocimiento estatal y certificación hídrica (Certificado Azul, ANA).	0.1	4	0.4
2. Avances tecnológicos e IA para optimización de balances hídricos y monitoreo predictivo.	0.09	4	0.36
3. Inversión público-privada en seguridad hídrica territorial (OXI, riego, saneamiento).	0.08	3	0.24
4. Políticas nacionales y multilaterales de sostenibilidad (alineamiento GRI 303, ICMM).	0.08	3	0.24
5. Financiación verde/ESG para proyectos hídricos y ecosistémicos.	0.07	3	0.21
6. Innovaciones ecológicas: relaves filtrados, enfriamiento en seco, reúso.	0.08	4	0.32
<b>Subtotal Oportunidades</b>	<b>0.5</b>		<b>1.77</b>
<b>Amenazas</b>			
1. Variabilidad climática y eventos extremos (El Niño/La Niña, Ciclón Yaku 2023).	0.12	3	0.36
2. Incremento de costos energéticos y de tratamiento hídrico.	0.1	3	0.3
3. Mayor exigencia regulatoria y trazabilidad de datos (GRI, ANA, MINAM).	0.09	4	0.36
4. Conflictos socioambientales en cuencas contiguas.	0.09	3	0.27
5. Riesgos de infraestructura hídrica (roturas, fallas en relaves).	0.06	2	0.12
6. Disminución de leyes de mineral y mayor intensidad hídrica.	0.04	2	0.08
<b>Subtotal Amenazas</b>	<b>0.5</b>		<b>1.49</b>
<b>Total General</b>	<b>1</b>		<b>3.26</b>

**Tabla 5***Análisis Cinco fuerzas de Porter - Gestión integral de agua Antamina (2019–2024)*

Fuerza	Intensidad	Principales impulsores (foco hídrico)
Rivalidad entre competidores	Media–Alta	Exigencias ESG de mercado, escrutinio social/ambiental, necesidad de mantener costos hídricos bajos y desempeño verificable (GRI 303, certificaciones).
Poder de negociación de los proveedores	Media	Dependencia de tecnologías avanzadas clave (espesamiento/filtrado, sensores, químicos), costos energéticos para bombeo/recirculación, riesgo de dependencia excesiva de un único proveedor.
Poder de negociación de los compradores	Media–Alta	Creciente preferencia/condicionalidad por cobre con menor huella de agua y reportes auditables; potenciales primas/descuentos ESG.
Amenaza de nuevos entrantes	Baja	Altísimas barreras de capital, trazabilidad hídrica, permisos ANA, licencia social, estándares internacionales y madurez tecnológica requerida.
Amenaza de productos sustitutos	Baja–Media	Sustitución material cobre (aluminio/fibra óptica) y mayor reciclaje; para el insumo agua, sustitución tecnológica (relaves filtrados, enfriamiento en seco, optimización).

A continuación, se profundiza en el análisis específico de cada una de estas fuerzas:

**Rivalidad entre Competidores (Media–Alta).** Con los siguientes indicadores:

Impulsores clave: (i) La presión competitiva no es solo de costos operativos; incluye desempeño hídrico trazable (% de recirculación, menor consumo específico m<sup>3</sup>/t Cu, cumplimiento GRI 303 (*Global Reporting Initiative*)); (ii) La legitimidad social depende de no competir por agua con otros usuarios: usar agua de lluvia almacenada y recircular hasta el 99% reduce riesgo reputacional; (iii) La transparencia (monitoreo participativo, reportes verificables) eleva la vara competitiva.

Dinámica: Operaciones comparables en Perú y la región comunican metas y logros en circularidad del agua; ello intensifica la rivalidad “por reputación ESG (*Environmental, Social and Governance*)”, además del tradicional margen por costos. La innovación en

tratamiento/recuperación de agua (relaves espesados/filtrados, control de polvo con agua reciclada) se convierte en ventaja operativa y de mercado.

Estrategia recomendada: Profundizar en innovación incremental (optimización de balance hídrico por IA/gemelo digital), verificación externa (certificados, auditorías) y divulgación proactiva de KPIs (Key Performance Indicator)  $m^3/t$ , % reciclaje, vertidos = 0), para sostener diferenciación y barreras reputacionales.

**Poder de Negociación de los Proveedores (Media).** Quiénes son: Proveedores de tecnologías hídricas (espesadores, filtros, instrumentación y control), químicos (floculantes/coagulantes), servicios analíticos (laboratorios, monitoreo), energía (eléctrica/combustibles), e ingeniería/obras (reservorios, conducciones).

Riesgos: (i) Concentración tecnológica y riesgo de lock-in (plataformas propietarias, repuestos críticos); (ii) Volatilidad energética afecta el costo unitario del  $m^3$  recirculado (bombeo, tratamiento); (iii) Plazos de entrega de equipos críticos y capacidad local de mantenimiento.

Mitigaciones: (i) Multiproveedor y contratos de desempeño SLA (Services Level Agreement) /KPI de recuperación de agua, disponibilidad de equipos); (ii) Estandarización y especificaciones abiertas para reducir dependencia; (iii) Gestión energética (eficiencia, acuerdos de suministro renovable) para amortiguar costos; (iv) Capacitación y repuestos críticos in-house para mantenimiento.

**Poder de Negociación de los Compradores (Media–Alta).** Quiénes son: Fundiciones, traders y clientes industriales que valoran trazabilidad ESG (agua, carbono, residuos). Inversionistas/acreedores también actúan como “compradores” de riesgo ESG a través de convenios y financiamiento sostenible.

Tendencias: (i) Mayor demanda de divulgación y cumplimiento GRI 303 y consistencia de datos; (ii) preferencia por cobre con menor huella hídrica (posible prima) o

descuento ante señales de riesgo (conflictos por agua, incumplimientos); (iii) condiciones de financiamiento ligadas al cumplimiento de metas específicas sobre gestión del agua (costo del financiamiento puede subir o la empresa podría perder beneficios financieros).

Respuesta estratégica: (i) Acuerdos comerciales que reconozcan atributos hídricos (p. ej., certificaciones, cero descargas, % reciclaje); (ii) aseguramiento de datos (auditorías, aseguramiento limitado/razonable) para credibilidad; (iii) innovación en producto: etiquetado ESG y participación en iniciativas de “cobre responsable”.

**Amenaza de Nuevos Entrantes (Baja).** Barreras: (i) Capital intensivo y complejidad técnica de circularidad del agua (reservorios, grandes sistemas de recirculación); (ii) Permisos y cumplimiento (ANA, LMP/ECAs), con exigencias de monitoreo y transparencia; (iii) Aceptación social: sin un diseño hídrico que no compita por agua y mecanismos de participación, la viabilidad social es baja. (iv) Curva de aprendizaje tecnológica y capacidad operativa para mantener hasta el 99% de recirculación a gran escala.

Implicación: La posición instalada con infraestructura hídrica madura, programas participativos y desempeño verificado se traduce en ventaja de incumbencia difícil de replicar por entrantes.

**Amenaza de Productos Sustitutos (Baja–Media).** Sustitutos del producto cobre: En ciertos usos es el aluminio (conductores/transferencia térmica), fibra óptica (telecom), y cobre reciclado (chatarra) que reduce demanda de cobre primario. El avance de la electrificación y renovables mantiene fuerte la demanda, moderando la sustitución.

Sustitutos del insumo agua: Tecnologías que reducen el agua en el proceso de relaves filtrados, aumento de espesamiento, enfriamiento en seco, supresión de polvo de baja demanda hídrica, y optimización de uso doméstico/industrial (reuso).

Implicación: La estrategia de alta recirculación y uso de agua pluvial ya internaliza el “riesgo sustituto” del agua, adelantando a potenciales exigencias futuras. Mantener vigilancia sobre nueva tecnología que baje más el consumo específico.

La estructura competitiva en torno a la circularidad del agua en Antamina favorece a un desempeño hídrico alto, trazable y socialmente validado. Las presiones más relevantes provienen de compradores e inversionistas con criterios ESG estrictos y de la rivalidad reputacional por liderazgo en sostenibilidad. La combinación de innovación tecnológica, gestión de proveedores, transparencia auditada y valor compartido territorial mitiga los poderes externos y transforma el desempeño hídrico en ventaja competitiva sostenible.

### ***2.2.3. Análisis de Oportunidades y Amenazas***

El análisis de oportunidades y amenazas en la gestión hídrica circular de Antamina se desarrolló a partir de tres instrumentos complementarios: el Análisis AMOFHIT, la Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) y la Matriz FODA. Estos permiten identificar la capacidad de la organización para aprovechar sus fortalezas, superar debilidades y responder a los desafíos del entorno mediante estrategias sostenibles e innovadoras.

El Análisis AMOFHIT examina el desempeño de Antamina desde siete dimensiones funcionales: administración, marketing, operaciones, finanzas, recursos humanos, sistemas de información y tecnología. Ver Tabla 6.

Los resultados muestran una organización con una estructura de gobernanza ambiental consolidada, una cultura corporativa orientada a la sostenibilidad y un uso avanzado de herramientas digitales para la gestión hídrica. Las principales oportunidades se concentran en fortalecer la eficiencia energética y diversificar la innovación tecnológica para reducir la dependencia de proveedores y mejorar la trazabilidad de los datos.

Posteriormente, la Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) permitió cuantificar el nivel de solidez organizacional frente a los desafíos de circularidad hídrica. Con

un puntaje total de 3.10, Antamina demuestra una posición interna fuerte, sustentada en altos estándares de recirculación (97–99 %), abastecimiento pluvial, certificaciones ambientales (ISO 14001, GRI 303) y reconocimientos institucionales (Certificado Azul).

