



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Estrategias de gestión de recursos para mejorar la productividad en la planta de beneficio de carbón antracita en SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

Juan Percy CARAZAS SOSA

ASESOR

Mg. Máximo Medardo LEYVA CABALLERO

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Carazas, J. (2026). *Estrategias de gestión de recursos para mejorar la productividad en la planta de beneficio de carbón antracita en SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.* [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Juan Percy Carazas Sosa
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06462764
URL de ORCID	No aplica.
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Máximo Medardo Leyva Caballero
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08207414
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8082-9959
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Manuel García Pantigozo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06078851
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	María Luz La Torre Aponte
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08726495
Datos de investigación	
Línea de investigación	Descriptiva
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.

Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Región: La Libertad Provincia: Trujillo Distrito: Salaverry Avenida km 2.5 lote 3-b Latitud: -8.1718 Longitud:-78.9959
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2009-2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01 Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "VI Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2026-I", bajo la Presidencia del **Ing. José Manuel García Pantigozo**; la **Mg. María Luz La torre Aponte (Miembro)** y el **Mg. Máximo Medardo Leyva Caballero (Asesor)**; habiendo presentado para tal efecto el **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**, titulado "**Estrategias de gestión de recursos para mejorar la productividad en la planta de beneficio de carbón antracita en SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.**", después de **SUSTENTADO Y APROBADO** el trabajo de suficiencia profesional elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: **CARAZAS SOSA, JUAN PERCY**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO**, acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

Diecinueve

(LETRAS)

17

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 20 de junio del 2026

Ing. JOSÉ MANUEL GARCÍA PANTIGOZO
Presidente

Mg. María Luz La Torre Aponte

Mg. MARÍA LUZ LA TORRE APONTE

Miembro

Mg. Máximo Medardo Leyva Caballero

Mg. MÁXIMO MEDARDO LEYVA CABALLERO

Asesor

Dr. Eder Clidio Vicuña Galindo

Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
Director de la E.P. de Ingeniería Química





CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Máximo Medardo Leyva Caballero** en mi condición de asesor con el Dictamen N°000008-2026-EPIQ-FQIQ/UNMSM del Trabajo de Suficiencia Profesional cuyo título es: **Estrategias de gestión de recursos para mejorar la productividad en la planta de beneficio de carbón antracita en SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.**, presentado por el bachiller **CARAZAS SOSA, JUAN PERCY**, para optar el título Profesional de Ingeniero Químico.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 8% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título Profesional de Ingeniero Químico.

Lima, 3 de julio del 2026

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor **Máximo Medardo Leyva Caballero**

DNI: 08207414

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y a la Facultad de Química e Ingeniería Química por brindarme la oportunidad de presentar el Trabajo de Sustentación Profesional.

De igual forma agradezco a la gerencia de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. por facilitarme de manera oportuna y detallada toda la información técnica necesaria para el desarrollo de este trabajo y de manera especial a mi asesor del Trabajo de Sustentación Profesional, Ing. Máximo Leyva Caballero por su orientación, tiempo y valiosos aportes que fueron fundamentales para culminar este proyecto

Finalmente, extiendo mi reconocimiento a mi asistente Reniher Fuentes por su disposición, tiempo y apoyo constante durante el proceso de elaboración de este trabajo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
I. DATOS DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ EL TRABAJO	2
1.1. Institución donde se desarrolló la actividad	2
1.2. Finalidad y objetivos de la entidad.....	2
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. Descripción del problema	5
2.1.1. Descripción del problema central.....	5
2.1.2. Causas del problema	5
2.1.3. Efectos del problema	5
2.1.4. Incidencia espacial.....	5
2.1.5. Incidencia temporal.....	6
2.1.6. Consecuencias que requieran solución	6
2.1.7. Explicar intentos de solucionar el problema.....	6
2.2. Justificación	7
2.3. Objetivos.....	8
2.3.1. Objetivo general.....	8
2.3.2. Objetivos específicos	8
2.4. Hipótesis.....	8
2.5. Operacionalización de variables	9
III. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	10
3.1. Antecedentes.....	10
3.2. Marco teórico.....	13
3.2.1. Estrategias	13
3.2.2. Gestión de recursos	14
3.2.3. Productividad	19
3.2.4. Planta de beneficio	21
3.2.5. Carbón antracita	22

3.2.6.	Clasificación de carbones	23
3.2.7.	Norma ASTM D388-12	24
3.2.8.	Tipos de carbón antracita	24
3.2.9.	Aplicaciones industriales del Carbón Antracita	25
3.2.10.	Componentes principales y secundarios de la calidad del carbón antracita	30
3.2.11.	Análisis del carbón antracita	31
3.2.12.	Determinación de cenizas en el carbón antracita	32
IV.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	36
4.1.	Definición del alcance las actividades de certificación de LMS.....	36
4.2.	Conformación del equipo de implementación.....	36
4.2.1.	Tipo de investigación.	36
4.2.2.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
4.2.3.	Instrumento:.....	36
V.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO	37
5.1.	Tipo y diseño de investigación.....	37
5.2.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
5.3.	Procedimiento metodológico por objetivo específico	38
5.3.1.	Objetivo específico 1 (OE1): Diagnosticar la gestión actual de recursos en la planta	38
5.3.2.	Objetivo específico 2 (OE2): Identificar los problemas operativos	39
5.3.3.	Objetivo Especifico 3 (OE 3): Realizar un benchmarking internacional.....	40
5.3.4.	Objetivo Especifico 4 (OE 4): Proponer estrategias para mejorar la productividad.....	41
5.4.	Procesamiento y análisis de datos	42
5.5.	Diagrama de bloques del procedimiento metodológico	43
VI.	RESULTADOS	44
6.1.	Diagnóstico de la gestión actual de recursos en la planta de beneficio de carbón antracita de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.....	44
6.1.1.	Contexto histórico	44

6.1.2.	Diagrama de flujo del proceso productivo	46
6.1.3.	Descripción de actividades de diagrama de flujo	46
6.1.4.	Equipos de la planta	47
6.1.5.	Indicadores de productividad – Costos específico de producción (costos operativos)	48
6.1.6.	Consumo específico de energía eléctrica	49
6.1.7.	Consumo específico de combustible diésel	49
6.1.8.	Ventas nacionales e internacionales.....	50
6.1.9.	Indicadores de monitoreo ambiental	50
6.1.10.	Indicadores de mantenimiento mecánico.....	51
6.1.11.	Indicadores de desempeño de Seguridad y Salud.....	52
6.2.	Elaboración del manual	52
6.2.1.	Deficiencias en el sistema de pre-recepción de carga.....	53
6.2.2.	Falta de integración en el proceso de pesaje	55
6.2.3.	Descripción del problema de calidad de recepción.....	57
6.2.4.	Ineficiencia en la clasificación y organización del patio de acopio	59
6.2.5.	Bajo aprovechamiento del carbón antracita en la clasificación.....	61
6.2.6.	Matriz de priorización de problemas operativos.....	61
6.3.	Benchmarking internacional	63
6.3.1.	SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. en el contexto internacional: cumplimiento de estándares	63
6.3.2.	Contexto operacional y calidad de producto	64
6.3.3.	Generación de pasivos ambientales	65
6.3.4.	Monitoreo ambiental	65
6.4.	Resultados de estrategias para mejorar la productividad	66
6.4.1.	Estrategias de gestión de recursos implementadas a partir del 2021	66
6.4.2.	Comparativa de productividad: periodo anterior vs periodo post implementación	68
VII.	CONCLUSIONES.....	71
VIII.	RECOMENDACIONES	72
IX.	BIBLIOGRAFÍA	73

X. ANEXOS	76
Anexo 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE BENEFICIO DE CARBÓN ANTRACTIA (MEJORADO).....	77
Anexo 2. INVENTARIO DE EQUIPOS DE PLANTA DE BENEFICIO.....	78
Anexo 3. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL AGUA SUBTERRÁNEA	80
Anexo 4. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL AGUA RESIDUAL	81
Anexo 5. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL RUIDO AMBIENTAL.....	82
Anexo 6. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL AIRE PM 2.5.....	83
Anexo 7. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL SUELOS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Diagrama básico de planta de beneficio de carbón antracita</i>	22
Figura 2.	<i>Diagrama de bloques de la metodología de desarrollo</i>	43
Figura 3.	<i>Productividad diaria (TM/día) periodo 2009-2025</i>	45
Figura 4.	<i>Diagrama de Ishikawa - Pre recepción</i>	54
Figura 5.	<i>Diagrama de Ishikawa, pesaje</i>	56
Figura 6.	<i>Diagrama de Ishikawa - Pre Diagrama de Ishikawa-recepción</i>	58
Figura 7.	<i>Diagrama de Ishikawa – Acopio</i>	60
Figura 8.	<i>Diagrama de Ishikawa - Clasificación</i>	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	9
Tabla 2. Clasificación general del carbón mineral, según norma ASTM D388-12	24
Tabla 3. Características Generales del Carbón Antracita de Cuenca de Alto Chicama.....	25
Tabla 4. Ficha técnica de Carbon Antracita.....	26
Tabla 5. Ficha técnica de Carbon Antracita - reductor	27
Tabla 6. Ficha Técnica de Carbon Antracita granulada - carburante	28
Tabla 7. Ficha Técnica de Carbon Antracita - desoxidante	29
Tabla 8. Ficha Técnica de Carbon Antracita - fabricación de cemento	29
Tabla 9. Ficha Técnica de Carbon Antracita - fundición de estaño	30
Tabla 10. Tipo y diseño de investigación.....	37
Tabla 11. Técnicas e instrumentos por objetivos.....	38
Tabla 12. Indicadores de productividad.....	39
Tabla 13. Producción anual e índice de productividad de la planta de beneficio de carbón antracita, 2009-2025.....	45
Tabla 14. Resumen de costos específicos de producción por recurso (S./TM).....	48
Tabla 15. Consumo y costo específico de energía eléctrica	49
Tabla 16. Consumo y costo específico de combustible diésel	49
Tabla 17. Ventas totales (TM) por destino - últimos años con datos cerrados.....	50
Tabla 18. Indicadores de mantenimiento mecánico de planta	51
Tabla 19. Indicadores de desempeño de Seguridad y Salud	52
Tabla 20. Matriz de priorización de problemas operativos identificados.....	63
Tabla 21. Matriz de Benchmarking Internacional	64
Tabla 22. Cuadro comparativo de indicadores de desempeño: antes vs. después de las estrategias implementadas	69

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional (TSP) se centró en el diseño e implementación de estrategias de gestión de recursos para mejorar la productividad en la planta de beneficio de carbón antracita de la empresa SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. El diagnóstico inicial permitió identificar cuellos de botella críticos en las etapas de pre-recepción, pesaje, control de calidad y acopio, los cuales generaban tiempos muertos de hasta 6.25 horas diarias y pérdidas económicas mensuales por ineficiencias en el pesaje de aproximadamente \$4,050 USD. Mediante la aplicación de una metodología basada en la reingeniería de procesos y la modernización tecnológica, se implementaron sistemas de validación anticipada por códigos QR, automatización del pesaje, sistemas de evaluación analítica rápida (tecnología LECCO y ASH PROVE) y adquisición de clasificadores de mayor capacidad, eficiencia operativa y gestión integral de emisiones. Los resultados demuestran que estas intervenciones permitieron incrementar la productividad global de 1,021 TM/día a 1,518 TM/día (48%) y reducir el costo de beneficio de 35 S./TM a 19.40 S./TM (54.4%). En el ámbito ambiental, la instalación de sistemas de captación de polvo y el encapsulado de procesos redujeron las emisiones de PM10 a 27.2, un valor 72.8% inferior al límite máximo permisible. Se concluye que la mejora de los recursos no solo consolidó a la empresa como líder nacional con el 85% de la producción de antracita y exportaciones por 546,675 TM en 2025, sino que también generó una ventaja competitiva estratégica para el acceso a mercados internacionales con altas exigencias ambientales.

Palabras clave: Gestión de recursos, productividad, carbón antracita, eficiencia operativa, control ambiental, beneficio de minerales.