**Tabla 6**

*Análisis AMOFHIT – Antamina (2019–2024)*

Área	Aspectos relevantes identificados	Implicancias estratégicas para la gestión hídrica circular
A. Administración y gerencia	Liderazgo institucional comprometido con la sostenibilidad; políticas alineadas a ICMM, GRI 303 y metas de economía circular; modelo de gobernanza ambiental consolidado.	Permite integrar la gestión del agua a la estrategia corporativa de sostenibilidad y fortalecer la licencia social mediante decisiones basadas en evidencia.
M. Marketing y ventas	Comunicación proactiva de logros ambientales (p. ej., Certificado Azul); posicionamiento de Antamina como empresa minera responsable; relación transparente con stakeholders.	Mejora la reputación corporativa y contribuye a diferenciar la marca minera en mercados sensibles al desempeño ESG, atrayendo inversionistas sostenibles.
O. Operaciones y logística–infraestructura	Alta eficiencia en recirculación (97–99%); uso de agua pluvial; implementación del Bosque de Huarmey como infraestructura verde; monitoreo continuo.	Aumenta la resiliencia operativa frente a variabilidad climática; optimiza uso del recurso hídrico y reduce riesgo de conflictos por agua.
F. Finanzas y contabilidad	Presupuestos dedicados a proyectos hídricos; acceso a financiamiento verde (bonos ESG); registro contable de indicadores de sostenibilidad; CAPEX en innovación hídrica.	Facilita inversiones sostenibles y reduce el costo de capital al vincular desempeño ambiental con indicadores financieros.
H. Recursos humanos	Cultura organizacional orientada a sostenibilidad; programas de capacitación en gestión hídrica y ambiental; participación de personal técnico local.	Potencia capacidades internas para implementar nuevas tecnologías y mantener estándares ambientales exigentes.
I. Sistemas de información y comunicaciones	Uso de plataformas digitales para monitoreo ambiental; reportes públicos (GRI, ICMM); trazabilidad mediante dashboards y sensores; IA para pronóstico hídrico.	Favorece la transparencia, la rendición de cuentas y la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.
T. Tecnología e investigación y desarrollo	Inversiones en tecnologías limpias (relaves filtrados, “dry cooling”, modelado digital); colaboración con universidades y centros de innovación.	Promueve la innovación continua y la adaptación tecnológica hacia la minería circular, reduciendo la dependencia de insumos críticos y proveedores únicos.

Las debilidades identificadas —como la dependencia climática y los costos energéticos— evidencian la necesidad de continuar invirtiendo en innovación tecnológica y eficiencia operativa. Ver Tabla 7.

**Tabla 7**

*Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) – Antamina (2019–2024)*

Factores determinantes de éxito			
Fortalezas	Peso	Valor	Ponderación
1. Alta recirculación del agua de proceso (97–99%) con meta 100% a 2030.	0.12	4	0.48
2. Abastecimiento exclusivo de agua de lluvia (sin competir con uso poblacional).	0.08	4	0.32
3. Reúso externo del agua tratada (Bosque de Huarney) con beneficios ecosistémicos.	0.09	4	0.36
4. Sistemas y estándares internos de gestión hídrica certificados (ISO 14001, GRI 303).	0.1	4	0.4
5. Monitoreo participativo y transparencia con comunidades y autoridades.	0.09	3	0.27
6. Reconocimientos externos (Certificado Azul ANA, ICMM Water Stewardship).	0.07	3	0.21
Subtotal Fortalezas	0.55		2.04
Debilidades			
1. Dependencia de una única fuente de abastecimiento (lluvias estacionales).	0.09	2	0.18
2. Pérdidas inevitables por evaporación y humedad en relaves.	0.06	2	0.12
3. Trazabilidad limitada de datos públicos (agregación anual).	0.07	2	0.14
4. Complejidad y costos de operación y mantenimiento hídrico.	0.08	3	0.24
5. Exposición reputacional ante eventos imprevistos (contingencias en relaves).	0.08	3	0.24
6. Demanda energética alta en sistemas de recirculación (sensibilidad a precios).	0.07	2	0.14
Subtotal Debilidades	0.45		1.06
Total General	1		3.1

Finalmente, la Matriz FODA integra la información obtenida en los análisis internos y externos, proporcionando una visión estratégica de los factores que influyen en la sostenibilidad hídrica de Antamina. Este análisis constituye una metodología estratégica que permite evaluar, de manera integral, las fortalezas y debilidades internas de una organización, así como las oportunidades y amenazas que provienen del entorno externo. Aplicada a la gestión integral del agua en Antamina, esta herramienta facilita identificar los factores internos que han consolidado a la empresa como referente en el uso eficiente del agua; como la recirculación hasta el 99% o el uso exclusivo de agua pluvial; y los retos asociados a costos operativos y dependencia climática. Al mismo tiempo, revela oportunidades de innovación tecnológica y cooperación territorial, junto con amenazas derivadas del cambio climático, la conflictividad social y la creciente rigurosidad regulatoria. Las estrategias derivadas; agrupadas en los cuadrantes FO, DO, FA y DA; orientan la acción hacia la innovación tecnológica, la resiliencia climática y la cooperación multisectorial como ejes de la economía circular hídrica. Ver Tabla 8

Antamina presenta un modelo robusto de economía circular hídrica, sustentado en recirculación masiva, fuentes no disruptivas, reúso con impacto ambiental positivo, gobernanza certificada y reconocimiento externo. Las debilidades están relacionadas principalmente con dependencia climática, pérdidas inevitables y costos operativos que requieren gestión continua. Las oportunidades permiten consolidar avances mediante tecnología, financiamiento verde y replicación de prácticas exitosas. Sin embargo, amenazas como variabilidad climática extrema, regulaciones más estrictas y presiones energéticas deben abordarse de manera proactiva para mantener la sostenibilidad a largo plazo.

Tabla 8

## Matriz FODA de la Gestión Integral del Agua en Antamina (2019–2024)

Fortalezas (F)		Debilidades (D)
F1. Alta recirculación de agua de proceso ( $\approx$ 99%), con meta corporativa de 100% a 2030.		D1. Dependencia de una sola fuente de abastecimiento (reservorios que dependen de la estacionalidad de lluvias)
F2. Abastecimiento fresco exclusivamente pluvial (no compete con agua de uso poblacional/agrícola).		D2. Pérdidas inevitables por evaporación y humedad en relaves; brecha remanente para llegar a 100% de recirculación.
F3. Reúso externo del agua tratada del proceso en el Bosque de Huarmey (cero descargas líquidas; beneficios ecosistémicos y captura de CO <sub>2</sub> ).		D3. Datos públicos con agregación anual; trazabilidad granular limitada para ciertos indicadores operativos.
F4. Sistemas, políticas y estándares internos de gestión del agua; modelos predictivos de calidad de agua; ISO 14001.		D4. Complejidad y costos de O&M de infraestructura hídrica (bombeo, tratamiento, monitoreo continuo).
F5. Monitoreo participativo y transparencia (programas con comunidades y autoridades).		D5. Exposición reputacional ante eventos operativos inesperados (p. ej., contingencias en mineroducto/relaves).
F6. Reconocimientos externos (p. ej., Certificado Azul de ANA) y alineamiento con estándares (GRI 303).		D6. Demanda energética asociada al manejo/recirculación de grandes volúmenes (sensibilidad a precios de energía).
Oportunidades (O)	FO. Explota	DO. Busque
O1. Tecnologías para elevar la recuperación hídrica: relaves espesados/filtrados, optimización de torres de enfriamiento, enfriamiento “seco”.	FO1 Expandir el modelo de recirculación del 97–99 % hacia proyectos satélites (p. ej., PTAR rurales o reforestación tipo Bosque de Huarmey). F1, F3, F6 + O3, O5	DO1 Implementar tecnologías de bajo consumo energético (enfriamiento seco, relaves espesados) para compensar la alta demanda energética. D2, D6 + O1
O2. Gemelos digitales/IA (digital twin) para balance hídrico dinámico, pronóstico y optimización en tiempo real.	FO2 Integrar gemelos digitales e IA para optimizar balance hídrico en tiempo real y anticipar riesgos de sequía o exceso. F4, F5 + O2	DO2 Crear una plataforma pública de transparencia hídrica (datos abiertos) que permita trazabilidad y confianza social. D3, D5 + O2, O6
O3. Ampliación de proyectos de valor compartido hídrico (riego tecnificado, siembra–cosecha de agua, PTAR rurales).	FO3 Acceder a financiamiento verde (bonos ESG o carbono) para fortalecer proyectos de recuperación hídrica. F3, F6 + O4	DO3 Diversificar fuentes de abastecimiento (reúso, captación pluvial ampliada, alianzas comunitarias). D1, D4 + O3, O5
O4. Acceso a financiamiento verde/ESG y mercados de bonos de carbono por captura/rehabilitación ecosistémica.		
O5. Replicabilidad/escala del Bosque de Huarmey y reforestaciones altoandinas como sumideros hídricos–carbono.		
O6. Integración de metas hídricas con descarbonización y resiliencia climática corporativa.		
Amenazas (A)	FA. Confronte	DA. Evite
A1. Variabilidad y cambio climático (El Niño/La Niña) que alteren el régimen de precipitaciones y aumenten eventos extremos.	FA1 Usar certificaciones (ISO 14001, Certificado Azul) y monitoreo participativo para fortalecer reputación frente a eventos climáticos extremos. F5, F6 + A1, A3	DA1 Desarrollar alianzas con universidades y centros de investigación para reducir dependencia tecnológica y mejorar capacidades locales. D1, D4 + A2, A5
A2. Mayor exigencia regulatoria en vertimientos/huella hídrica y trazabilidad de datos (costos de cumplimiento).	FA2 Innovar en eficiencia energética y gestión circular para mitigar impactos del aumento de costos operativos. F2, F4 + A4	DA2 Fortalecer monitoreo y mantenimiento preventivo para evitar fallas críticas en infraestructura hídrica. D5, D6 + A1, A4
A3. Riesgos de conflictividad social por percepciones sobre el agua en cuencas contiguas.	FA3 Consolidar la resiliencia institucional mediante modelos predictivos de riesgo hídrico y protocolos de emergencia.	DA3 Ajustar estrategias de planificación hídrica ante escenarios climáticos adversos (El Niño/La Niña). D1, D2 + A1
A4. Incremento de costos energéticos/insumos de tratamiento que afecte el costo unitario del m <sup>3</sup> recirculado.		
A5. Riesgos de infraestructura (fallas en mineroducto, relaves, diques) con potencial impacto hídrico.		
A6. Disminución de leyes de mineral que eleve m <sup>3</sup> /ton si no se compensa con eficiencia adicional.		

## **2.3. Resultados del Trabajo de Campo**

### ***2.3.1. Definir el Trabajo de Campo***

El presente estudio adopta un enfoque descriptivo y de caso de estudio, centrado en la gestión integral del agua, aplicando conceptos de economía circular en Antamina. La metodología fue ajustada para basarse exclusivamente en fuentes secundarias de información de dominio público. En lugar del trabajo de campo directo, se llevó a cabo una revisión documental exhaustiva, recopilando datos de reportes de sostenibilidad de la empresa, comunicados de prensa, artículos técnico-periodísticos y entrevistas publicadas a líderes del sector minero (Antamina, 2024a; Cruz, 2022; Desde Adentro, 2022). Esta estrategia permitió obtener información veraz y actual sobre el uso eficiente del agua, prácticas de reutilización y percepciones de la gestión hídrica en Antamina, manteniendo la validez del estudio sin comprometer la calidad de los hallazgos.

Para garantizar la confiabilidad de la información recopilada, se priorizaron fuentes oficiales y especializadas. Por ejemplo, se revisaron los informes ambientales y de sostenibilidad de Antamina, donde se documentan indicadores hídricos (como porcentajes de recirculación de agua y volúmenes de consumo) y el cumplimiento de estándares de calidad de agua supervisados por organismos reguladores (ANA, 2023; SENACE, 2025).

Adicionalmente, se incluyeron datos y testimonios de representantes de Antamina difundidos en medios del sector minero, como declaraciones de gerentes ambientales en revistas especializadas y en eventos industriales. Estas fuentes secundarias proporcionaron perspectivas tanto técnicas como contextuales, sustituyendo adecuadamente la información que se habría obtenido mediante entrevistas directas.

En cuanto al procedimiento de análisis, se utilizó la técnica de análisis de contenido para sintetizar la información de las diversas fuentes. Se extrajeron las cifras clave (porcentaje de agua reutilizada, metas de recirculación, extensión de proyectos de

reutilización, etc.) y se compararon entre fuentes independientes para triangular la veracidad de los datos. Asimismo, se examinaron las narrativas presentadas en entrevistas y artículos periodísticos para identificar las percepciones y actitudes hacia la economía circular del agua en la minería. Este enfoque metodológico adaptado permitió cumplir con los objetivos de la investigación, brindando un panorama completo de la gestión hídrica circular en Antamina basado en información pública disponible

### ***2.3.2. Descripción de la Metodología***

El diseño metodológico de la investigación se sustentó en la recopilación y análisis de información secundaria pública. En primera instancia, se definieron las categorías de análisis relacionadas con la gestión integral del agua; con enfoque en la economía circular; en minería: (a) fuentes de abastecimiento de agua, (b) eficiencia y recirculación en procesos productivos, (c) tratamiento y reutilización de efluentes, y (d) gestión participativa y cumplimiento ambiental. A partir de estas categorías, se elaboró un plan de búsqueda de información en bases de datos académicas, portales de noticias especializadas en minería y el sitio web oficial de Antamina (<https://www.antamina.com/>).

Las fuentes de información incluyeron principalmente documentos corporativos y regulatorios. Se revisaron los reportes de sostenibilidad más recientes de Antamina (2021, 2022 y 2023) que ofrecen datos cuantitativos sobre el manejo del agua. De dichos reportes se extrajo información como: "el 100% del agua consumida en nuestras operaciones proviene del agua superficial recolectada de lluvias", lo cual indica que Antamina no utiliza fuentes externas distintas a la precipitación para su operación. Asimismo, estos informes detallan los porcentajes de reutilización de agua en planta concentradora y otras iniciativas ambientales.

Paralelamente, se consultaron comunicados de prensa de Antamina y publicaciones de gremios mineros (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, entre otros) donde se divulgan metas corporativas y logros en materia

hídrica. Un ejemplo es la revista Desde Adentro (SNMPE, 2022), donde la Gerente de Planificación Ambiental de Antamina señaló el objetivo de recircular el 100% del agua usada en procesos para 2030.

Adicionalmente, se incorporaron notas periodísticas y entrevistas a líderes del sector para enriquecer el contexto. Una entrevista relevante fue la realizada a Roberto Manrique, Gerente de Medio Ambiente de Antamina, publicada en Horizonte Minero (2021), de la cual se tomaron datos importantes: por ejemplo, más del 97% del agua empleada en la producción de concentrados proviene de la reutilización de aguas de la poza de relaves. También destacó que el 100% del agua utilizada por Antamina es agua de lluvia captada, sin extraer de fuentes superficiales o subterráneas ajenas, subrayando el compromiso de la mina con el uso sostenible del recurso. Igualmente, se recopilaron declaraciones sobre proyectos emblemáticos como el Bosque de Huarmey: área reforestada en el desierto costero gracias al riego con agua tratada proveniente del proceso minero.

Estas entrevistas y reportajes complementaron los datos duros con perfiles cualitativos sobre las motivaciones y estrategias de la empresa en materia de economía circular.

Cabe mencionar que se contrastaron las cifras y declaraciones obtenidas con información de entidades regulatorias peruanas. Por ejemplo, la participación de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en el monitoreo participativo de la calidad del agua de Antamina fue verificada a través de menciones en prensa especializada.

La investigación documental incluyó la revisión de normativas y licencias hídricas aplicables a Antamina, asegurando que la discusión de resultados considere el marco legal vigente (p.ej., límites máximos de vertimiento, derechos de uso de agua otorgados por ANA).

En síntesis, la combinación de fuentes corporativas, periodísticas y regulatorias permitió obtener un conjunto robusto de datos secundarios. Este enfoque metodológico

compensó la ausencia de mediciones directas, proporcionando evidencia suficiente y diversa para analizar la aplicación de principios de economía circular en la gestión del agua de Antamina. La validez de los hallazgos se sostiene en la convergencia de múltiples fuentes independientes, mientras que la confiabilidad se refuerza mediante la utilización de información oficial y actualizada.

### ***2.3.3. Presentación de los Resultados***

Los resultados encontrados permiten a los investigadores afirmar que la gestión integral del agua que viene implementando Antamina se caracteriza por eficiencia operacional, minimización del consumo de agua fresca y cumplimiento de estándares ambientales. Hasta el 99 % del agua utilizada en los procesos es recirculada internamente, y el abastecimiento de agua fresca proviene exclusivamente de las precipitaciones pluviales captadas en reservorios propios, sin afectar cuerpos de agua naturales (Antamina, 2024a; Antamina, s. f.-a; Antamina, s. f.-b). Estas prácticas reflejan el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y la reducción de impactos negativos sobre el entorno natural, en línea con lo que Watson et al. (2009) identificaron como un reto crítico de sostenibilidad en la minería peruana.

El circuito de molienda y flotación funciona casi como un sistema cerrado, donde el agua recuperada de la presa de relaves se trata y reincorpora al proceso.

El proceso de tratamiento de efluentes en sus plantas de tratamiento con tecnologías avanzadas garantiza el cumplimiento de los LMP y referencialmente los ECAs agua.

Iniciativas emblemáticas, como el Bosque de Huarney, utilizan agua tratada del transporte de concentrado en el mineroducto para irrigar generando nuevos hábitats para flora y fauna local (Energiminas, 2024; Rumbo Minero, 2024).

Este tipo de proyectos coincide con experiencias documentadas en la literatura sobre gestión circular de recursos hídricos en minería (Julca, 2022; García Ccahuana, 2025)

generando un activo ambiental que beneficia a las comunidades generando un impacto social, ambiental y económico al entorno.

En términos de gobernanza, Antamina cuenta con una Política de Gestión de Aguas alineada con estándares internacionales (GRI, 2024; AWS, 2020) y desarrolla programas de monitoreo participativo junto a la ANA y comunidades locales, fortaleciendo la transparencia y la licencia social para operar (ANA, 2023). Estas estrategias coinciden con hallazgos académicos que señalan la necesidad de involucrar a múltiples actores en la gestión del agua para reducir tensiones sociales (Sosa & Zwarteven, 2016; Li, 2016).

La empresa ha declarado su meta de recircular el 100 % del agua utilizada en procesos para el 2030, consolidando la sostenibilidad hídrica como pilar estratégico y como ejemplo para la gran minería peruana (Antamina, 2024b; Cruz, 2022).

Comparativamente, otras operaciones nacionales, como Anglo American Quellaveco, aplican estrategias similares con sistemas cerrados de recirculación y tratamiento avanzado (Anglo American Perú, 2024), evidenciando la viabilidad de la economía circular en la gran minería peruana y la importancia de políticas de gestión integral del agua. Estas prácticas se complementan con casos internacionales de colaboración entre comunidades y minería, como Cerro Verde en Arequipa, donde el uso de aguas residuales tratadas se ha convertido en un ejemplo de gestión hídrica sostenible y compartida (MDPI, 2018).

Además, los resultados de campo en Antamina se alinean con tendencias globales en sostenibilidad. Según CEPAL (Julca, 2022), la transición hacia modelos de economía circular en minería requiere reducir progresivamente la dependencia de agua fresca, un objetivo que la empresa ya ha asumido. El Parlamento Europeo (2023) subrayó que la circularidad en recursos estratégicos como el agua es clave para alcanzar los ODS, mientras que SENACE (2025) enfatizó la necesidad de integrar indicadores de desempeño hídrico en la evaluación de grandes proyectos extractivos en el Perú. A nivel global, organismos como la OCDE

(2020) y ONU Medio Ambiente (2021) recomendaron precisamente este tipo de enfoques de eficiencia y reutilización como referencia para industrias extractivas, lo que permite situar los resultados de Antamina en un marco comparativo internacional más amplio.

Entre 2019 y 2023, Antamina mantuvo alta recirculación de agua de proceso (hasta 99%), baja dependencia de agua fresca y gestión enfocada en cumplir los LMP y ECAs agua. En 2019 se reportan volúmenes autorizado/real de vertimientos en Quebrada Ayash y Pampa Moruna, con cumplimiento normativo. Desde 2020 se refuerzan la automatización y el monitoreo de descargas; en 2021–2023 se consolidan indicadores de circularidad de manera sostenida, destacando que el 100 % del agua utilizada proviene de precipitaciones almacenadas en reservorios propios.