ABSTRACT

The present professional sufficiency work focused on the design and implementation of resource management strategies to improvement productivity at the anthracite coal processing plant of the company SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. The initial diagnosis identified critical bottlenecks in the pre-reception, weighing, quality control, and stockpiling stages, which generated idle times of up to 6.25 hours per day and monthly economic losses due to weighing inefficiencies of approximately \$4,050 USD. Through the application of a methodology based on process reengineering and technological modernization, QR code-based pre-validation systems, weighing automation, and rapid analytical evaluation systems (LECCO and ASH PROVE technology), acquisition of classifiers with greater capacity, operational efficiency and comprehensive emissions management were implemented. The results demonstrate that these interventions increased global productivity from 1,021 MT/day to 1,518 MT/day (48%) and reduced processing costs from 35 S/./MT to 19.40 S/./MT (54.4%). In the environmental sphere, the installation of dust collection systems and process encapsulation reduced PM10 emissions to 27.2, a value 72.8% lower than the national maximum permissible limit. It is concluded that resource improvement not only consolidated the company as the national leader with 85% of anthracite production and exports of 546,675 MT in 2025 but also generated a strategic competitive advantage for accessing international markets with high environmental standards.

Keywords: Resource management, productivity, anthracite coal, operational efficiency, environmental control, mineral processing.

INTRODUCCIÓN

La creciente competitividad en los sectores siderúrgicos, cementeros y procesos industriales exige que las empresas productoras de carbón antracita operen con altos niveles de eficiencia, calidad y control. En este contexto, SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., enfrenta el desafío de mejorar su desempeño productivo para consolidarse en el mercado nacional e internacional.

Sin embargo, la planta de beneficio presenta limitaciones en gestión de recursos en general, evidenciadas en deficiencias en el control de calidad, uso inadecuado de equipos, bajo eficiencia de los procesos y una organización operativa que no permite aprovechar adecuadamente las características técnicas del carbón antracita.

El **objetivo general** de la investigación es desarrollar estrategias de gestión de recursos en la planta de beneficio de carbón antracita de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., mediante la identificación de problemas operativos y el análisis comparativo con plantas internacionales.

La **justificación** radica en la necesidad de integrar la gestión de recursos con la productividad, bajo el enfoque ingenieril basado en evidencia, alineado con la política de investigación de la FQ-IG de la UNMSM, orientada a la calidad académica y rigurosidad metodológica.

La **metodología** es aplicada, de enfoque mixto, con diseño no experimental, estructurada en diagnóstico, análisis de problemas, benchmarking y formulación de estrategias. Se **espera** obtener un diagnóstico técnico, identificar brechas operativas y proponer mejoras que incrementen la eficiencia, calidad y productividad.

El **impacto** se reflejará en la mejora del desempeño de la planta y en la generación de conocimiento aplicado en ingeniería de procesos

I. DATOS DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ EL TRABAJO

1.1. Institución donde se desarrolló la actividad

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

1.2. Finalidad y objetivos de la entidad

Generales

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. es una empresa peruana socialmente responsable que se dedica a la exploración, explotación, beneficio y comercialización de carbón antracita, mineral de hierro y otros minerales. Establecida el 15 de abril del 2002, pertenece al Grupo SESUVECA, fundado en octubre de 1991.

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. cuenta con un capital humano comprometido en el desarrollo de cada uno de nuestros productos bajo los estándares de calidad más altos, ética y transparencia.

Producción

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. tiene una primera sede estratégicamente ubicada en Salaverry, Trujillo, a solo 1.5 kilómetros del Puerto Salaverry, SESUVECA DEL PERÚ S.A.C cuenta con una planta industrial con capacidad de procesamiento y almacenamiento de carbón Antracita de 750.000 TM/año.

Exportaciones

Desde el 2009 hasta la fecha, SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. es la empresa exportadora líder de carbón de antracita en el Perú, según cifras de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, llegando a alcanzar las 360.000 TM exportadas en el año 2022 y cerca de superar las 450.000 TM para el 2023. Desde el 2021 es una de las principales empresas en el mercado de mineral de hierro, con más de 100.000 TM exportadas para el 2022 y cerca de pasar las 200.000 TM para el 2023.

Paradigmas

Visión: SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. tiene por visión: Mantener el liderazgo de nuestra organización en la producción y comercialización de carbón antracita y mineral de hierro en Perú y el mundo, gestionando nuestros procesos y productos bajo normas y estándares internacionales de calidad, seguridad y medio ambiente.

Misión: SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. tiene por misión: Producir y comercializar carbón antracita, mineral de hierro y otros minerales varios, acorde con los altos estándares y exigencias de calidad para la industria siderúrgica, de fundición e industria en general, para el mercado nacional e internacional, innovando y promoviendo el desarrollo sostenible de nuestro capital humano y medio ambiente.

Política de Sistema de Gestión Integrado

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. está comprometido con la gestión de calidad, ambientalmente responsable, garantizando la seguridad y salud de los colaboradores y promoviendo la mejora continua a través de nuestro Sistema de Gestión Integrado.

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. cuenta con la reciente certificación de la trinorma ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 y el ISO 37001.

Productos

- Antracita fina. Mineral carbonífero fino y calidades químicas diferentes.
- Antracita clasificada. Mineral carbonífero a base de antracita triturada, molida y clasificada, especialmente en tamaños y calidades químicas diferentes.
- Mineral hierro. Roca y minerales de los que se puede extraer hierro metálico. Existen dos (2) clases principales yacimientos de mineral de hierro: la hematita masiva, que es la que se extrae más comúnmente y la magnetita.

Proyección social

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. realiza programas sociales en favor de la comunidad:

- Carboneros buena onda. Ha impactado a cerca de 1.000 familias en cuatro años consecutivos. En las vacaciones útiles 2026 culminaron con éxito más de 270 niños y niñas. El proyecto consolida una intervención educativa sostenible que contribuye al fortalecimiento de competencias académicas antes del inicio del año escolar.
- Conferencia gratuita sobre crianza y educación emocional para padres y alto Salaverry. Tuvo el objetivo de promover una educación integral basada en el bienestar emocional.
- Jornada comunitaria que permitió recuperar calles y accesos en Las Brisas - Salaverry. Orientada a recuperar calles y accesos afectados por el arenamiento, fenómeno recurrente en la zona del balneario.
- Celebra navidad 2025. La jornada incluyó un delicioso almuerzo navideño, música en vivo y sorteos con premios especiales, creando un espacio de diversión y camaradería.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

2.1.1. Descripción del problema central

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., dedicada a la producción de carbón antracita en La Libertad, enfrenta el desafío de ingresar al mercado internacional. Sin embargo, presenta limitaciones en la gestión de recursos operativos, tecnológicos, técnicos, humanos y tiempo que afectan la eficiencia del proceso productivo.

Estas deficiencias se evidencian en bajo control de calidad, uso inadecuado de equipos y limitada capacidad productiva.

Según la eficacia en plantas de beneficio depende directamente del control del proceso y calidad de material.

2.1.2. Causas del problema

Las causas principales radican en el deficiente control de calidad, uso inadecuado de equipos, limitada capacidad operativa y la insuficiente infraestructura. Asimismo, existen fallas de procedimientos técnicos en etapas de recepción, blendeo, trituración y molienda.

Estas deficiencias coinciden con lo señalado por, donde se indica que el rendimiento de la calidad del carbón depende de la correcta selección y control de procesos y tecnologías de separación.

2.1.3. Efectos del problema

Las deficiencias generan operaciones ineficientes, variabilidad en la calidad del producto y una organización que no permite aprovechar adecuadamente las fracciones granulométricas del carbón.

Esto reduce la recuperación de material valioso y la productividad. La falta de control y gestión eficiente de procesos impacta directamente en la productividad y competitividad industrial.

2.1.4. Incidencia espacial

El problema se presenta en la planta de beneficio de carbón antracita de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., ubicada en la región de La

Libertad, específicamente en todas las etapas del proceso productivo: recepción, acopio, clasificación, blendeo, trituración y molienda.

Esta incidencia espacial integral coincide con lo indicado en donde se establece que las deficiencias en cualquier etapa del proceso afectan el desempeño global de la planta.

2.1.5. Incidencia temporal

El problema se presenta de manera continua durante la operación diaria de la planta, afectando cada ciclo productivo y acumulando impactos en el tiempo.

Las deficiencias no son eventos aislados, sino sistemáticos, lo cual genera pérdidas recurrentes.

Según la falta de control continuo en el uso de recursos deriva en ineficiencia sostenidas y deterioro progresivo del desempeño operativo.

2.1.6. Consecuencias que requieran solución

Las incidencias limitan la eficiencia productiva, reducen ingresos por menor aprovechamiento del mineral, incrementan rechazos por incumplimiento de calidad y dificultan el acceso a mercados exigentes como el siderúrgico. Esto compromete la conectividad de la empresa.

Según la calidad del carbón antracita es determinante para su aceptación industrial, por lo que fallas en el proceso afectan directamente su valor comercial.

2.1.7. Explicar intentos de solucionar el problema

Se han identificado iniciativas como mejoras tecnológicas, modernización de equipos, fortalecimiento del control de calidad y reorganización de procesos operativos. No obstante, estas acciones han sido parciales y no integradas bajo un enfoque sistemático de gestión de recursos.

Las mejoras aisladas no garantizan productividad si no se integran en una estrategia operativa estructurada y basada en datos.

2.2. Justificación

El presente trabajo de suficiencia profesional (TSP) se justifica por la necesidad de mejorar el desempeño productivo de las plantas de beneficio de carbón antracita mediante un enfoque sistemático de gestión de recursos, en un contexto donde la competitividad industrial exige operaciones eficientes, controladas y alineadas con estándares técnicos y académicos de calidad.

En la práctica industrial, muchas plantas de beneficio de carbón antracita, operan con esquemas tradicionales de gestión, donde la toma de decisiones se basa en la experiencia empírica más que criterios técnicos estructurados, indicadores de desempeño y análisis sistemático de procesos.

En el caso de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., estas condiciones representan una oportunidad concreta para aplicar un enfoque ingenieril que permita diagnosticar, cuantificar y corregir dichas brechas, contribuyendo a la mejora de la productividad.

En la industria de procesos, la productividad no depende únicamente del volumen producido, sino de la eficiencia en el uso de los recursos. Sin embargo, en muchas operaciones minero-industriales, la gestión de recursos (equipos, energía, mano de obra, tiempo) se maneja de forma desarticulada del análisis de productividad.

En el caso de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., la revaluación de sus recursos mediante una mejora de gestión podría mejorar los indicadores de desempeño.

En el caso de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., podría procesar de manera eficiente un impacto directo en la cadena de valor industrial, la competitividad del producto y el aprovechamiento del recurso natural.

La Facultad de Química e Ingeniería Química (FQ-IQ) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) establece como eje fundamental de su política de investigación la Evaluación bibliotecológica y el aseguramiento de la calidad.

Esto implica que la presente investigación debe sustentarse en fuentes académica confiables y actualizadas, garantizar la rigurosidad metodológica y asegurar la calidad de la investigación, así como sus resultados, lo que permitirá que pueda aportar conocimiento útil, verificable y aplicable.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Desarrollar estrategias de gestión de recursos en la planta de beneficio de carbón antracita de la empresa SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., mediante la identificación de problemas operativos y el análisis comparativo con plantas internacionales.

2.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la gestión actual de recursos en la planta.
- Identificar los problemas operativos.
- Realizar un benchmarking internacional.
- Proponer estrategias para mejorar la productividad dentro de la planta de beneficio de carbón antracita.

2.4. Hipótesis

La implementación de estrategias de gestión de recursos basadas en la reingeniería analítica, mejora mecánica y automatización logística incrementará significativamente la productividad de la planta de beneficio de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., superando un régimen operativo de 1,500 TM/día.

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Fórmulas de Cálculo	Unidades (SI / Std)	Criterios Técnicos de Interpretación
Variable Independiente (V.I.): Estrategias de gestión recursos	Conjunto de acciones de reingeniería analítica, mejora de transferencias mecánicas, balances de masa y automatización logística orientados a mitigar cuellos de botella operativos en una planta metalúrgica de carbón.	Mejoras del Control Analítico	Eficiencia del Tiempo Analítico (ETA)	$ETA = (\text{Tiempo convencional (mufla)} - \text{Tiempo tecnológico (Ash - prove)}) / \text{Tiempo convencional (mufla)} \times 100$	Porcentaje (%)	ETA > 80%: Excelente reducción del cuello de botella analítico en el control de calidad de cenizas.
		Gestión de Transferencia y Clasificación Mecánica	Índice de Recuperación Másica Global (Rm)	$Rm = (\text{Masa de carbon comercial beneficiado (TM)} / \text{Masa de carbón bruto ingresado (TM)}) \times 100$	Porcentaje (%)	Rm > 95: Minimización eficiente de pérdidas por degradación física y mermas eólicas en patios.
		Sincronización de Flujos Logísticos	Utilización de la Capacidad de Pesaje (UCP)	$UCP = (\text{Numero de camiones pesados por día} / \text{Capacidad máxima de diseño de la balanza}) \times 100$	Porcentaje (%)	UCP óptima (75-90%): Flujo constante sin generar tiempos de espera en la pre-recepción.
Variable Dependiente (V.D.): Productividad en la planta de beneficio	Medida del rendimiento del sistema de transformación que evalúa la capacidad de procesar y despachar carbón antracita mejorando el uso de recursos temporales, materiales y de capacidad instalada por unidad de tiempo.	Rendimiento de Procesamiento	Productividad Diaria de Planta (Pd)	$Pd = (\text{Total de carbón antracita Beneficiado (TM)} / \text{Día de operación efectiva})$	Toneladas Métricas por Día (TM/día)	Pd > 600TM/día: Escalamiento de planta frente a la línea base histórica de la empresa.
		Eficiencia del Tiempo de Operación	Ratios de Tiempos Muertos Operativos (RTM)	$RTM = (\text{Horas totales de parada de planta por día (h)} / \text{Horas totales de turno programado (h)}) \times 100$	Porcentaje (%)	RTM < 10%: Alta continuidad operacional lograda por la eliminación de cuellos de botella.
		Calidad Comercial del Producto	Cumplimiento del Estándar de Cenizas (Ce)	$Ce = (1 - (\text{Lotes rechazados por cenizas} > \text{Limite ASTM}) / (\text{Total de lotes procesados})) \times 100$	Porcentaje (%)	Ce = 100%: Aseguramiento estricto de los límites contractuales de exportación (ej. Ceniza < 12%).

Nota. Elaboración propia

III. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

A nivel nacional, Rivero y Ustariz (1857), en su obra científica e industrial “Colección de Memorias Científicas, Agrícolas e Industriales”, realizó uno de los primeros análisis de caracterización y viabilidad técnica sobre el empleo del carbón mineral en los procesos metalúrgicos e industriales del Perú. El autor evaluó las propiedades de combustión, el potencial energético de los yacimientos locales y la necesidad de sustituir los combustibles orgánicos tradicionales por recursos fósiles para elevar el rendimiento de los hornos industriales.

Si bien este estudio posee un carácter histórico y exploratorio, se integra científicamente con la presente investigación al establecer la línea base sobre la necesidad de adecuar y beneficiar el carbón mineral según los requerimientos de la industria manufacturera. La brecha identificada respecto a dicho antecedente radica en que, en el siglo XIX, el aprovechamiento se limitaba a la extracción primaria sin control granulométrico estricto ni mejora analítica en laboratorio. Por lo tanto, este trabajo de suficiencia profesional complementa dicho enfoque histórico implementando estrategias modernas de gestión de recursos y control de calidad rápido (LECO y Ash Probe) en la planta de beneficio de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., transformando el recurso bruto en un producto con valor agregado competitivo para el mercado internacional actual.

Con respecto a la evolución y diagnóstico de la infraestructura minero-metalúrgica en el país, Aguirre et al. (2013) examinaron el impacto histórico del cese de las políticas gubernamentales de incentivo a la industria del carbón antracita a partir de 1930, identificando que la falta de continuidad en la planificación técnica estatal devino en un estancamiento tecnológico en los procesos de beneficio del mineral.

Esta problemática se complementa con el análisis del estudio técnico-operativo desarrollado por el Instituto Nacional de Planificación (INP, citado en Aguirre et al., 2013) sobre el Complejo Minero Energético de Alto Chicama. En dicha investigación sectorial, se evaluó la viabilidad de integrar la extracción de antracita con la generación termoeléctrica; sin embargo, el proyecto evidenció limitaciones estructurales para estandarizar la calidad del combustible debido a la alta heterogeneidad granulométrica y química del carbón de la cuenca. Este antecedente se integra científicamente con el presente trabajo de suficiencia profesional, puesto que demuestra que el problema de la baja productividad y el desaprovechamiento del recurso en la región de La Libertad no es coyuntural, sino estructural, originado por la falta de plantas de beneficio con tecnologías de clasificación eficientes.

Asimismo, el análisis normativo sectorial permite identificar que, si bien el Decreto Supremo N° 031-2006-EM (Reglamento de la Ley de Minería) buscó establecer un marco regulatorio para la actividad, la normativa omitió lineamientos técnicos específicos para incentivar la modernización tecnológica en las plantas de beneficio y refinación de carbón mineral. Como consecuencia de este vacío técnico-regulatorio, los índices de eficiencia, recuperación másica y comercialización de la antracita continuaron disminuyendo a nivel nacional. La presente investigación aborda directamente esta brecha del entorno regulatorio y productivo, demostrando cómo la implementación de estrategias privadas de gestión de recursos y la mejora de procesos logran revertir la tendencia decreciente de productividad del sector, elevando los estándares de calidad comercial bajo normativas internacionales actuales (ASTM).

Respecto a las políticas macrosectoriales, el Plan de Desarrollo de la Industria del Carbón Antracita (2011) formulado por el gobierno peruano, planteó como objetivo estratégico elevar la competitividad de la industria nacional. Sin embargo, su limitada efectividad operativa perpetuó las brechas de productividad en el sector minero-metalúrgico debido a la falta de herramientas tecnológicas aplicadas en las

plantas de beneficio locales.

A nivel internacional, la planificación y la eficiencia operativa en el sector carbonífero han sido abordadas desde diversas perspectivas metodológicas. Erdenet (2020) propuso lineamientos de planificación estratégica para el recurso carbonífero en Mongolia utilizando análisis de escenarios de exportación y revisión de mercados. El estudio concluyó que la competitividad del carbón trasciende el valor geológico del yacimiento, dependiendo críticamente de una gestión logística e integral orientada a las exigencias del mercado de destino.

En el ámbito de la eficiencia en el flujo de producción, Otsweletse (2021) evaluó los factores que deprimen la productividad en la mina Morupule (Botsuana) mediante el análisis estadístico de desviaciones por turno. Esta investigación determinó que la estabilidad operativa se alcanza mediante la medición sistemática de la relación input-output y la mitigación de las fuentes de variación en el frente de trabajo, lo cual valida metodológicamente la necesidad de estandarizar los tiempos de ciclo y flujos logísticos en los procesos de beneficio.

Por su parte, Saubí (2022) investigó el impacto económico y ambiental de la generación de finos de carbón durante el manejo y transporte de materiales en Morupule. Mediante ensayos mecánicos y muestreos sistemáticos en fajas transportadoras, el autor cuantificó pérdidas de mineral de entre el 3% y 13%, concluyendo que la mejora de los puntos de transferencia reduce drásticamente la degradación física del carbón y mitiga la emisión de material particulado.

En el extremo del procesamiento metalúrgico avanzado, Sokolović et al. (2025) determinaron la densidad óptima de separación gravitacional de la antracita en Serbia mediante la aplicación de métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM) como TOPSIS, WASPAS y CoCoSo. El estudio demostró que una densidad final de separación de 1650 kg/m³ maximiza la lavabilidad y la calidad

comercial del mineral, constituyendo un referente de benchmarking técnico para la estandarización de procesos de corte granulométrico.

Finalmente, las investigaciones de Banerjee et al. (2024) en la India y Kim et al. (2023) en Corea del Sur evaluaron la viabilidad tecnoeconómica y química de la valorización de la antracita como precursor industrial de carbón activado. Banerjee et al. (2024) desarrollaron un modelado de procesos en múltiples etapas de activación, demostrando que la factibilidad financiera debe indexarse estrictamente al diseño técnico. En paralelo, Kim et al. (2023) lograron reducir componentes críticos de la ceniza (como SiO_2 y Al_2O_3) e incrementar el área superficial hasta $1596 \text{ m}^2/\text{g}$ mediante activación química con KOH. Ambos estudios coinciden en que un estricto control analítico de las impurezas del carbón permite transformar un recurso complejo en un producto de alto valor agregado.

En este contexto, la presente investigación se posiciona como una propuesta aplicada y contextualizada a la realidad de la empresa SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., orientada a cerrar las brechas identificadas entre la gestión actual de la planta y los estándares internacionales.

A través del diagnóstico, la identificación de problemas operativos, el benchmarking y la formulación de estrategias, se busca mejorar la productividad bajo un enfoque ingenieril, sistemático y basado en evidencia, contribuyendo así a la mejora del desempeño operativo y a la sostenibilidad del proceso de beneficio de carbón antracita.

3.2. Marco teórico

3.2.1. Estrategias

En términos de ingeniería de operaciones, una estrategia no debe entenderse como una idea general, sino como un conjunto coherente de decisiones y acciones orientadas a alinear recursos, procesos, tecnología y metas de desempeño (Nigel, 2023).

La literatura reciente de estrategia de operaciones señala que esta disciplina estudia precisamente las actividades, decisiones y procesos que permiten convertir los recursos operativos en resultados sostenibles y competitivos. Asimismo, la revisión reciente sobre gestión estratégica remarca que el foco central de la estrategia es identificar las decisiones que permiten alcanzar mayor productividad y ventaja competitiva.

En una planta de beneficio, la estrategia debe materializarse en parámetros de operación, asignación de recursos y control del proceso, no solo en lineamientos administrativos (Lee, 2021).

La evidencia en manufactura muestra que la integración entre estrategia operativa, sistemas de gestión, Enterprise Resource Plannig [ERP] (Planificación de Recursos Empresariales), calidad y productividad mejora el desempeño innovador y la eficiencia del sistema.

3.2.2. Gestión de recursos

Es el proceso técnico y gerencial mediante el cual la organización planifica, asigna, controla y mejora el uso de sus recursos críticos: materias primas, equipos, tiempo, energía, agua, mantenimiento, personal, información y capacidad instalada (Hammer, 2019).

Desde el enfoque de la ingeniería de operaciones, la gestión moderna de recursos debe sustentarse en indicadores cuantificables de desempeño, monitoreo continuo y control analítico del proceso. Hammer (2019) sostiene que las organizaciones industriales modernas deben evolucionar hacia operaciones resource-productive, es decir, sistemas capaces de generar mayor valor agregado con menor consumo específico de recursos energéticos y materiales.

En el ámbito productivo, la gestión de recursos no se limita al abastecimiento o al recurso humano, abarca la forma en que la

planta transforma insumos en producto útil con el menor nivel posible de pérdidas, reprocesos, tiempos muertos y consumo no productivo Ramírez et al. (2022).

La revisión sistemática sobre productividad en organizaciones subraya que la eficiencia de recursos requiere supervisión de procesos, reducción de desperdicios, incorporación tecnológica y control continuo.

a. Gestión de recursos en plantas de beneficio mineral

La gestión de recursos en plantas de beneficio mineral constituye un sistema integral orientado a mejorar el uso de materias primas, energía, equipos, tiempo operativo, información y capital humano, con el objetivo de maximizar la productividad y minimizar pérdidas operacionales. En industrias de proceso continuo, como el beneficio del carbón antracita, la eficiencia en la asignación y utilización de recursos influye directamente sobre la estabilidad operativa, la calidad del producto final y la competitividad comercial (Ramírez et al., 2022).

Dentro del contexto específico del beneficio del carbón antracita, la gestión de recursos debe abordar cinco (5) dimensiones críticas interrelacionadas:

Gestión de recursos materiales

Incluye la administración de materias primas (carbón bruto de diferentes rangos), insumos de proceso (agua, reactivos de flotación cuando aplique, grasa, lubricantes, etc.), materiales de mantenimiento y repuestos críticos. La variabilidad natural del yacimiento carbonífero exige protocolos de caracterización y clasificación que permitan mejorar el blending y la asignación de material a diferentes líneas de proceso (Jordens et al., 2019).