En conjunto, los resultados muestran una operación casi cerrada, con control de efluentes y participación comunitaria en el monitoreo, lo que reduce la presión sobre fuentes naturales y sostiene una tendencia estable de recirculación durante el periodo analizado (2019 – 2023). Ver la Tabla 9 y Tabla 10.

#### **2.3.4. Análisis de Resultados**

El análisis evidencia que Antamina constituye un caso avanzado de economía circular aplicada al recurso crítico agua, integrando infraestructura, tecnología y gobernanza para maximizar la eficiencia y minimizar impactos ambientales.

La recirculación interna que llega hasta el 99 % en la planta concentradora se traduce no solo en un uso técnico eficiente, sino en la reducción de presión sobre fuentes hídricas naturales, un aspecto clave en territorios altoandinos donde la disponibilidad hídrica es variable (Antamina, s. f.-a; 2024); responde a las tendencias internacionales que promueven la transición hacia modelos de economía circular en minería (Julca Zuloeta, 2022; Parlamento Europeo, 2023; OCDE, 2020), consolidando a Antamina como referente en la región.

El uso de efluentes tratados en proyectos como el Bosque de Huarmey refleja un enfoque que trasciende la eficiencia operativa para generar servicios ecosistémicos adicionales, tales como la captura de aproximadamente 200 toneladas de CO<sub>2</sub> al año y la restauración de áreas áridas (Rumbo Minero, 2024; Energiminas, 2024) coincidió con las recomendaciones de organismos internacionales como ONU Medio Ambiente (2021) y FAO (2019), que destacaron la reutilización de aguas residuales como herramienta para incrementar resiliencia ambiental y crear valor compartido con las Comunidades.

**Tabla 9**

*Indicadores de Recirculación y Vertimientos de Antamina, 2019–2023*

Año	Cuerpos receptores / puntos de vertimiento reportados	% de agua recirculada	% de agua fresca	Ayash (Aut./Real, Mm <sup>3</sup> )	Pampa Moruna (Aut./Real, Mm <sup>3</sup> )	Cumplimiento LMP/ECA
2019	Quebrada Ayash y Antamina (puntos de vertimiento)	98.5	1.5	42.8 / 30.2	9.9 / 7.6	100 % de los parámetros de ley en vertimientos y cuerpos receptores
2020	Descargas con monitoreo automatizado (3); programa de monitoreo continuo	97.6	2.4	—	—	100 % de los parámetros de ley en vertimientos y cuerpos receptores
2021	Monitoreos ambientales participativos y gestión de agua/efluentes (resumen)	97.2	2.8	—	—	—
2022	Monitoreo con comunidades; 100 % del agua proviene de lluvias (reservorios propios)	97.8	2.2	—	—	—
2023	Modelos predictivos; Política de Gestión del Agua; monitoreo participativo	97.8	2.2	—	—	—

*Nota.* “Aut.” = Autorizado; “Real” = Real anual reportado; LMP = Límites Máximos

Permisibles; ECA Agua = Estándares de Calidad Ambiental Agua.

**Tabla 10***Vertimientos controlados y cumplimiento normativo*

Punto de monitoreo	Ubicación	Tipo de control	Volumen (Mm <sup>3</sup> /año)	Cumplimiento normativo
CO13	Quebrada Ayash	Vertimiento controlado	36.9	100 % LMP, ECA Agua
CO21D	Quebrada Ayash	Vertimiento controlado	30.2	100 % LMP, ECA Agua
CO16	Quebrada Ayash	Vertimiento controlado	20.7	100 % LMP, ECA Agua
CO24	Quebrada Antamina	Vertimiento controlado	28.4	100 % LMP, ECA Agua

*Nota.* LMP = Límites Máximos Permisibles; ECA Agua = Estándares de Calidad Ambiental Agua.

Desde la perspectiva de gobernanza, la existencia de una Política de Gestión de Aguas, programas de monitoreo participativo y la adopción de estándares como GRI 303 y AWS fortalecen la transparencia y la legitimidad de las operaciones (Antamina, s. f.-b; ANA, 2023; SENACE, 2025); responde a lo señalado por el Banco Mundial (2020), que subrayó que la gestión integrada de agua en minería debe articular Estado, empresa y sociedad civil para reducir riesgos sociales y ambientales.

No obstante, la literatura especializada destacó que los conflictos socioambientales vinculados a la gestión del agua pueden traducirse en costos reputacionales y financieros significativos para las empresas, lo que refuerza la importancia de la gobernanza participativa (Franks et al., 2014). En este sentido, la legitimidad social de las operaciones no se asegura únicamente con el cumplimiento normativo, sino mediante la construcción de confianza comunitaria (Owen & Kemp, 2013) y la respuesta a demandas crecientes de transparencia y participación (Svobodova et al., 2020).

De este modo, el caso Antamina se ubica en un marco donde los avances técnicos deben sostenerse en procesos inclusivos y justicia ambiental para garantizar sostenibilidad de largo plazo.

Al contrastar, experiencias como Anglo American Quellaveco con sistemas de recirculación cerrados, y Cerro Verde que aprovecha aguas residuales municipales, confirman que la sostenibilidad hídrica es un factor diferenciador en la competitividad minera (Anglo American Perú, 2024; MDPI, 2018).

En este marco, Antamina no solo asegura eficiencia operativa, sino que se posiciona como modelo replicable de gestión hídrica responsable, en línea con estándares globales de sostenibilidad (OCDE, 2020; ONU Medio Ambiente, 2021).



### Capítulo III: Aprendizaje del Análisis del Caso

Este capítulo presenta los principales hallazgos y aprendizajes del caso Antamina, evidenciando cómo la gestión integral del agua genera valor económico, ambiental y social. Se analizan prácticas como la recirculación hídrica hasta el 99%, la autonomía hídrica basada en lluvias y proyectos ecosistémicos como el Bosque de Huarmey. El modelo de economía circular implementado transforma un riesgo crítico en ventaja competitiva sostenible, con recomendaciones replicables en otras operaciones y políticas públicas. Estas acciones están alineadas con los ODS 6, 12, 13 y 15, fortaleciendo la gobernanza y resiliencia hídrica del sector minero.

#### 3.1. Principales Hallazgos del Caso

El análisis del caso de Antamina permite identificar un conjunto de hallazgos clave que ilustran cómo una operación minera de gran escala puede integrar de forma efectiva la economía circular del agua en su gestión (Antamina, s. f.-a; Antamina, s. f.-b; GRI, 2018; AWS, 2019; Naciones Unidas, 2015).

Estos hallazgos se sustentan en información técnica, reportes institucionales, normativa vigente y prácticas observadas, ofreciendo una visión integral de los factores que contribuyen a su desempeño hídrico sobresaliente (MINAM, 2010, 2017). La literatura respalda la necesidad de establecer marcos de indicadores estandarizados que permitan evaluar este tipo de logros de manera comparativa en la industria minera (Azapagic, 2004; Northey et al., 2013).

En particular, destacan las altas tasas de recirculación, el control riguroso de efluentes y la colaboración con autoridades y comunidades bajo marcos de reporte y desempeño ambiental reconocidos (Antamina S.A., 2019, 2020, 2021, 2022, 2024).

Estas medidas responden a un desafío central para el futuro de la minería: operar con menos agua fresca y mayor eficiencia energética mediante innovaciones tecnológicas y circuitos cerrados de recirculación (Schodde & Hitzman, 2021).

Asimismo, los aprendizajes del caso pueden interpretarse bajo el enfoque “nexus”, que vincula agua, energía y alimentos como recursos interdependientes cuya gestión integrada resulta indispensable para la sostenibilidad a largo plazo (Liu et al., 2018). Desde una perspectiva complementaria, Gorman y Dzombak (2018) indicaron que la transición hacia una minería sostenible requiere considerar no solo el ciclo de vida de la mina, sino también el ciclo de vida de los minerales, lo que implica fortalecer la circularidad en cada etapa del proceso productivo.

Estos enfoques críticos permiten enriquecer el aprendizaje del caso Antamina, resaltando que la sostenibilidad requiere tanto excelencia técnica como legitimidad social y transparencia permanente; teniendo dentro de los principales hallazgos; aunados a los conceptos teóricos expuestos, los siguientes:

### ***3.1.1. Principales Hallazgos de Gestión Integral del Agua***

**Eficiencia Hídrica y Recirculación Interna.** La eficiencia hídrica se ha consolidado como pilar operativo en Antamina. La planta concentradora mantiene tasas de recirculación de hasta el 99 %, operando prácticamente como un circuito cerrado al recuperar agua desde la presa de relaves, someterla a tratamiento y reincorporarla al proceso (Antamina, 2019, 2020, 2021, 2022, 2024; ANA, 2023; GRI, 2018). Este desempeño se sustenta en medición y automatización de redes internas, actualizaciones de infraestructura e instrumentación y monitoreo continuo, lo que reduce pérdidas por evaporación y humedad residual (Antamina, 2022; Antamina, 2023; Antamina S.A., 2024).

**Abastecimiento y Autonomía Hídrica.** Antamina declara un abastecimiento hídrico de origen pluvial: el agua utilizada en procesos proviene exclusivamente de precipitaciones

captadas en la zona altoandina y almacenadas en reservorios propios, lo que minimiza la extracción de fuentes aptas para consumo humano y reduce la presión sobre ecosistemas locales. Este esquema fortalece la autonomía hídrica frente a la variabilidad climática y las sequías, y disminuye potenciales conflictos por uso del recurso (Antamina, 2024; Antamina, s. f.-a; Antamina, s. f.-b; SENACE, 2025).

**Gestión de Efluentes y Cumplimiento Normativo.** Los vertimientos a Quebrada Ayash y Pampa Moruna cuentan con verificación previa a la descarga y reporte de cumplimiento frente a los LMP y ECAs-Agua. En 2019 se documentan volúmenes de referencia autorizado/real: Ayash 42,8/30,2 Mm<sup>3</sup> y Pampa Moruna 9,9/7,6 Mm<sup>3</sup>, que sirven como línea base cuantitativa para la evaluación interanual. El monitoreo automatizado y el seguimiento público refuerzan la trazabilidad y permiten alertas tempranas (MINAM, 2017; MINAM, 2010; Antamina, 2022; Antamina, s. f.-b; Antamina, 2019; ANA, 2023; Antamina, 2024).

**Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos.** El Bosque de Huarmey utiliza agua tratada para la irrigación de una masa forestal en zona árida; se logra una captura CO<sub>2</sub>/año importante y funciona como una barrera natural frente al arrastre de arenas (Energiminas, 2024; Rumbo Minero, 2024; Antamina, 2024); creación de hábitats y mejora el micro climática local (Antamina, 2024; Antamina, s. f.-a). Estos resultados se alinean con el enfoque de valorización de efluentes en clave de economía circular y co-beneficios socioambientales, generando un ecosistema en donde interactúan la fauna, la flora y las comunidades para generar un impacto positivo en el entorno de costa desértica que se alza como un activo ambiental de clase mundial.

En la flora del Bosque de Huarmey se emplea una combinación de especies nativas y exóticas adaptadas a condiciones áridas (por ejemplo, *Prosopis pallida* (algarrobo), *Acacia macracantha* (huarango), *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus*

camaldulensis, *Acacia saligna*, *Acacia longifolia*, *Tamarix gallica*, *Parkinsonia aculeata* y *Myoporum laetum*) según materiales institucionales y reportes asociados al proyecto (Antamina, 2024; Antamina, s. f.-a; SENACE, 2025).

En la fauna del Bosque de Huarney se han encontrado aves del entorno marino-costero de Huarney, priorizando el seguimiento de especies focales típicas de la franja litoral peruana, como el pelícano peruano (*Pelecanus thagus*), el piquero peruano (*Sula variegata*), el zarcillo (*Larosterna inca*) y el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*), útiles para monitoreo ecológico (SENACE, 2025; Antamina, 2024).

En el entorno árido costero del Bosque de Huarney se registran mamíferos de hábitos terrestres y marinos. A nivel terrestre, destacan carnívoros medianos y murciélagos insectívoros que utilizan la masa forestal como refugio y área de forrajeo; por ejemplo, el zorro de Sechura (*Lycalopex sechurae*) y colonias de murciélagos (p. ej., *Tadarida brasiliensis*).

En el ámbito marino-costero inmediato (playas y roqueríos) son frecuentes los pinnípedos, en particular el lobo marino sudamericano (*Otaria flavescens*). Incorporar este grupo al monitoreo contribuye a evaluar servicios ecosistémicos (p. ej., control biológico de insectos, conectividad ecológica) y a fortalecer la línea base de biodiversidad del proyecto (Antamina, 2024; Antamina, s. f.-a; SENACE, 2025)

En reptiles del desierto costero, la lagartija costera *Microlophus peruvianus* es un buen bioindicador terrestre por su representatividad ecológica y registros regionales (American Museum of Natural History, s. f.; The Reptile Database, s. f.).

La Figura 4 ilustra visualmente el Bosque de Huarney, complementando la descripción técnica del proyecto y evidenciando su integración en el entorno árido costero.

**Figura 4***Vista Panorámica del Bosque de Huarmey*

*Nota.* Adaptado de Bosque de Huarmey, Compañía Minera Antamina S.A. (s. f.).

<https://www.antamina.com/bosque-de-huarmey/>

**Indicadores propuestos para seguimiento (GRI 303).** Para fortalecer la trazabilidad ambiental del proyecto y evaluar sus servicios ecosistémicos de manera estandarizada, se proponen indicadores alineados al estándar GRI 303, útiles para el seguimiento técnico y reportabilidad periódica:

- (i) Cobertura forestal del Bosque de Huarmey ( $\approx 110\text{--}170$  ha) y densidad de plantación (árboles/ha).
- (ii) Diversidad taxonómica ( $>50$  spp. de fauna registradas entre aves, mamíferos y reptiles).
- (iii)  $\text{CO}_2$  capturado por la masa forestal ( $\approx 200$  t/año) y tasa de supervivencia de plantaciones por cohorte (1–3–5 años).
- (iv) Frecuencia/abundancia de fauna clave mediante transectos y puntos fijos.

(v) Servicios ecosistémicos: control de arena/viento y efecto microclima (p. ej., temperatura/humedad bajo dosel vs. sitio control) (Antamina, 2024; GRI, 2018).

**Intenciones de Uso del Recurso Hídrico.** Uso operativo (interior de planta); Mantener y optimizar recirculación hasta el 99 % en molienda–flotación; reforzar medición en utilidades (torres de enfriamiento/servicios) y consolidar controles para cumplir LMP y ECA agua de manera continua; asimismo, mejorar la recuperación de agua en relaves mediante espesadores, sectorizar redes para detectar fugas y estandarizar balances hídricos diarios por área de proceso (Antamina, 2019, 2024; MINAM, 2010, 2017).

Uso ambiental–social (exterior de planta); priorizando la irrigación del Bosque de Huarney con agua tratada y los proyectos hídricos comunitarios (reservorios, canales, riego tecnificado) orientados a productividad y resiliencia climática en la cuenca; incorporar riego por goteo y telemetría básica, ampliar cobertura vegetal como barrera contra arenas, y fijar metas de hectáreas irrigadas y continuidad (Antamina, 2024; SENACE, 2025).

**Gobernanza y Transparencia.** La Política de Gestión de Aguas formaliza compromisos de uso responsable, cumplimiento normativo y mejora continua, y se implementa mediante monitoreo participativo con la ANA y comunidades (muestreo y verificación conjunta de caudal y calidad), lo que ha fortalecido la confianza y la legitimidad de la operación (Antamina, s. f.-b; ANA, 2023; Sosa & Zwartveen, 2016; Li, 2016). Este esquema se acompaña de reporte público periódico y alineación con GRI 303, incorporando prácticas de transparencia como la publicación de actas y series de datos con plazos de difusión, además de métricas de cumplimiento LMP y ECAs agua y campañas participativas anuales, que permiten trazabilidad y comparabilidad del desempeño hídrico (ANA, 2022, 2023; Antamina, 2022, 2023; GRI, 2018).

**Reportabilidad, Estándares y Certificaciones.** El Certificado Azul otorgado por el ANA valida la gestión hídrica responsable de Antamina y se sustenta en acciones medibles de

reducción y uso eficiente del recurso; la empresa, además, difunde avances y buenas prácticas en hitos como el Día Mundial del Agua.

En paralelo, la trazabilidad captación–consumo–descarga se estructura con GRI 303: Water and Effluents y las prácticas alineadas al AWS Standard v2.0, lo que favorece la comparabilidad interanual, la gestión por cuenca y la mejora continua, en coherencia con las metas de la Agenda 2030 (ODS 6 y 12). Conjuntamente, certificación, sensibilización y estándares conforman el eje de reportabilidad de la operación (ANA, 2022; Antamina, 2023; Antamina, 2024; GRI, 2018; Alliance for Water Stewardship, 2019; Naciones Unidas, 2015).

La mina Quellaveco (Anglo American) implementa estrategias de economía circular del agua con enfoque adaptado a su realidad (p. ej., uso de fuentes no aptas para consumo y tratamiento avanzado), mientras Antamina prioriza el abastecimiento pluvial y la recirculación casi total. Ambos casos evidencian convergencia hacia eficiencia hídrica y marcos de gobernanza compatibles (Anglo American Perú, 2024; OCDE, 2020; ONU Medio Ambiente, 2021; World Bank, 2020).

Entre 2019 y 2024, Antamina consolida un esquema casi cerrado de uso del agua, con altas tasas de recirculación, cumplimiento LMP y ECAS agua, monitoreo automatizado y proyectos de valorización (Bosque de Huarmey). La autonomía hídrica pluvial, el monitoreo participativo y la reportabilidad estandarizada refuerzan la licencia social y ofrecen una base robusta para la mejora continua y la comparación sectorial (Antamina, 2019, 2020, 2021, 2022, 2024; ANA, 2022, 2023; GRI, 2018; MINAM, 2010, 2017; SENACE).

### **3.2. Lecciones Aprendidas**

Las lecciones aprendidas derivadas del caso sintetizan la articulación de circularidad del agua, gestión por cuenca y reportabilidad verificable como bases de mejora continua. En términos generales, el aprendizaje útil para otras operaciones es: diseñar procesos que reduzcan la dependencia de agua fresca, asegurar control y seguimiento con participación de

actores clave, y reportar con estándares comparables en el tiempo. La transferibilidad de estas lecciones requiere adaptar herramientas al contexto hidro-social y sostener indicadores consistentes. Este marco se apoya en prácticas y estándares utilizados en el caso (GRI, 2018; ANA, 2023).

### ***3.2.1. Principales Lecciones Aprendidas en Gestión Integral de Agua***

A continuación, se detallan las principales lecciones del caso:

**Lección 1 - Eficiencia Hídrica como Eje de Sostenibilidad (L1).** La eficiencia en el uso del agua es un motor de competitividad y resiliencia.

Con recirculación de hasta el 99 %, basada en medición y automatización, balances diarios, mejoras en utilidades y recuperación en relaves, la planta opera como circuito cerrado, reduce demanda de agua fresca y sostiene el cumplimiento de LMP y ECAs agua. Esto requiere sectorizar redes, flujometría en tiempo real, fijar puntos de consigna y optimizar torres de enfriamiento (más ciclos, purgas calibradas) y detección de fugas. Se complementa con espesadores, retorno de rebose y segregación de aguas de contacto/no contacto. La estabilidad se asegura con mantenimiento predictivo, aseguramiento y control de calidad y un tablero de indicadores clave de desempeño. (Antamina S.A., 2019, 2024; ANA, 2023; MINAM, 2010, 2017; GRI, 2018).

### **Lección 2 - Abastecimiento Pluvial y Autonomía Hídrica Frente al Clima (L2).**

El abastecimiento de origen pluvial almacenado en reservorios propios minimiza la extracción de fuentes aptas para consumo humano, reduce presión ecosistémica y mejora la autonomía hídrica ante variabilidad y sequías, disminuyendo potenciales conflictos por uso del recurso. Este enfoque se apoya en balances hidrológicos multianuales, reglas de operación por estiaje, telemetría de niveles y pronósticos climáticos estacionales, integrando planes de contingencia y priorización de consumos críticos durante eventos secos. (Antamina S.A., 2024; Antamina, s. f.-a; Antamina, s. f.-b; SENACE, 2025).