Matusiak et al. (2021) demostraron que la trituración selectiva y el control granulométrico previo al procesamiento permiten mejorar

significativamente la eficiencia de separación de impurezas minerales, incrementando el rendimiento del carbón comercializable y reduciendo pérdidas asociadas a material estéril. Este enfoque evidencia que la gestión eficiente de recursos materiales no solo depende del abastecimiento, sino también de la mejora del tratamiento mecánico del mineral.

Asimismo, la literatura reciente destaca la importancia de integrar sistemas de monitoreo inteligente y automatización parcial de procesos en plantas carboníferas. Jiang, He y Zhang (2024) señalaron que las tecnologías de clasificación inteligente y los sistemas de control basados en sensores permiten reducir la variabilidad operacional, mejorar la precisión de separación y mejorar el consumo energético durante el procesamiento del carbón.

Gestión de recursos energéticos

En plantas de carbón, el consumo específico energético (kWh/TM) es un indicador clave de eficiencia operativa que debe monitorearse continuamente (Sampaio et al., 2021).

La energía utilizada en trituración, molienda, clasificación y transporte representa un componente crítico de los costos operativos. Hughes et al. (2024) indican que las tecnologías modernas de beneficio seco permiten reducir significativamente el uso de agua y energía, mejorando simultáneamente la eficiencia ambiental y productiva de las operaciones carboníferas.

Gestión de recursos humanos operativos

Abarca la asignación de personal calificado por turno, la capacitación en procedimientos técnicos específicos del carbón antracita, y la gestión del conocimiento operativo. La experiencia del personal en el reconocimiento visual de tipos de carbón y en la operación de equipos de clasificación impacta directamente en la calidad del producto final (Jordens et al., 2019).

Gestión del tiempo operativo

Comprende la planificación de turnos, la mejora de tiempos de ciclo,

la minimización de paradas no programadas y la maximización del tiempo efectivo de operación. La gestión del tiempo es particularmente crítica cuando existe subutilización de capacidad instalada (Sampaio et al., 2021).

Wang, Long y Meng (2022) demostraron que la mejora de logística integrada entre extracción, transporte y procesamiento permite reducir cuellos de botella operativos y maximizar la utilización de capacidad instalada. En consecuencia, la productividad de una planta de beneficio depende no solo de la capacidad nominal de los equipos, sino de la sincronización eficiente del flujo de materiales y la estabilidad operacional del sistema.

Gestión de la información y los indicadores

La toma de decisiones operativas basada en datos requiere un sistema de indicadores que mida en tiempo real o con frecuencia adecuada el desempeño de los recursos. Sin indicadores formalizados, la gestión es reactiva: solo se actúa cuando el problema ya es visible. Con indicadores, la gestión es predictiva y preventiva. La revisión sistemática de Ramírez et al. (2022) subraya que la eficiencia de recursos requiere supervisión de procesos, reducción de desperdicios, incorporación tecnológica y control continuo.

b. Gestión de recursos y productividad

La relación entre gestión de recursos y productividad es directa y causal: una mejora en la gestión de recursos se traduce, de manera medible, en una mejora en la productividad. Sin embargo, esta relación no es automática; requiere que las mejoras en gestión estén vinculadas a indicadores de productividad específicos que permitan verificar el impacto. Desarrollar estrategias de gestión de recursos solo tiene sentido si tales estrategias logran mejorar, de manera medible, la productividad integral de la planta (Alharbi, 2025).

Un enfoque reciente de operaciones productivas sostiene que la

gestión moderna en industrias de proceso debe apoyarse en métricas de tiempo, analítica de datos, control avanzado y metodologías de mejora para alcanzar operaciones resource-productive, es decir, operaciones que generan más valor con menor consumo específico de recursos (Hammer, 2019).

c. Estrategias de gestión de recursos

Una estrategia de gestión de recursos es un conjunto coherente de decisiones y acciones planificadas, orientadas a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos críticos de una organización en un horizonte de tiempo determinado (Nigel, 2023). A diferencia de las mejoras operativas puntuales, una estrategia implica priorización, secuencia lógica de implementación, asignación de responsables y mecanismos de seguimiento.

En el ámbito de la ingeniería de procesos, la literatura reciente identifica tres niveles de estrategia de gestión de recursos. El primer nivel es operativo, enfocado en la eficiencia del día a día: reducir tiempos muertos, minimizar consumos específicos, controlar la calidad en proceso. El segundo nivel es táctico, orientado a mejorar la organización del trabajo y la utilización de la capacidad instalada: mejora de turnos, mantenimiento basado en criticidad, estandarización de procedimientos. El tercer nivel es estratégico, dirigido a la transformación del modelo operativo: inversión tecnológica, certificaciones de sistema de gestión, diversificación de productos y mercados (Lee, 2021).

La evidencia en manufactura y procesos industriales muestra que la integración entre estrategia operativa, sistemas de gestión, calidad y productividad mejora el desempeño innovador y la eficiencia del sistema de manera sostenida en el tiempo. Para que las estrategias sean efectivas, deben estar fundamentadas en un diagnóstico riguroso de la situación actual, en la identificación sistemática de los problemas operativos y en la comparación con referentes de

desempeño internacionales (Yu et. al, 2023).

3.2.3. Productividad

La productividad constituye uno de los principales indicadores de desempeño en sistemas industriales y puede definirse como la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados para alcanzarlos. En plantas de beneficio de carbón antracita, la productividad no solo se relaciona con el volumen de producción, sino también con la calidad del producto, la eficiencia energética, la estabilidad operacional y el aprovechamiento de la capacidad instalada (Ramírez et al. 2022).

Desde el enfoque de la ingeniería de procesos, la productividad industrial se evalúa mediante indicadores técnicos y económicos tales como toneladas procesadas por hora (TM/h), recuperación másica, consumo energético específico (kWh/TM), disponibilidad mecánica, utilización de equipos y costo unitario de producción. Slack et al. (2022) sostienen que toda operación industrial debe analizarse como un sistema de transformación donde los inputs, materia prima, energía, tiempo y mano de obra, son convertidos en outputs con valor agregado.

En industrias de procesamiento mineral, la productividad se encuentra estrechamente asociada a la eficiencia de separación y al control de calidad del producto final. Sriramoju et al. (2021) demostraron que el control granulométrico y las estrategias de clasificación selectiva mejoran las características de lavabilidad del carbón y permiten incrementar el rendimiento del producto limpio, reduciendo simultáneamente el contenido de cenizas e impurezas minerales.

Asimismo, Banerjee et al. (2024) evidenciaron que la productividad industrial del carbón antracita depende críticamente de variables operativas como capacidad de planta, costos energéticos, estabilidad de operación y control analítico del proceso. Mediante un modelo

tecnoeconómico aplicado a la producción de carbón activado derivado de antracita, los autores concluyeron que pequeñas variaciones en parámetros de proceso generan impactos significativos sobre la rentabilidad, el costo unitario y la viabilidad económica de la operación.

a. Productividad general

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

- Output: producción (toneladas, unidades, valor).
- Input: recursos (horas, energía, mano de obra, capital)

b. Productividad de equipos

$$\text{Productividad de equipos} = \frac{\text{Producción}}{\text{Tiempo operativo del equipo}}$$

- Evalúa eficiencia de maquinaria.
- Relacionada con disponibilidad y rendimiento.

c. Productividad en términos de valor

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Valor producido}}{\text{Costo de recursos}}$$

- Integra dimensión económica.
- Permite evaluar rentabilidad operativa.

En plantas industriales, esa relación puede medirse como toneladas tratadas por hora, toneladas comercializables por turno rendimiento de recuperación, consumo energético específico, disponibilidad operativa, utilización de equipos, productividad laboral y costo unitario por tonelada producida.

En términos operacionales, la productividad moderna también incorpora indicadores integrales de desempeño como el Overall Equipment Effectiveness (OEE), el cual evalúa simultáneamente disponibilidad, rendimiento y calidad del proceso. La utilización de indicadores OEE en plantas industriales permite identificar pérdidas

ocultas, tiempos improductivos y restricciones operativas que afectan el flujo continuo de producción.

Desarrollar estrategias de gestión de recursos solo tiene sentido si tales estrategias logran mejorar, de manera medible, la productividad integral de la planta (Alharbi, 2025).

En otras palabras, la productividad será el indicador de salida que permitirá validar la eficacia de las estrategias propuestas. La productividad, entre otras variables productivas-empresariales, se puede utilizar como un indicador económico, que pueda intentar predecir el estado de la economía en el futuro de la empresa.

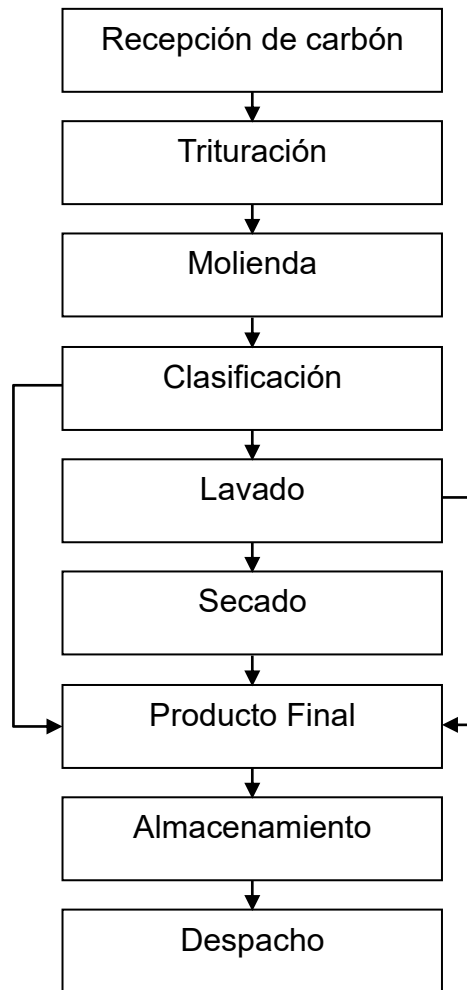
3.2.4. Planta de beneficio

Una planta de beneficio de carbón es una instalación industrial donde el carbón crudo extraído de la mina es procesado para separar las impurezas inorgánicas (Groppo, J. 2017)

El beneficio del carbon antracita en una planta tal como se muestra en la figura 1 se define como el conjunto de procesos mediante los cuales se separan del carbón bruto las impurezas inorgánicas, mejorando así las características del carbón o del producto final (Singh V. 2023).

Respecto de tecnologías de separación por gravedad para limpieza de carbón, la limpieza del carbón de una tecnología precombustión que reduce impurezas antes del uso final, y que el objeto principal de la separación es incrementar la fracción orgánica combustible y reducir la ganga inorgánica, con beneficios simultáneos en calidad y reducción de impactos ambientales (Phengsaart et al., 2023).

En algunas operaciones basta el chancado y cribado, mientras que en otras se requieren procesos de separación gravitacional y flotación.

Figura 1.*Diagrama básico de planta de beneficio de carbón antracita**Nota: Elaboración propia***3.2.5. Carbón antracita**

La antracita es un carbón de alto rango, con mayor contenido de carbono fijo y menor contenido de volátiles y humedad que carbones de menor rango. Basados en la norma ISO- 11760 muestra que la antracita se clasifica dentro de los carbones de alto rango, y estudios mineralógicos recientes la ubican incluso como material de transición hacia formas más ordenadas del carbono bajo ciertas condiciones geológicas (Li et al. (2022).

Para el TSP, el carbón antracita es el eje técnico del proceso. La gestión de recursos debe orientarse a conservar sus atributos comerciales: minimizar contaminación, controlar cenizas, evitar

degradación granulométrica y asegurar consistencia de clasificación (SESUVECA DEL PERÚ, SAC 2026).

En este sentido, el beneficio no debe verse como una operación genérica, sino como una operación especializada sobre un material de alto valor relativo dentro de la cadena carbonífera.

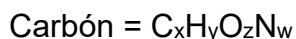
Según Jia et al. (2022), basado en un estudio en la localidad de Yangquan (China), el carbono es la principal fuente de energía no renovable, además de ser una importante materia prima básica para la industria energética, basado en la información sobre la composición de los grupos funcionales, la estructura del esqueleto de carbono y la composición de los elementos superficiales, construyó un modelo de estructura molecular de la antracita:

a. Formula molecular representativa del carbón antracita



La fórmula mostrada es una fórmula empírica/macromolecular obtenida a partir del análisis elemental de C, H, O y N.

b. Relación estequiométrica elemental



Donde típicamente para antracita:

C $\approx$ 85-90% , H $\approx$ 3-6% , O $\approx$ 2-8%, N $\approx$ 1-2%

3.2.6. Clasificación de carbones

El más antiguo y el más puro es la antracita, cuyo contenido de carbono fijo es del orden de 86 a 98% y menos de 14% de materia volátil; le sigue el carbón bituminoso con 69 a 86% de carbono fijo, contenido de materia volátil entre 14 y 31%, y con límites de 8300 Btu/lb a 11 500 Btu/lb de poder calorífico; el lignito, con 50 a 69% de contenido de carbono fijo, entre 40 y 50% de materia volátil y con límites de 6 300 Btu/lb a 8 300 Btu/lb de poder calorífico (Durán, 1993 citado en Guevara, 2025).

3.2.7. Norma ASTM D388-12

La norma busca que las propiedades utilizadas para la clasificación, según tabla 2, sean lo suficientemente sencillas de determinar mediante el análisis próximo y el poder calorífico. La terminología derivada de esta norma es de uso extendido a nivel mundial y estandariza el uso de términos como poder calorífico (PC), materia volátil (MV), humedad (Hd), ceniza (Cz) y carbono fijo (CF).

Tabla 2.

Clasificación general del carbón mineral, según norma ASTM D388-12

Tipo	CF (%)	MV (%)	PC(BTU/lb)	PC(MJ/kg)	PC(Kcal/lg)
Antracita	86-98	2-8			
Bituminoso (Hulla	69-78	14-31	10500-14000	24,5-32,6	5800-7780
Subbituminoso			9500-10500	22,1-24,5	5290-5860
Lignito y turba			6300-8300	14,7-19,3	3500-4600

Nota: CF (carbono fijo), MV (materia volátil), PC (poder calorífico). Cortesía de Guevara (2025), <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8429>

3.2.8. Tipos de carbón antracita

En la tabla 3 encuentran tres (3) tipos de carbones antracita: Meta-antracita, conocido en el ámbito minero como “chungito”, la Antracita y la Semi-antracita. Las cuales se pueden presentar con características granulométricas finas y gruesas, conocidas en el ámbito minero como cisco, mixto y mixto suave respectivamente (SESUVECA DEL PERÚ, SAC 2026).

Los carbones antracitas (Meta-antracita y Antracita) son los de mayor carbón fijo, poco volátiles y alto poder calorífico en comparación con las Semi-antracitas. Así mismo, las características técnicas de un carbón antracita grueso (mixto) normalmente es superior al carbón fino (cisco) (Tabla 2).

Tabla 3.*Características Generales del Carbón Antracita de Cuenca de Alto Chicama*

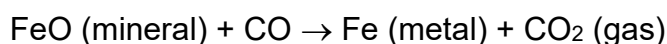
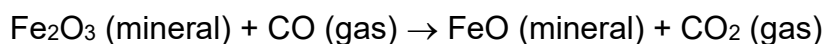
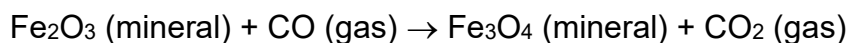
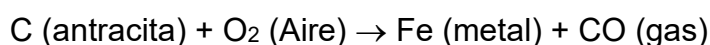
Características	Meta-antracita	Antracita	Semi-antracita
Carbón Fijo (%)	>92	85-89	75-85
Cenizas (%)	4-6	6-14	10-18
Volátiles (%)	2-3	4-5	5-12
Azufre (%)	0,3-0,5	0,5-0,8	0,8-1,3
Humedad (%)	4-6	4-8	4-12
Poder Calorífico (Kcal x Kg)	>8000	>7000	>6500

*Nota. Cortesía de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.***3.2.9. Aplicaciones industriales del Carbón Antracita****- Industria Siderúrgica****○ Combustible y reductor en la fabricación de pellas de hierro.**

La antracita fina se utiliza como aleante en la producción de pellas de hierro como combustible y reductor. En la tabla 4, se indican las características técnicas de este tipo de antracita

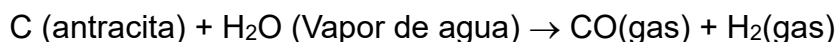
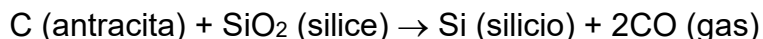
En el proceso de mezclado y calcinación de la pella, la antracita se combustiona y produce calor, lo que ayuda a reducir el consumo de energía (gas), en el proceso operativo de fabricación de pellas y así mismo reduce parcialmente los diferentes tipos de mineral de hierro que puede ser utilizados para fabricar las pellas.

Las reacciones químicas del carbón antracita en este proceso son:



Asimismo, el carbón antracita en la pella forma carburo de hierro, reduce la sílice (SiO_2) y produce gas de reducción (H_2), lo que ayuda a mejorar la resistencia mecánica de la pella.

Las reacciones químicas son las siguientes:



○ **Formador de escoria espumosa**

La antracita de una cierta curva granulométrica y composición química como la mostrada en la tabla 4, se inyecta neumáticamente y conjuntamente con oxígeno en hornos de arco eléctrico de ultra alta potencia (UHP) para espumar las escorias. Este proceso ayuda a mejorar la productividad y eficiencia del horno UHP, a aumentar los TM/Hr de acero, a reducir el consumo de energía por TM de acero y a reducir el consumo de TM de refractarios y electrodos de grafito por TM de acero.

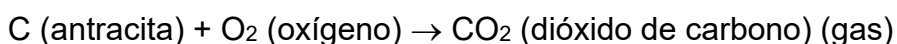
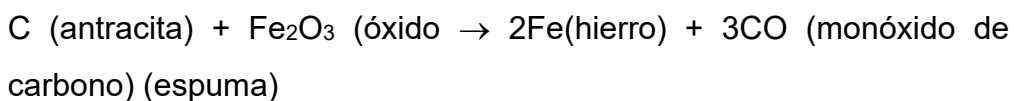
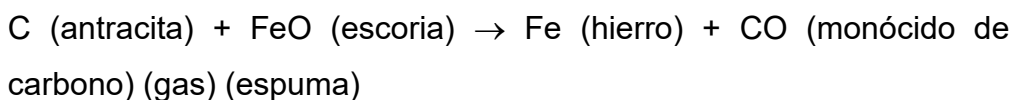
Tabla 4.

Ficha técnica de Carbon Antracita

Especificación Química (Base Seca)			
Carbon Fijo:	77% Min.	Humedad:	10% Max.
Cenizas:	14% Max.	Granulometría:	
Material Volátil	9% Max.	-<9.52 mm:	100% Min.
Azufre	1.2% Max.	-<6.35 mm:	94% Min.
Fosforo	0.05% Max.	-<Malla 100:	10% Max.
Poder Calorífico	7000 Kcal/Kg Min.		

Nota: Siderúrgica del Orinoco (Sidor), (2015)

Las reacciones químicas para la formación de la espuma con carbón antracita son:



La antracita fina – espumante reacciona con el FeO y Fe₂O₃ presente en la escoria produciendo hierro metálico y el monóxido de carbono (CO), que es el gas que produce la espuma en el horno.

El dióxido de carbono se forma en la superficie de la antracita fina y se disuelve en la escoria, el exceso de CO₂ reacciona con el carbono de la antracita para formar el monóxido de carbono (CO) (Espuma)

- **Reductor de óxidos de hierro**

La antracita gruesa tipo reductor como se indica en la tabla 5; Se utiliza en el horno de arco eléctrico de UHP para reducir los óxidos de hierro provenientes de chatarra y hierro esponja, y aumentar la temperatura del horno.

La reacción química de este proceso es:



Tabla 5.

Ficha técnica de Carbon Antracita - reductor

Especificación Química (Base Seca)			
Carbon Fijo:	88% Min.	Humedad:	2% Max.
Cenizas:	8% Max.	Granulometría:	
Material Volátil	4% Max.	-<1 1/2":	5%
Azufre	0.8% Max.	-1 1/2" – 2":	90%
Fosforo	0.05% Max.	->2"	5%
Poder Calorífico	7000 Kcal/Kg Min.		

Nota: Siderúrgica del Orinoco (Sidor), (2015)

- **Carburante de acero**

La carburación del acero es el proceso de agregar carbono al acero para aumentar su porcentaje y ajustar las propiedades químicas y mecánicas que exige el proceso de fabricación de acero.

En la tabla 6, se indica un carbon antracita – tipo carburante con altos porcentajes de carbón fijo, bajo porcentaje de cenizas, baja cantidad de volátiles y azufre, además de una curva granulométrica acorde

para su disolución en el acero, se utiliza como carburante por sus mejores propiedades.

La reacción química de la carburación es:

$C \text{ (antracita)} \rightarrow C \text{ (antracita disuelta en acero)}$

$Fe \text{ (Hierro)} + C \text{ (antracita disuelta)} \rightarrow Fe_3C \text{ (carbono de hierro)}$

En estas reacciones el carbono del carbón antracita se disuelve en el acero y forman el carburo de hierro, lo que aumenta los puntos de carbono en el acero.

Tabla 6.

Ficha Técnica de Carbon Antracita granulada - carburante

Composición Química		Granulometría
Carbon Fijo:	92% Min.	2-6 mm
Cenizas:	4% Max.	
Volátiles:	4% Max.	
Azufre	1% Max.	
Humedad	1.5% Max.	

Nota: Ternium Colombia

○ **Desoxidante de acero**

La desoxidación es el proceso de reducir el % de oxígeno en el acero, que permite mejorar las propiedades químicas y mecánicas del acero.

El carbón antracita tipo desoxidante como el indicado en la Tabla 7 reacciona con el oxígeno del acero para formar monóxido de carbono (CO)

Las reacciones químicas son:

$C \text{ (antracita)} + O_2 \text{ (oxígeno disuelto en el acero)} \rightarrow CO \text{ (monóxido de carbono)}$

$FeO \text{ (Óxido de hierro)} + C \text{ (antracita)} \rightarrow Fe \text{ (hierro)} + CO \text{ (monóxido de carbono)}$.

Tabla 7.*Ficha Técnica de Carbon Antracita - desoxidante*

Composición Química y Física			
Carbon Fijo:	86% Min.	Humedad:	8% Max.
Cenizas:	10% Max.	Granulometría:	
Volátiles:	4% Max.	<6 mm:	10% Max.
Azufre	1% Max.	>13mm:	10% Max.

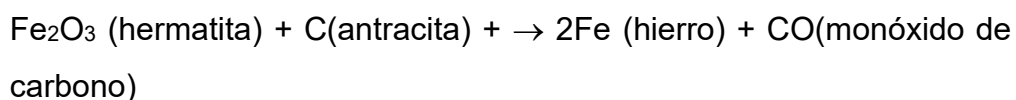
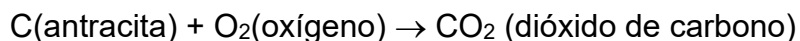
Nota: Arcelor Mittal Ucrania

- **Industria Cementera**

El carbón antracita fino se utiliza como combustible sólido para generar energía calorífica en el horno rotatorio de cemento y así mismo se utiliza como reductor en el proceso de clinkerización, donde se reduce el óxido de hierro (Fe_2O_3) a hierro metálico y se forma el clinker de cemento.

Las características del tipo de carbón antracita utilizado para el proceso de fabricación de cemento, se visualiza en la tabla 8.