**Lección 3 - Valorización de Efluentes con Co-beneficios Verificables (L3).** El Bosque de Huarmey, irrigado con agua tratada, demuestra co-beneficios medibles de valorización de efluentes:  $\approx 110$ – $170$  ha de cobertura forestal,  $\approx 120\,000$  árboles establecidos,  $>50$  especies de vertebrados registradas y  $\approx 200$  toneladas de  $\text{CO}_2$ /año de captura, además de actuar como barrera natural frente al arrastre de arenas. En términos ecológicos, el proyecto crea y consolida hábitats para especies nativas de zonas áridas, favoreciendo refugio y conectividad. Para sostener la evidencia, conviene fijar líneas base, metas auditables y protocolos de monitoreo (supervivencia por cohorte, riqueza/abundancia) con reportabilidad periódica. (Antamina, 2024; Antamina, s. f.-a; Energiminas, 2024; Rumbo Minero, 2024).

**Lección 4 - Gobernanza Hídrica Participativa (L4).** Los programas de monitoreo participativo con el ANA y comunidades; muestreo y verificación conjunta de calidad y caudal, bajo prácticas QA/QC alineadas al cumplimiento de LMP y ECAS agua; se complementan con publicación periódica de resultados, actas públicas y calendarios de difusión. Esta arquitectura de gobernanza fortalece la relación con la comunidad, reduce percepciones de riesgo y sostiene la aceptación social, al distribuir responsabilidades y evidencias en tiempo oportuno. Para consolidarla, se proponen indicadores de participación (n.º de campañas/año, asistencia, acciones correctivas) y mecanismos de respuesta temprana. La literatura respalda este enfoque multiactor en contextos mineros. (ANA, 2023; Antamina, 2022; Sosa & Zwartveen, 2016; Li, 2016).

**Lección 5 - Estándares y Certificación como Marco de Mejora Continua (L5).** La reportabilidad bajo GRI 303 y las prácticas alineadas al estándar AWS v2.0 estructuran la trazabilidad captación–consumo–descarga, facilitan la comparabilidad interanual y anclan la gestión por cuenca. En este marco, el Certificado Azul (ANA) reconoce acciones medibles de reducción y uso responsable del agua, coherentes con la Agenda 2030 (ODS 6 y 12). Para sostener la mejora continua, conviene asegurar consistencia de indicadores, auditorías

periódicas y publicación oportuna de resultados, integrando metas de reducción de agua fresca y verificación independiente de desempeño. Este esquema fortalece la credibilidad técnica y la toma de decisiones basada en evidencia. (GRI, 2018; AWS, 2019; ANA, 2022; Antamina, 2023; Antamina, 2024; Naciones Unidas, 2015).

### **3.3. Competencias Clave Identificadas**

A partir del análisis del caso Antamina, se identifican un conjunto de competencias clave que permiten comprender las capacidades técnicas, estratégicas y socioambientales necesarias para implementar una gestión hídrica sostenible en operaciones mineras de gran escala. Estas competencias se derivan directamente de las lecciones aprendidas descritas en la sección 3.2 y reflejan habilidades transferibles a otros contextos similares.

En primer lugar, se destaca la competencia en gestión integral y circular del agua, que implica la capacidad para planificar y operar el ciclo completo de captación, almacenamiento, consumo, tratamiento, reúso y monitoreo, con balances diarios y cierre del balance hídrico. Esta competencia se vincula con las lecciones sobre eficiencia hídrica, autonomía pluvial y valorización de efluentes; ver Lecciones Aprendidas L1, L2 y L3.

En segundo lugar, se identifica la innovación tecnológica aplicada, expresada en la optimización de espesadores de relaves, sistemas de bombeo y el uso de sensorica y telemetría para la medición en tiempo real y la recuperación de agua. Esta competencia se relaciona con las prácticas descritas en las lecciones aprendidas L1 y L3.

Una tercera competencia corresponde a la gestión del riesgo climático y abastecimiento pluvial, que incluye la modelación multianual, las reglas de operación por estiaje, los pronósticos estacionales y la telemetría de niveles para asegurar autonomía hídrica. Esta capacidad se deriva directamente de la lección aprendida L2.

Asimismo, se reconoce la competencia en biodiversidad y servicios ecosistémicos en la valorización de efluentes, que abarca el diseño y seguimiento de proyectos como el Bosque

de Huarney, incluyendo la creación de hábitats, la captura de CO<sub>2</sub> y la función de barrera contra arenas, con líneas base y metas auditables. Esta competencia se vincula con la lección aprendida L3.

En el ámbito social, se identifica la gobernanza participativa y trazabilidad pública, que se manifiesta en el monitoreo conjunto con comunidades y autoridades, la publicación periódica de datos y la implementación de mecanismos de respuesta temprana. Esta competencia se relaciona con la lección aprendida L4.

También se destaca la competencia en cumplimiento proactivo y estándares internacionales, basada en la aplicación de marcos como GRI 303 y AWS v2.0, la preparación y mantenimiento del Certificado Azul, y la realización de auditorías para la mejora continua. Esta capacidad se deriva de la lección aprendida L5.

Finalmente, se reconoce la gestión estratégica corporativa, que implica el establecimiento de metas de largo plazo —como la recirculación total al 2030— integradas a tableros de indicadores y revisiones periódicas. Esta competencia se vincula con las lecciones aprendidas L1 y L5.

### **3.4. Validación de las Lecciones Aprendidas**

Las lecciones aprendidas descritas en la sección 3.2 no solo representan buenas prácticas observadas en el caso Antamina, sino que se sustentan en evidencia técnica, normativa y social que permite validar su aplicabilidad y confiabilidad. Esta validación es fundamental para distinguir entre recomendaciones genéricas y aprendizajes comprobados, especialmente en contextos donde la gestión hídrica enfrenta desafíos operativos, regulatorios y sociales. Para ello, se han considerado cuatro fuentes principales de verificación: (i) indicadores clave de desempeño (KPI), (ii) estándares y certificaciones reconocidas, como GRI 303, AWS v2.0 y el Certificado Azul, (iii) documentación técnica y normativa

institucional, y (iv) mecanismos de participación comunitaria, como el monitoreo conjunto con el ANA.

#### ***3.4.1. Validación de Lecciones Aprendidas en Gestión Integral de Agua***

A continuación, se detalla la validación correspondiente a cada lección.

**Lección 1 - Eficiencia Hídrica como Eje de Sostenibilidad.** La eficiencia hídrica se valida mediante una tasa de recirculación de hasta el 99 %, respaldada por balances hídricos diarios, medición en tiempo real y mejoras en la recuperación de agua en relaves. Estos resultados están documentados en los reportes de sostenibilidad de Antamina (2019–2024) y cumplen con los estándares GRI 303, además de los LMP y los ECAs agua establecidos por el MINAM (2010, 2017; GRI, 2018).

**Lección 2 - Abastecimiento Pluvial y Autonomía Hídrica Frente al Clima.** La autonomía hídrica se sustenta en la captación exclusiva de agua de lluvia, almacenada en reservorios propios con telemetría de niveles y reglas de operación por estiaje. Los análisis multianuales permiten simular escenarios de sequía y establecer planes de contingencia. Esta validación se encuentra en los informes técnicos de SENACE (2025) y en la documentación institucional de Antamina (2024; Antamina, s. f.-a; Antamina, s. f.-b).

**Lección 3 - Valorización de Efluentes con Co-beneficios Verificables.** El Bosque de Huarmey constituye una evidencia tangible de valorización de efluentes, con una cobertura forestal de entre 110 y 170 hectáreas, más de 120 000 árboles establecidos, más de 50 especies de vertebrados registradas y una captura estimada de 200 toneladas de CO<sub>2</sub> por año. Además, cumple funciones de barrera natural frente al arrastre de arenas. La verificación se realiza mediante protocolos de biodiversidad, líneas base ecológicas, metas auditables y reportes institucionales, complementados por cobertura en medios especializados (Antamina, 2024; Energiminas, 2024; Rumbo Minero, 2024).

**Lección 4 - Gobernanza Hídrica Participativa.** La gobernanza se valida a través de campañas de monitoreo participativo con el ANA y comunidades, que incluyen muestreo conjunto de calidad y caudal, publicación de actas técnicas, calendarios de difusión y métricas de participación. Estos mecanismos fortalecen la legitimidad social y la trazabilidad pública. La evidencia se encuentra en los reportes de ANA (2023), en la documentación de Antamina (2022) y en estudios especializados sobre participación multiactor en minería (Sosa & Zwarteveen, 2016; Li, 2016).

**Lección 5 - Estándares y Certificación como Marco de Mejora Continua.** La aplicación de estándares como GRI 303 y AWS v2.0, junto con la obtención del Certificado Azul, valida la gestión hídrica responsable de Antamina. Las acciones medibles de reducción y uso eficiente del agua están alineadas con los ODS 6 y 12. La verificación se realiza mediante auditorías externas, registros de cumplimiento y reportes institucionales (GRI, 2018; AWS, 2019; ANA, 2022; Antamina, 2023, 2024; Naciones Unidas, 2015).

**Mecanismos Transversales de Aseguramiento.** La validación de las lecciones se refuerza mediante indicadores clave como el porcentaje de recirculación, el volumen de agua fresca por tonelada procesada, los días de autonomía hídrica, las hectáreas forestadas, la tasa de supervivencia por cohorte, la captura anual de CO<sub>2</sub>, el porcentaje de cumplimiento de los LMP y ECAs agua, y el tiempo entre el muestreo y la publicación de resultados. La triangulación entre datos operativos, verificación regulatoria y estándares internacionales permite consolidar la confiabilidad de los aprendizajes. Finalmente, la transparencia se garantiza mediante la publicación periódica de información y la participación comunitaria en los procesos de monitoreo (ANA, 2023; GRI, 2018; SENACE, 2025).

### **3.5. Implicancias Estratégicas y Recomendaciones**

El modelo de gestión hídrica de Antamina, con recirculación de hasta el 99 % y abastecimiento pluvial, se perfila como referencia sectorial por su aporte ambiental, social y

económico, y por su alineamiento con estándares de reportabilidad y verificación externa (Cruz, 2022; Compañía Minera Antamina S.A., 2024a; Desde Adentro, 2022).