Las reacciones químicas involucradas en este proceso son:

**Tabla 8.***Ficha Técnica de Carbon Antracita - fabricación de cemento*

Especificación Química	
Volátiles	>3.0%
Cenizas	<42.0%
Azufre	<2%
Humedad	<16%
Dureza HGI	>50

Nota: UNACEM PERU S.A.

- **Industria Metalúrgica**

El carbón antracita se utiliza en las plantas metalúrgicas de estaño, cobre, plomo, etc., como combustible y reductor en los óxidos metálicos para producir metales de alta pureza.

El carbón antracita para este tipo de proceso tiene las características químicas, físicas y granulométricas mostrada en la tabla 9, adecuadas para combustionar, producir calor y energía, procesos que son necesarios para iniciar las reacciones químicas de reducción.

Como ejemplo de reacciones químicas producidas en una planta de estaño son:

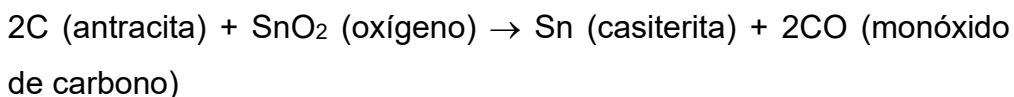
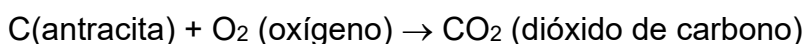


Tabla 9.

Ficha Técnica de Carbon Antracita - fundición de estaño

Especificación Química y Física			
Carbon Fijo:	78% Min.	Humedad:	6% Max.
Cenizas:	16% Max.	Granulometría:	
Material Volátil	6% Max.	Menor a 1/4":	20% Max.
Azufre	1.25% Max.	Mayor a 1":	8% Max.

Nota: Minsur

3.2.10. Componentes principales y secundarios de la calidad del carbón antracita

Componentes principales: Carbon Fijo (Cf), Volátiles (Vo), Cenizas (Cz)

Componentes Secundarios:

- Volátiles (Vo): Metano, Etileno, Propano, Butano, Hidrogeno, Monóxido de Carbono, Sulfuro de Hidrogeno, Dióxido de Carbono.
- Azufre (S): Azufre piritico, Azufre sulfático, Azufre orgánico, Azufre elemental
- Oxigeno
- Carbono
- Hidrogeno
- Nitrógeno

3.2.11. Análisis del carbón antracita

El análisis de carbón antracita es un proceso importante para determinar la calidad y sus características. A continuación, se presentan los tipos de análisis más comunes:

- **Análisis Inmediato**

Este análisis determina la composición del carbón en términos de:

- Carbón Fijo (CCF)
- Volátiles (MV)
- Cenizas (CZ)
- Humedad

- **Análisis Elemental**

Este análisis determina la composición elemental del carbón en términos de:

- Carbono (C)
- Hidrogeno (H)
- Nitrógeno (N)
- Azufre (S)

- **Análisis de Poder Calorífico**

Este análisis determina el poder calorífico del carbón, expresado en unidad de energía por unidad de masa (Kcal/Kg, Btu/Lb)

- **Análisis de Cenizas**

Este análisis determina la composición de las cenizas del carbón, incluyendo los compuestos: SiO_2 , H_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , TiO_2 .

- **Análisis de Azufre**

Este análisis determina el contenido de azufre en el carbón, lo que es importante para evaluar el impacto ambiental.

- **Análisis de Cloro**

Mediante este análisis se determina el cloro total en el carbón (ASTM D4208).

- **Análisis de Densidad**

Este análisis determina la densidad del carbón.

- **Temperatura de Fusión de Cenizas (TFC)**

La TFC se determina mediante la prueba de fusión de cenizas (ASTM D 1857).

- **Temperatura de Ignición (TI)**

La TI se determina mediante la prueba de Ignición (ASTM D 3465).

- **Índice de Molienda (HGI)**

Es un índice que mide la facilidad de molienda del carbón antracita (ASTM D409/D409 M).

3.2.12. Determinación de cenizas en el carbón antracita

Las cenizas del carbón son el residuo inorgánico que queda después de la combustión completa del material carbonoso a condiciones normalizadas. Su determinación es uno de los parámetros analíticos más importantes en la caracterización del carbón antracita, dado que afecta directamente su valor comercial, su desempeño en los procesos industriales donde se utiliza y la eficiencia del proceso de beneficio (ASTM D3174).

Desde el punto de vista de la composición, las cenizas del carbón antracita son una mezcla compleja de óxidos inorgánicos, principalmente dióxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), óxido de titanio (TiO_2), óxido de potasio (K_2O) y óxido de

sodio (Na_2O), cuya composición específica varía según el yacimiento de origen y las condiciones geológicas de formación del carbón (Speight, 2015).

a. Impacto del contenido de cenizas en la calidad del producto

El contenido de cenizas es inversamente proporcional al contenido de carbono fijo: a mayor porcentaje de cenizas, menor porcentaje de carbono fijo disponible para las reacciones industriales de combustión o reducción. Por esta razón, los clientes de la industria siderúrgica, cementera y metalúrgica establecen límites máximos estrictos de cenizas en sus especificaciones técnicas de compra.

En la industria siderúrgica, el contenido de cenizas del carbón antracita utilizado como formador de escoria espumante en hornos de arco eléctrico de ultra alta potencia (UHP) impacta directamente en la composición química de la escoria y en el consumo de refractarios del horno. Altos contenidos de SiO_2 y Al_2O_3 en las cenizas incrementan la viscosidad de la escoria y reducen su capacidad de espumado, afectando la eficiencia energética del proceso (Turkdogan, 1996). En la industria cementera, las cenizas del carbón antracita utilizado como combustible en el horno rotatorio se incorporan parcialmente al clínker, por lo que su composición química debe ser compatible con la formulación del producto final (UNACEM PERU S.A., especificaciones técnicas).

b. Métodos de determinación de cenizas

La determinación del contenido de cenizas en carbón se realiza mediante dos métodos normalizados principales:

- El método de mufla (ASTM D3174 / ISO 1171) consiste en calcinar una muestra de carbón en un horno de mufla a temperatura controlada ($815 \pm 10^\circ\text{C}$ para ASTM, 815°C para ISO) hasta peso constante. El residuo resultante se expresa como porcentaje en masa sobre base seca. Este método es preciso y reproducible, pero requiere tiempos de análisis de entre 2 y 4 horas por muestra, lo que

limita su uso para control en tiempo real del proceso.

El método de analizadores instrumentales de rápida determinación, como los equipos de la línea LECO (TGA y analizadores de carbón), permite determinar el contenido de cenizas, materia volátil y humedad de manera simultánea, con precisión comparable al método de mufla, mediante termogravimetría en atmósfera controlada. Esta capacidad de determinación simultánea de múltiples parámetros en menor tiempo es relevante para el control de calidad en planta, donde la oportunidad del resultado analítico es tan importante como su exactitud.

- El método del Ash Probe o analizador en línea por fluorescencia de rayos X (XRF) permite determinar el contenido de cenizas de manera continua o semicontinua directamente sobre el flujo de material en proceso, sin necesidad de preparación de muestra. Estos equipos emiten radiación X sobre el carbón en movimiento y miden la fluorescencia emitida por los elementos presentes en las cenizas, calculando su contenido de manera proporcional. La precisión es ligeramente inferior a los métodos gravimétricos, pero su principal ventaja es la inmediatez del resultado, lo que permite tomar decisiones de conformidad o rechazo en tiempo real durante la recepción y clasificación del mineral.

c. Bases analíticas para la expresión de resultados

Los resultados del análisis de cenizas pueden expresarse en tres bases analíticas distintas, cuyo uso correcto es fundamental para la comparación de resultados y el cumplimiento de especificaciones:

La base tal como se recibe (as received, ar) incluye la humedad total de la muestra en el momento del análisis y es el valor más representativo del material real en proceso. La base seca (dry basis, db) elimina el efecto de la humedad superficial y permite comparar muestras con diferente contenido de humedad. La base seca libre de cenizas (dry ash free, daf) elimina tanto la humedad como las cenizas,

permitiendo comparar el contenido de materia orgánica pura entre diferentes tipos de carbón.

d. Variabilidad del contenido de cenizas y su gestión en planta

El contenido de cenizas del carbón antracita no es homogéneo: varía entre yacimientos, entre mantos de un mismo yacimiento, entre lotes de una misma extracción e incluso dentro de un mismo lote según la distribución granulométrica. En general, las fracciones granulométricas más finas tienden a concentrar mayor contenido de cenizas que las fracciones gruesas, debido a que los planos de fractura del carbón suelen coincidir con zonas de mayor contenido de material inorgánico (Speight, 2015).

Esta variabilidad intrínseca hace que la gestión del contenido de cenizas en planta sea un problema de control estadístico de proceso, no solo de análisis puntual. Una planta de beneficio que no mide sistemáticamente el contenido de cenizas por lote, turno y fracción granulométrica no puede detectar oportunamente las desviaciones respecto a las especificaciones del cliente, lo que genera riesgo de rechazo de producto, reproceso o pérdida de valor comercial.

IV. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

4.1. Definición del alcance las actividades de certificación de LMS

El planteamiento de la solución se orienta a cerrar las brechas identificadas en la gestión de recursos y desempeño productivo de la planta de beneficio de carbón antracita de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., mediante un conjunto de ideas preliminares estructuradas, técnica y operativamente viables:

1. Implementación de un sistema de gestión integral de recursos.
2. Mejora del proceso de beneficio del carbón.
3. Fortalecimiento del control de calidad.
4. Modernización y adecuación tecnológica de equipos.
5. Implementación de mantenimiento basado en criticidad.
6. Reorganización de los procesos operativos.
7. Implementación de herramientas de monitoreo y control.
8. Aplicación de benchmarking técnico-operativo.
9. Desarrollo de una cultura de mejora continua.

4.2. Conformación del equipo de implementación

4.2.1. Tipo de investigación.

- Aplicada.
- Descriptiva - evaluativa.
- No experimental - transversal.
- Enfoque cualitativo - cuantitativo.

4.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Observación directa en planta.
- Revisión documental (registros de producción, reportes técnicos).
- Entrevistas semiestructuradas a personal clave.

4.2.3. Instrumento:

- Fichas de observación de procesos.
- Checklists de evaluación de equipos.
- Formatos de registro de tiempos y producción.
- Guías de entrevista.

V. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

5.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo aplicada, orientada a resolver un problema concreto en el contexto operativo de la planta de beneficio de carbón antracita de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. El diseño es no experimental de corte transversal, dado que no se manipularán variables, sino que se observará y analizará la realidad existente en un período determinado. El enfoque es mixto, combinando análisis cuantitativo de indicadores de producción y calidad, con análisis cualitativo a través de observación directa y entrevistas semiestructuradas. En la tabla 10 se resume el tipo y diseño de investigación.

Tabla 10.

Tipo y diseño de investigación

Dimensión	Descripción
Tipo	Aplicada
Nivel	Descriptivo – evaluativo
Diseño	No experimental – transversal
Enfoque	Mixto (cualitativo - cuantitativo)
Unidad de análisis	Planta de beneficio de carbón antracita de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., Salaverry, La Libertad

5.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de información se emplearán las técnicas e instrumentos vistos en la tabla 11, seleccionados en función de su pertinencia para cada objetivo específico:

Tabla 11.*Técnicas e instrumentos por objetivos*

Técnica	Instrumento	Objetivo asociado
Observación directa en planta	Fichas de observación de procesos y checklists de evaluación de equipos	OE1, OE2
Revisión documental	Registros de producción, reportes de calidad, datos de consumo energético	OE1, OE2
Entrevistas semiestructuradas	Guías de entrevista aplicadas a personal clave (operadores, jefe de planta)	OE1, OE2
Revisión bibliográfica sistemática	Fichas bibliográficas y matrices de comparación de plantas referenciales	OE3
Análisis de datos	Hojas de cálculo para procesamiento estadístico e indicadores de productividad	OE1, OE2, OE4

5.3. Procedimiento metodológico por objetivo específico

A continuación, se detalla el procedimiento metodológico correspondiente a cada objetivo específico, describiendo el método empleado y las actividades realizadas.