### **3.5.1. Implicancias Estratégicas**

**Ambiental.** Menor dependencia de fuentes naturales y preservación de ecosistemas locales, al tiempo que se sostiene el cumplimiento de LMP y ECAS agua (Horizonte Minero, 2021; MINAM, 2010, 2017).

**Social.** Monitoreo participativo y reconocimientos públicos (p. ej., Certificado Azul) refuerzan confianza y legitimidad comunitaria (ANA, 2023; Oficina de Comunicaciones Antamina, 2023).

**Económica y Reputacional.** Circuitos casi cerrados reducen costos y riesgos; el uso de estándares internacionales mejora la credibilidad ante inversionistas (Compañía Minera Antamina S.A., 2024a; GRI, 2018; AWS, 2019).

**Innovación y Valor Compartido.** La valorización de efluentes (Bosque de Huarney) genera co-beneficios ambientales y sociales escalables (Rumbo Minero, 2024; Energiminas, 2024).

### **3.5.2. Recomendaciones Prácticas**

**Sostener y Afinar la Meta de Recirculación Total 2030.** Mantener la meta corporativa de recirculación total de agua al 2030, optimizando pérdidas por evaporación y humedad residual, mejorando la recuperación en relaves mediante espesadores y retorno de rebose, y sectorizando redes hidráulicas con puntos de consigna por proceso. En seis meses, implementar planes de cierre de brechas; en doce meses, aumentar la recirculación en uno a dos puntos porcentuales; y en veinticuatro meses, reducir el uso de agua fresca en tres a cinco por ciento por tonelada procesada. Los KPI incluyen porcentaje de recirculación, volumen de agua fresca por tonelada y cierre del balance hídrico (Antamina, 2024a; MINAM, 2010, 2017).

**Gestión de abastecimiento pluvial y riesgo climático.** Fortalecer la resiliencia hídrica frente a la variabilidad climática, actualizar balances hidrológicos multianuales, revisar reglas de operación por estiaje, mejorar la telemetría de niveles y afinar pronósticos estacionales, priorizando consumos críticos en escenarios de sequía. En seis meses, definir curvas-regla de reservorios; en doce, realizar simulaciones de sequía y planes de contingencia; y en veinticuatro, aplicar pruebas de estrés operativo. Los KPI incluyen días de autonomía hídrica, eficiencia de almacenamiento y cumplimiento del plan de sequías (SENACE, 2025; Antamina, 2024a).

**Fortalecer la Trazabilidad Pública de Efluentes.** Verificar previamente la descarga, aplicar protocolos QA/QC y publicar resultados periódicamente, integrando alarmas por umbrales de LMP y ECAs agua. En seis meses, consolidar un protocolo unificado; en doce meses, reducir el tiempo entre muestreo y publicación a menos de treinta días; y en veinticuatro meses realizar auditorías externas. Los KPI son porcentaje de cumplimiento de ECAs y LMP, tiempo de publicación y cobertura de estaciones con datos disponibles (ANA, 2023; MINAM, 2010, 2017).

**Escalar Proyectos de Valor Compartido Basados en Reúso.** ampliar iniciativas como el Bosque de Huarmey mediante riego tecnificado, establecimiento de líneas base y metas auditables (supervivencia por cohorte, captura de CO<sub>2</sub>, riqueza de especies), y documentación de la función barrera frente al arrastre de arenas. En seis meses, formular un plan maestro; en doce meses, incorporar 10 - 20 hectáreas con monitoreo; y en veinticuatro meses, evaluar impactos y ajustar el diseño. Los KPI incluyen hectáreas forestadas, tasa de supervivencia, captura de CO<sub>2</sub> y riqueza/abundancia de especies (Energiminas, 2024; Rumbo Minero, 2024; Antamina, 2024).

**Capacitación y Participación Comunitaria.** implementar programas de formación en uso eficiente del agua y monitoreo participativo, con actas públicas, mecanismos de

respuesta temprana y seguimiento de compromisos. En seis meses, establecer una malla formativa; en doce meses, realizar al menos dos campañas participativas; y en veinticuatro, aplicar encuestas de percepción. Los KPI incluyen número de campañas, asistencia, acciones correctivas cerradas y percepción de confianza (ANA, 2023; Antamina, 2022).

**Estándares y Reconocimientos Internacionales.** Mantener y diversificar certificaciones como AWS v2.0 y el Certificado Azul, asegurar la cobertura de GRI 303 y realizar auditorías periódicas con metas de reducción de agua fresca. En seis meses, elaborar un plan de auditorías internas y externas; en doce meses, alcanzar al menos el 95 % de divulgaciones GRI completas; y en veinticuatro meses, cerrar los hallazgos identificados y renovar las certificaciones vigentes. Los KPI incluyen porcentaje de ítems GRI divulgados, número de hallazgos cerrados y reducción de agua fresca respecto a la línea base (GRI, 2018; AWS, 2019; ANA, 2022; Antamina, 2023).

### **3.6. Limitaciones y Futuras Líneas de Estudio**

#### **3.6.1. Limitaciones**

El análisis realizado presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados y al proyectar su aplicabilidad en otros contextos.

En primer lugar, la fuente principal de evidencia proviene de reportes corporativos y medios sectoriales, lo que requiere una triangulación constante con auditorías independientes y supervisión regulatoria para reducir posibles sesgos de reporte (GRI, 2018; ANA, 2023; SENACE, 2025).

En segundo lugar, la cobertura temporal del estudio (2019–2024) podría no capturar eventos extremos como El Niño o variaciones de largo plazo, además de enfrentar rezagos en la publicación de series públicas de caudal y calidad (ANA, 2023).

En cuanto a la escala espacial y articulación por cuenca, los indicadores operan principalmente a nivel de planta, sin una integración sistemática con la cuenca hidrográfica.

Esto limita el análisis de flujos subterráneos, retornos aguas abajo y servicios ecosistémicos a escala paisajística (AWS, 2019; OCDE, 2020). Asimismo, las métricas de biodiversidad y captura de carbono se centran en presencia y riqueza de especies, con menor énfasis en abundancia, tendencias poblacionales y protocolos robustos de medición, reporte y verificación (MRV) (ONU Medio Ambiente, 2021; Naciones Unidas, 2015).

Desde la dimensión social, la percepción comunitaria y la distribución de beneficios no siempre se cuantifican, y los mecanismos de queja y respuesta temprana requieren evaluación de eficacia y tiempos de cierre (Sosa & Zwarteveen, 2016; Li, 2016; ANA, 2023).

Finalmente, la transferibilidad de las lecciones aprendidas dependerá de la hidrología local, la infraestructura disponible y el marco regulatorio, por lo que el desempeño observado en un contexto altoandino–costero puede no ser extrapolable sin ajustes (OCDE, 2020; World Bank, 2020).

### **3.6.2. Futuras Líneas de Estudio**

A partir de las limitaciones identificadas, se proponen líneas de estudio que permitan fortalecer la evidencia, reducir incertidumbres y ampliar la aplicabilidad de los aprendizajes.

Una primera línea consiste en desarrollar plataformas de datos abiertos con series de caudal, calidad y recirculación, acompañadas de calendarios de publicación, protocolos QA/QC unificados y auditorías externas periódicas bajo estándares GRI y AWS (GRI, 2018; ANA, 2023; AWS, 2019).

En segundo lugar, se plantea profundizar el modelamiento hidro climático mediante balances multianuales, simulaciones de sequía (P90 - P99), pronósticos estacionales y reglas de operación por estiaje con disparadores operativos, incorporando escenarios de cambio climático (SENACE, 2025; OCDE, 2020; World Bank, 2020).

Respecto al Bosque de Huarmey, se recomienda establecer parcelas permanentes, protocolos de supervivencia por cohorte, alometrías para estimar captura de CO<sub>2</sub>, sensores

micro climáticos y seguimiento de conectividad ecológica mediante cámaras trampa, eDNA (ADN ambiental) y conteos estandarizados, complementados con teledetección (NDVI) para evaluar cobertura y vigor (ONU Medio Ambiente, 2021).

En el plano económico y social, se propone realizar análisis costo–efectividad de medidas de eficiencia hídrica frente a inversiones en abastecimiento, valorar económicamente los servicios ecosistémicos y aplicar encuestas de percepción con líneas base y metas anuales (OCDE, 2020; World Bank, 2020; ANA, 2023). También se sugiere ensayar procesos de co-diseño con comunidades y autoridades, trazando compromisos en actas públicas, indicadores de participación y evaluación de mecanismos de queja (Sosa & Zwarteveen, 2016; Li, 2016; ANA, 2023).

Otra línea relevante es el benchmarking entre operaciones mineras (por ejemplo, Antamina, Quellaveco y pares regionales), para definir condiciones de aplicabilidad y elaborar guías de replicación por cuenca con listas de verificación (OCDE, 2020; ONU Medio Ambiente, 2021).

Finalmente, se plantea explorar el nexo agua–energía–carbono, cuantificando sinergias y compensaciones entre bombeo, tratamiento, ahorro hídrico y captura de CO<sub>2</sub>, con modelos de optimización multiobjetivo alineados a los ODS 6 y 12 (Naciones Unidas, 2015).

Avanzar en estas líneas permitirá reducir incertidumbres, elevar la credibilidad de los resultados y facilitar la transferencia de aprendizajes a otras operaciones, consolidando la economía circular del agua sobre bases medibles y auditables.

## Referencias

- Alliance for Water Stewardship. (2019). *International Water Stewardship Standard (Version 2.0)*.
- American Museum of Natural History. (s. f.). *Tropiduridae* [PDF]. Recuperado el 3 de septiembre de 2025, de <https://www.amnh.org/content/download/37827/558401/file/tropiduridae.pdf>
- Anglo American Perú. (2024). *Gestión hídrica en la mina Quellaveco (2020–2024)*. Anglo American Perú.
- Antamina. (s. f.-a). *Gestión del agua* [Infografía]. Documento interno de divulgación técnica.
- Antamina. (s. f.-b). *Política de gestión de aguas*. Antamina.
- Antamina. (2022). *Gestión del agua*. <https://www.antamina.com>
- Antamina. (2023, diciembre 20). *Antamina recibe el Certificado Azul por su gestión responsable del agua*. Compañía Minera Antamina S.A., Oficina de Comunicaciones. <https://www.antamina.com>
- Antamina. (2024, marzo 22). *Antamina y el Día Mundial del Agua: compromiso con el uso responsable y sostenible*. <https://www.antamina.com/noticias/diamundial-del-agua-antamina/>
- Arroyo, L., & Valdés, M. (2020). Autonomía hídrica y gestión sostenible en industrias extractivas. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 15(2), 45–62.
- AWS (Alliance for Water Stewardship). (2020). *AWS Standard 2.0: International Water Stewardship Standard*. Alliance for Water Stewardship. <https://a4ws.org>
- Azapagic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), 639–662. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00075-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00075-1)
- Banco Mundial. (2020). *Minería responsable y gestión de recursos hídricos*. Banco Mundial.

- Banco Mundial. (2022). *Water security in a changing climate: Strategies for high-water-use sectors*. The World Bank. <https://www.worldbank.org>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Bebbington, A., & Bury, J. (2013). *Subterranean struggles: New dynamics of mining, oil, and gas in Latin America*. University of Texas Press.
- Boelens, R., & Seemann, M. (2014). Forced engagements: Water security and local rights formalization in Yanque, Colca Valley, Peru. *Human Organization*, 73(1), 1–12. <https://doi.org/10.17730/humo.73.1.j1u0223082h110m5>
- Compañía Minera Antamina S.A. (2019). *Reporte de sostenibilidad 2019*. Antamina.
- Compañía Minera Antamina S.A. (2020). *Reporte de sostenibilidad 2020*. Antamina.
- Compañía Minera Antamina S.A. (2021). *Reporte de sostenibilidad 2021*. Antamina.
- Compañía Minera Antamina S.A. (2022). *Reporte de sostenibilidad 2022*. Antamina.
- Compañía Minera Antamina S.A. (2024). *Reporte de sostenibilidad 2023 – Desempeño de gestión hídrica*. Antamina. <https://www.antamina.com>
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., Ricketts, T. H., Salzman, J., & Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: Time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21–28. <https://doi.org/10.1890/080025>
- De Jesus, A., & Mendonça, S. (2018). Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. *Ecological Economics*, 145, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Desde Adentro [SNMPE]. (2022, septiembre 30). *Antamina se propone recircular la totalidad del agua usada para el 2030*. Revista Desde Adentro. <https://www.desdeadentro.pe>

- Energiminas. (2024, enero 30). *Antamina y el aporte del Bosque de Huarmey: la captura de ~200 toneladas de CO<sub>2</sub> cada año*. Energiminas.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2019). *El agua en la minería y su sostenibilidad*. FAO.
- Franks, D. M., Davis, R., Bebbington, A. J., Ali, S. H., Kemp, D., & Scurrah, M. (2014). Conflict translates environmental and social risk into business costs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(21), 7576–7581.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1405135111>
- Gehman, J., Lefsrud, L. M., & Fast, S. (2017). Social license to operate: Legitimacy by another name? *Canadian Public Administration*, *60*(2), 293–317.  
<https://doi.org/10.1111/capa.12218>
- Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018). A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. *Resources, Conservation and Recycling*, *137*, 281–291.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001>
- GRI (Global Reporting Initiative). (2018). *GRI 303: Water and effluents 2018*. GRI.
- Hart, S. L., & Dowell, G. (2011). A natural-resource-based view of the firm: Fifteen years after. *Journal of Management*, *37*(5), 1464–1479.  
<https://doi.org/10.1177/0149206310390219>
- Hilson, G. (2012). Corporate social responsibility in the extractive industries: Experiences from developing countries. *Resources Policy*, *37*(2), 131–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2011.05.002>
- Hodges, C., Chaplin, J., & Hughes, R. (2021). Wastewater reuse and corporate water stewardship: Creating environmental and reputational value. *Journal of Cleaner Production*, *284*, 124741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124741>

- Horizonte Minero. (2021). *Entrevista al Gerente de Medio Ambiente de Antamina: Gestión Ambiental y Social*. Horizonte Minero.
- Julca Zuloeta, D. (2022). *La economía circular en la minería peruana*. CEPAL.
- Kirchherr, J., Yang, N. H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the circular economy (revisited): An analysis of 221 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 107001.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Li, F. (2016). *Unearthing conflict: Corporate mining, activism, and expertise in Peru*. Duke University Press.
- Liu, J., Hull, V., Godfray, H. C. J., Tilman, D., Gleick, P., Hoff, H., ... Li, S. (2018). Nexus approaches to global sustainable development. *Nature Sustainability*, 1(9), 466–476.  
<https://doi.org/10.1038/s41893-018-0135-8>
- LinkedIn – Antamina. (2023). *Publicación sobre Certificado Azul* [Post en LinkedIn].  
[https://www.linkedin.com/posts/antamina\\_compromisoconelagua-activity-7143305548527005697-Nekq](https://www.linkedin.com/posts/antamina_compromisoconelagua-activity-7143305548527005697-Nekq)
- Lottermoser, B. G. (2019). *Environmental indicators in metal mining*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-28931-9>
- Lozano, R., & García, J. (2020). Gestión estratégica de recursos hídricos en minería: Una ventaja competitiva sostenible. *Revista Iberoamericana de Gestión Ambiental*, 26(3), 77–95.
- Mancini, L., & Sala, S. (2018). Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*, 57, 98–111.  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.002>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). *Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para efluentes de actividades minero-metalúrgicas*.

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Agua*. MINAM.
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas.
- Northey, S., Haque, N., & Mudd, G. M. (2013). Using sustainability reporting to assess the environmental footprint of copper mining. *Journal of Cleaner Production*, 40, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.027>
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). (2020). *Transiciones sostenibles en minería y gestión de recursos hídricos*. OCDE.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). (2021). *Principios de gobernanza del agua de la OCDE*. OCDE. <https://www.oecd.org>
- Owen, J. R., & Kemp, D. (2013). Social licence and mining: A critical perspective. *Resources Policy*, 38(1), 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.06.017>
- Parlamento Europeo. (2023, marzo 10). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. Parlamento Europeo.
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62–77.
- Rumbo Minero. (2024, junio 5). *Antamina: 200 toneladas de CO<sub>2</sub> al año son capturados por el Bosque de Huarmey*. Rumbo Minero.
- Schodde, R., & Hitzman, M. W. (2021). The future of mining: Water and energy challenges. *Minerals*, 11(7), 738. <https://doi.org/10.3390/min11070738>
- SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles). (2025). *Informe de verificación de compromisos ambientales – Antamina*. SENACE.
- SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles). (2025). *Informe N.º 00044-2025-SENACE-PE-DEAR-UFM*. SENACE.

- SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles). (2025). *Informe técnico de desempeño hídrico de operaciones mineras*. SENACE.
- Sosa, M., & Zwartveen, M. (2016). Acumulación por desposesión y agua en contextos mineros en Perú.  
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/antropologica/article/view/15159>
- Svobodova, K., Owen, J. R., Harris, J., & Worden, S. (2020). Complexities and contradictions in the global mining industry: The social licence to operate. *Resources Policy*, 65, 101540. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101540>
- Uetz, P., Freed, P., Aguilar, R., Reyes, F., Kudera, J., & Hošek, J. (Eds.). (2025). *Microlophus peruvianus* (Lesson, 1830). The Reptile Database. Recuperado el 3 de septiembre de 2025, de <https://reptile-database.reptarium.cz/species?genus=Microlophus&species=peruvianus>
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2021). *Water efficiency and sustainable production practices*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org>
- UN-Water. (2023). *Global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) 2023 report*. United Nations. <https://www.unwater.org>
- YouTube – Antamina. (2022). *Gestión hídrica y reforestación: Antamina gestiona el agua eficientemente y siembra bosques* [Video].  
[https://www.youtube.com/watch?v=CoItIXy2G\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=CoItIXy2G_A)
- YouTube – Antamina. (2023). *Antamina y el Certificado Azul* [Video corto con Fabiola Sifuentes]. <https://www.youtube.com/shorts/NwpBhh9LOLY>
- YouTube – PUCP. (2022). *Antamina: gestión hídrica y sostenibilidad* [Video].  
<https://www.youtube.com/watch?v=j2M97TFMvJs>

## Apéndices

### Apéndice A: Declaración de Uso de Inteligencia Artificial (IA)

#### Introducción

Esta declaración tiene como propósito establecer criterios claros para la integridad académica en el contexto del uso de herramientas de inteligencia artificial generativa (IAG) en el desarrollo de la tesis. Busca operacionalizar el cumplimiento de los *Lineamientos sobre el uso de IA en Centrum PUCP*. Este formato debe ser llenado de forma obligatoria por todos los equipos al momento de presentar su documento final de tesis e incorporarse como Apéndice A.

#### I. Declaración de uso de IAG

1. ¿Se utilizó alguna herramienta de IA generativa en la elaboración de este trabajo?

Si	X	No	
----	---	----	--

2. En caso afirmativo, ¿cuáles herramientas utilizaste? (marcar todas las que apliquen):

- ChatGPT (X)
- Gemini (X)
- Claude
- Copilot
- Perplexity
- DALL-E u otras IA visuales
- Otra: N/A





3. ¿Con qué propósito se utilizaron estas herramientas?

- Generación de ideas (X)
- Revisión gramatical (X)
- Organización de la información / Estructura
- Traducción de contenido
- Búsqueda de información secundaria (X)
- Redacción parcial
- Generación de imágenes / Visualizaciones
- Otros: N/A

#### II. Compromiso del estudiante

Declaro que la información proporcionada en este formulario es verdadera, y que asumo plena responsabilidad por el contenido del trabajo presentado, incluyendo aquellas partes elaboradas con apoyo de IA. Me comprometo a mantener los principios de honestidad académica, y a respetar las disposiciones institucionales sobre el uso responsable de la inteligencia artificial.

#### Firma de los integrantes:

Nombre y apellido: Johnny Alvarado Monteza	Firma: 	- DNI - 18092702
Nombre y apellido: Juan Carlos Avila Vargas	Firma: 	- DNI - 26686368
Nombre y apellido: Eric Rafael Díaz Márquez	Firma: 	- DNI - 41431312
Nombre y apellido: Diego Vega Oruna	Firma: 	- DNI - 46250988