5.3.1. Objetivo específico 1 (OE1): Diagnosticar la gestión actual de recursos en la planta**Método: Diagnóstico técnico-operativo**

El diagnóstico se realizó mediante el levantamiento de información directa en la planta de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., combinando observación de campo, revisión de registros históricos y entrevistas al personal. El propósito fue obtener una línea base cuantitativa y cualitativa del estado actual de la gestión de recursos.

Actividades:

1. Levantamiento de información de procesos y recursos: Se identificaron y documentaron los flujos operativos completos de la

planta (recepción de carbón, trituración, molienda, clasificación, lavado, secado, almacenamiento y despacho), registrando los recursos asociados a cada etapa: equipos, personal, energía, agua y tiempo.

2. Identificación de flujos de proceso: Se elaboró un diagrama de flujo actualizado y detallado del proceso productivo real, diferenciando las etapas y los puntos críticos de control.
3. Evaluación de equipos: Se aplicaron checklists de evaluación a los equipos principales (trituradores, molinos, zarandas, clasificadores y fajas transportadoras), registrando capacidad nominal, capacidad real, horas operativas, horas de parada y estado general.
4. Cálculo de indicadores de productividad: Con los datos recolectados se calcularon los indicadores clave de desempeño indicados en la tabla 12.

Tabla 12.

Indicadores de productividad

Indicador	Fórmula	Unidad
Productividad general	Producción / Recursos consumidos	TM/h, TM/turno
Productividad de equipos	Producción / Tiempo operativo del equipo	TM/h operativa
Disponibilidad operativa	Horas operativas / Horas programadas × 100	%
Consumo energético específico	kWh consumidos / TM producidas	kWh/TM
Productividad laboral	TM producidos / N° operadores	TM/operador
Costo unitario de producción	Costo total / TM producidas	S//TM o USD/TM

5.3.2. Objetivo específico 2 (OE2): Identificar los problemas operativos

Método: Análisis causa-efecto

A partir de los datos recolectados en el diagnóstico, se identificaron y analizaron los problemas operativos que afectan la productividad de la planta. Se empleó la metodología de análisis causa-efecto (diagrama

de Ishikawa) para cada problema identificado, organizando las causas según las categorías de máquinas, mano de obra, materiales, métodos, medio ambiente y medición.

Actividades:

- Análisis de variabilidad de la calidad del carbón antracita: Se procesaron los resultados de análisis inmediatos (carbono fijo, cenizas, volátiles, humedad y azufre) obtenidos de registros de laboratorio, calculando la variabilidad por lote, turno o período, y comparándolos con las especificaciones técnicas exigidas por los clientes (fichas técnicas de Sidor, Ternium, Arcelor Mittal, UNACEM y Minsur u otro cliente).
- Análisis de ineficiencia de equipos: Se identificaron las principales causas de parada de equipos, clasificándolas por tipo (falla mecánica, mantenimiento preventivo, falta de material, problemas eléctricos u otras causas), y se calculará el impacto de cada causa sobre la disponibilidad operativa total.
- Elaboración de diagramas de Ishikawa: Para cada problema principal identificado se construyó un diagrama causa-efecto que permita visualizar la interrelación de causas y priorizar las de mayor impacto.
- Priorización de problemas: Se aplicó una matriz de priorización (criterios: frecuencia, impacto en productividad e impacto en calidad) para ordenar los problemas según su criticidad.

5.3.3. Objetivo Especifico 3 (OE 3): Realizar un benchmarking internacional

Método: Análisis comparativo con plantas referenciales

Se realizó una comparación sistemática entre el desempeño operativo de la planta de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. y los estándares e indicadores reportados en plantas de beneficio de carbón antracita a

nivel internacional, utilizando la literatura científica citada en el marco teórico y antecedentes del presente trabajo.

Actividades:

- Revisión y sistematización de literatura especializada: Se sistematizaron los indicadores de desempeño, tecnologías y modelos de gestión reportados en los antecedentes internacionales revisados (Vietnam y Colombia), organizándolos en una matriz de referencias.
- Identificación de indicadores de desempeño en plantas referenciales: A partir de la literatura se extrajeron los indicadores clave disponibles en cada referencia: rendimiento de recuperación, disponibilidad operativa, generación de finos, densidad de separación, control de calidad, entre otros.
- Descripción de modelos de gestión referenciales: Se describieron los modelos de gestión y las tecnologías de procesamiento empleadas en las plantas referenciales, identificando las prácticas más relevantes y transferibles al contexto de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C..
- Comparación con la realidad de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.: Se construyó una matriz de brechas comparando los indicadores y prácticas de las plantas referenciales con los resultados del diagnóstico (OE1) y los problemas identificados (OE2), cuantificando la brecha operativa existente.

5.3.4. Objetivo Especifico 4 (OE 4): Proponer estrategias para mejorar la productividad

Método: Diseño de propuestas ingenieriles basadas en evidencia

Las estrategias se formularon de manera sistemática a partir de los resultados de los tres objetivos anteriores, asegurando que cada estrategia esté directamente vinculada a un problema operativo identificado y respaldada por las mejores prácticas del benchmarking internacional.

Actividades:

- Formulación de estrategias en base a los problemas identificados: Para cada problema priorizado en el OE2 se formularon al menos una estrategia de mejora concreta, especificando la acción propuesta, los recursos necesarios y el responsable de implementación.
- Clasificación de estrategias por área operativa: Las estrategias se clasificaron según el área de impacto: gestión integral de recursos, mejora del proceso de beneficio, control de calidad, modernización de equipos, mantenimiento basado en criticidad, reorganización operativa, monitoreo y control, y cultura de mejora continua.
- Evaluación del impacto esperado en productividad: Para cada estrategia se estimó el impacto esperado sobre los indicadores de productividad calculados en el OE1, expresando la mejora en términos cuantificables (ej. incremento en % de disponibilidad, reducción de finos en %, mejora en carbono fijo del producto final).
- Construcción de la matriz de estrategias: Se elaboró una matriz que relacionó cada problema con su estrategia correspondiente, el indicador que mejora, la magnitud esperada de mejora y la prioridad de implementación (corto, mediano o largo plazo).

5.4. Procesamiento y análisis de datos

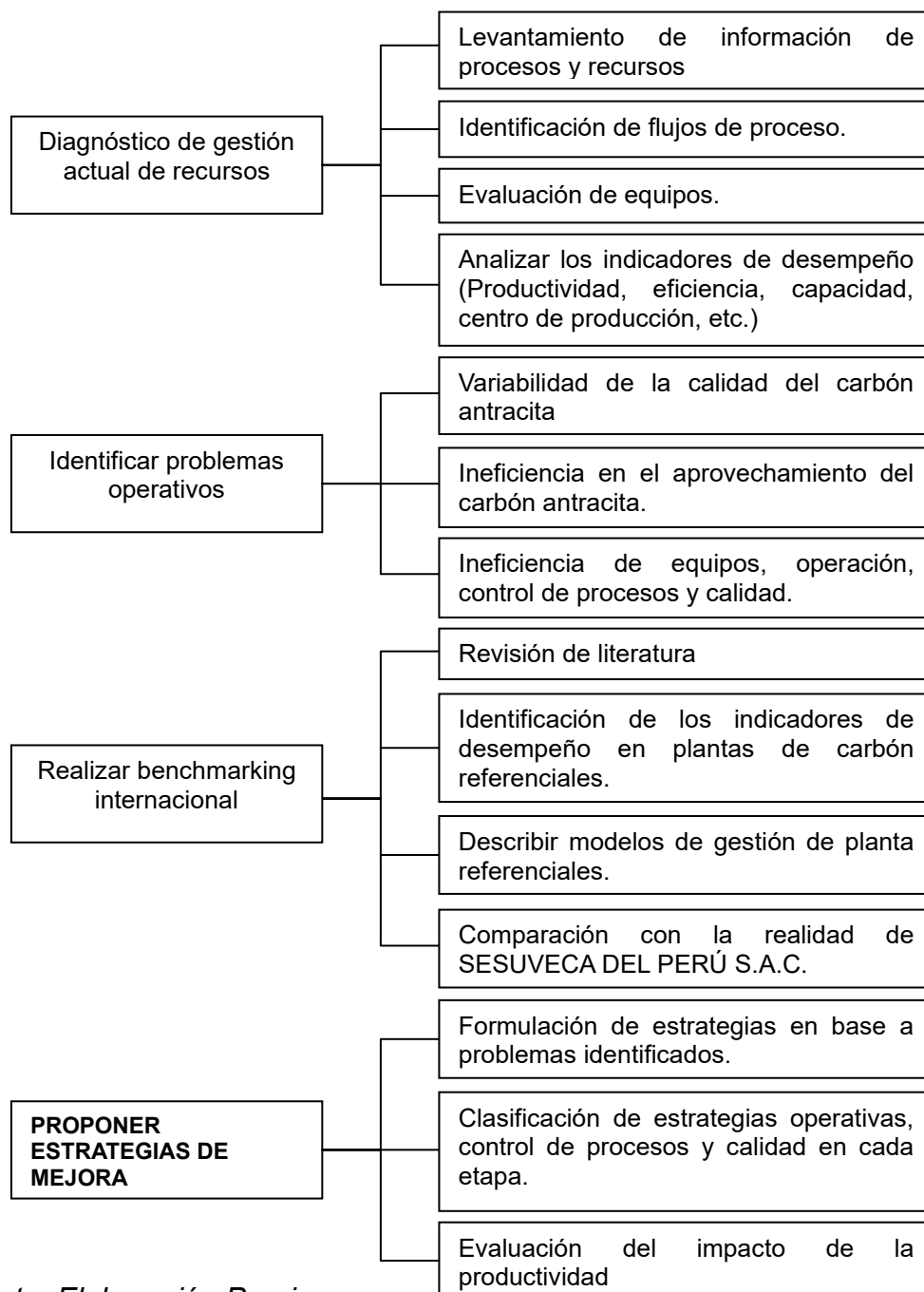
Los datos cuantitativos recolectados de producción, indicadores de producción, ventas nacionales e internacionales, indicadores de mantenimiento mecánico y monitoreo ambiental, vistos en la tabla 13, figura 3, tabla 14, tabla 15, tabla 16, tabla 17, tabla 18, tabla 19 y tabla 20, fueron procesados mediante hojas de cálculo, calculando estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, coeficiente de variación) para evaluar la variabilidad de los indicadores. Los datos cualitativos (observaciones, entrevistas) fueron organizados y codificados temáticamente para identificar patrones recurrentes en la gestión operativa.

5.5. Diagrama de bloques del procedimiento metodológico

En la figura 2, el diagrama sintetiza el flujo metodológico del presente trabajo, mostrando la secuencia lógica entre los cuatro objetivos específicos y la articulación entre el diagnóstico, la identificación de problemas, el benchmarking y la propuesta de estrategias.

Figura 2.

Diagrama de bloques de la metodología de desarrollo



Nota: Elaboración Propia

VI. RESULTADOS

6.1. Diagnóstico de la gestión actual de recursos en la planta de beneficio de carbón antracita de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

6.1.1. Contexto histórico

Desde el 2009 se ha realizado un control de la comercialización del carbón antracita, comercializando un volumen inicial de 15.715 TM con una productividad de apenas 44 TM/día. Desde sus primeros años, el equipo técnico de la empresa identificó que el carbón producido no cumplía consistentemente con los estándares exigidos por los mercados internacionales, especialmente los parámetros críticos de cenizas, volátiles y azufre requeridos por la industria siderúrgica y cementera. Esta situación se manifestó en la baja productividad sostenida entre 2009 y 2020, con valores que oscilaron entre 44 y 650 TM/día, y en la incapacidad de acceder de manera estable a los mercados de mayor valor. La producción de ese primer período reflejaba las limitaciones estructurales del proceso: equipos de clasificación de baja capacidad, un sistema de control de calidad dependiente de análisis lentos en horno de mufla, y una infraestructura operativa que no permitía el aprovechamiento técnico del carbón según su distribución granulométrica y calidad química.

El análisis de los registros históricos de producción, indicados en la Tabla 13 revela con claridad la inflexión que representó el año 2021. Hasta 2020, la productividad máxima registrada fue de 650 TM/día (año 2018), con una fuerte variabilidad interanual. A partir de 2021, los indicadores de productividad como indica la figura 3 se transformaron de manera sostenida: 1.030 TM/día en 2021, 1.036 TM/día en 2022, 1.713 TM/día en 2023, 1.388 TM/día en 2024 y 1.768 TM/día en 2025.

Tabla 13.

Producción anual e índice de productividad de la planta de beneficio de carbón antracita, 2009-2025

N°	Año	Producción (TM)	Productividad (TM/día)	Año	Producción (TM)	Productividad (TM/día)
1	2009	15,715	44	2018	233,835	650
2	2010	99,377	276	2019	141,291	392
3	2011	119,447	332	2020	76,559	213
4	2012	72,920	203	2021	370,818	1,030
5	2013	41,794	116	2022	372,960	1,036
6	2014	36,513	101	2023	616,533	1,713
7	2015	64,561	179	2024	499,769	1,388
8	2016	24,427	68	2025	636,513	1,768
9	2017	130,455	362			

Nota. Los valores 2021-2025 en negrita corresponden al periodo de expansión acelerada. SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

Figura 3.

Productividad diaria (TM/día) periodo 2009-2025



Nota. Elaboración Propia

Esta mejora no fue resultado de condiciones externas favorables, sino de un conjunto de decisiones estratégicas de gestión de recursos implementadas a partir de ese año, cuyo impacto se analiza en los objetivos siguientes.

6.1.2. Diagrama de flujo del proceso productivo

El levantamiento del proceso productivo de la planta de beneficio permitió elaborar un diagrama de flujo mejorado indicado en el Anexo 1 que comprende las siguientes etapas secuenciales: pre-recepción con validación documental mediante código QR, pesaje en balanza industrial electrónica de 80 TM, control de calidad de cenizas mediante equipo Ash Probe (táctil y de caja), conformidad del mineral, traslado al patio de acopio, reconfomidad del control de calidad, clasificación por tipo de antracita (cisco, mixto), clasificación primaria mediante criba fija, clasificación secundaria y terciaria en zarandas móviles (Líneas 1, 2 y 3), lavado de antracita en el rango 9 mm–1", y molienda gruesa y fina en el sistema Z3.

La actividad de mayor impacto en la productividad es la clasificación granulométrica. Esta etapa concentra el mayor volumen de recursos, energía, equipos, mano de obra, y determina directamente la calidad y el valor comercial del producto final.

6.1.3. Descripción de actividades de diagrama de flujo

- a. Pre-recepción: Se realiza la revisión de los documentos mediante el sistema QR, incluyendo la guía de revisión del transportista, documentos del minero y otros requisitos legales.
- b. Recepción – Pesaje: Consiste en recibir el carbón antracita proveniente de la mina o del proveedor minero. Se procede a pesar la carga y a realizar una inspección visual de la calidad del mineral.
- c. Control de Calidad Manual: Se lleva a cabo un control manual para confirmar el nivel de cenizas en la carga. Este análisis dura aproximadamente cinco minutos y sirve como una evaluación preliminar del carbón antracita.
- d. Patio de Acopio: Almacenamiento, caracterización y acopio del carbón según sus valores de cenizas, volátiles, azufre y poder calorífico. Se evalúa el tipo de antracita antes del procesamiento y se valorizan las cenizas por tamaño.
- e. Clasificación de Carbón Antracita Cisco: Separación del carbón por tamaño para preparar las fracciones destinadas a molienda y lavado.

Se aprovechan las fracciones para obtener antracita fina, granulada y granos de diversos diámetros (5 mm, $>1/4"$, $1/4"-1/2"$ y $>1/2"$).

- f. Clasificación Primaria de Carbón Antracita Mixto (Criba Fija): Uso de una criba fija para separar el carbón antracita en tamaños mayores y menores a 2 pulgadas.
- g. Control de Calidad de Carbón Antracita Menor a 2": Para el mineral menor a 2", se realizan análisis de cenizas por malla con el fin de evaluar y determinar los rangos granulométricos más aprovechables.
- h. Clasificación Secundaria (Criba Móvil): Separación del carbón por tamaños para preparar las fracciones necesarias en la producción de antracita fina, granulada y gruesa.
- i. Pallaqueo Manual: Separación visual y manual de la pizarra mezclada con la antracita. Este proceso permite obtener un producto más limpio al reducir la cantidad de cenizas.
- j. Clasificación Terciaria: Determinación del aprovechamiento técnico del carbón en función de su distribución granulométrica y contenido de cenizas, volátiles y azufre. Según su calidad, las fracciones se dirigen al cliente adecuado o a procesos de lavado, molienda gruesa o molienda fina.
- k. Molienda Gruesa: Proceso destinado a liberar el carbón de la ganga y generar el tamaño adecuado para su beneficio final.
- l. Molienda Fina: Al igual que la molienda gruesa, busca la liberación del carbón y el ajuste granulométrico para la clasificación y aprovechamiento final.
- m. Lavado: Proceso final de separación del carbón antracita de las impurezas restantes, tales como pizarra y cenizas, para obtener carbón antracita mejorado.

6.1.4. Equipos de la planta

El inventario técnico de la planta identifica 130 equipos (ver Anexo 2) agrupados en los siguientes sistemas: balanza y Ash Probe, zarandas móviles (incluyendo zaranda Z1 y Z3), cargadores frontales (8 unidades), equipos auxiliares (minidumper, manipulador telescópico, montacargas), vehículos (volquetes, cisternas, camionetas), planta de

lavado (con fajas, tolvas, bombas y motorreductores), sistemas de molienda (rodillos dentados RD-G, RD-F y RD-R), plataformas de acopio (PM1 a PM5), surtidor de combustible y taller de mantenimiento (amoladoras, soldadoras, taladros, instrumentos de medición). La planta opera normalmente en un dos (2) turnos por día.

6.1.5. Indicadores de productividad – Costos específico de producción (costos operativos)

A partir de los registros documentales proporcionados por SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., se calcularon los costos específicos de producción por tonelada métrica procesada. En la Tabla 14 se presenta el resumen consolidado de los indicadores de costo específico para los recursos auditados. El comportamiento de estos indicadores está directamente vinculado al volumen procesado: en 2024, año de menor volumen del período post-implementación (499.769 TM), todos los costos unitarios alcanzaron sus valores máximos. Esto confirma la existencia de una estructura de costos con componentes fijos relevantes, en la que el incremento del volumen procesado actúa como el mecanismo más eficaz de dilución del costo unitario.

Tabla 14.

Resumen de costos específicos de producción por recurso (S./TM)

Recurso	2021	2022	2023	2024	2025
Mano de obra (S./TM)	6,069	8,395	6,011	9,955	8,367
Combustible diésel (S./TM)	1,620	1,963	1,484	2,485	1,814
Energía eléctrica (S./TM)	—	0,842	0,650	1,232	0,840
Costo total de producción (S./TM)	—	—	—	16,296	21,790

Nota. Elaborado a partir de los registros de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. El costo total de producción incluye todos los rubros operativos del período.

6.1.6. Consumo específico de energía eléctrica

El consumo específico de energía eléctrica mostró variaciones entre 2022 y 2025, tal como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15.

Consumo y costo específico de energía eléctrica

Año	Consumo anual (kWh)	Mineral procesado (TM)	kWh/TM
2022	489.791,33	372.960,06	1,313
2023	653.655,71	616.532,92	1,060
2024	842.700,61	499.768,83	1,686
2025	887.668,83	636.513,24	1,395

Nota. SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

El consumo específico más alto se registró en 2024 (1,686 kWh/TM), año en que el mineral procesado fue 499.769 TM, valor inferior al registrado en 2023 (616.533 TM) y 2025 (636.513 TM), lo que indica que la variación en el volumen procesado impacta directamente en el consumo unitario de energía. En 2025, el consumo específico descendió a 1,395 kWh/TM acompañado de un incremento del mineral procesado, sugiriendo una mejora en la eficiencia energética.

6.1.7. Consumo específico de combustible diésel

El consumo específico de combustible diésel entre 2021 y 2025 se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16.

Consumo y costo específico de combustible diésel

Año	Consumo anual (gal)	Mineral procesado (TM)	GAL/TM
2021	44.511,63	370.818,00	0,120
2022	54.644,28	372.960,06	0,147
2023	65.446,96	616.532,92	0,106
2024	88.194,30	499.768,83	0,176
2025	88.843,58	636.513,24	0,140

Nota. SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

El año 2024 presentó el mayor costo específico de combustible (2,485 S./TM y 0,176 gal/TM), coincidiendo con el menor volumen procesado del quinquenio (499.769 TM). En 2025, a pesar de un consumo absoluto similar (88.844 gal), el mayor volumen procesado (636.513 TM) redujo el indicador a 0,140 gal/TM, reflejando una mejor utilización de los equipos de carga y transporte interno.

6.1.8. Ventas nacionales e internacionales

Las ventas de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. indicados en la tabla 17 se evidencia una variación desde el año 2009. En el año 2025 se alcanzaron 546.675 TM vendidas (527.965 TM internacionales y 18.710 TM nacionales), con un ingreso total de S/. 233.074.418. La proyección para 2026 es de 589.800 TM. El mercado internacional representa el 95% del volumen total en toneladas y el 93% en valor monetario, consolidando a la empresa como líder exportador de carbón antracita en el Perú

Tabla 17.

Ventas totales (TM) por destino - últimos años con datos cerrados

Año	Internacional (TM)	Nacional (TM)	Total (TM)	Año	Internacional (TM)	Nacional (TM)	Total (TM)
2009	10.107	484	10.591	2018	225.182	2.730	227.912
2010	87.305	5.199	92.504	2019	132.122	3.395	135.517
2011	111.148	880	112.028	2020	56.601	14.779	71.380
2012	60.648	6.099	66.747	2021	348.735	18.878	367.613
2013	30.528	6.879	37.407	2022	352.112	17.128	369.240
2014	25.348	8,028	33.376	2023	410.567	16.474	427.041
2015	47.444	8.004	55.448	2024	473.873	22.404	496.277
2016	14.997	3.983	18.980	2025	527.965	18.71	546.675
2017	117.960	7.128	125.088	2026	571.800	18.000	589.800

Nota. SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. el 2026 es una proyección.

6.1.9. Indicadores de monitoreo ambiental

- Indicador de monitoreo de agua subterránea - Anexo 3.
- Indicador de monitoreo de agua residual - Anexo 4.

- Indicador de monitoreo de Ruido Ambiental - Anexo 5.
- Indicador de monitoreo ambiental de aire PM 2.5 – Anexo 6.
- Indicador de monitoreo de Suelos – Anexo 7.

6.1.10. Indicadores de mantenimiento mecánico

El análisis de los indicadores de mantenimiento mecánico mostrados en la tabla 18 evidencia una evolución positiva en la gestión de maquinaria de la planta durante el periodo 2023–2025. Se observa un incremento sostenido del mantenimiento programado, pasando de 290,91 horas en 2023 a 455,74 horas en 2025, lo que refleja una mayor orientación hacia estrategias preventivas y predictivas en lugar de correctivas.

Tabla 18.

Indicadores de mantenimiento mecánico de planta

Año	Mantenimiento Programado	Promedio de paradas	Paradas por Fallas
	hora		Hora
2023	290,91	4,02	8,43
2024	387,42	1,54	20,75
2025	455,74	1,43	21,14

Año	Operatividad	Disponibilidad	MTBF	MTTR	Costo de MTTO	Producción de planta	Costo de MTTO de Planta
		%	Hora	Hora	S/.	TM	S/./TM
2023	75,66	98,0	102,13	2,07	379.578,08	616.533	0,61
2024	104,76	96,48	303,21	17,07	492.790,35	499.769	0,98
2025	400,98	94,57	334,22	18,54	558.892,94	636.513	0,87

Nota. SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

La disponibilidad mecánica, aunque ligeramente decreciente (de 98,0% en 2023 a 94,57% en 2025), se mantiene en niveles altos garantizando la continuidad operativa del proceso productivo.

6.1.11. Indicadores de desempeño de Seguridad y Salud

El análisis de los indicadores de Seguridad y Salud en la planta de beneficio de carbón antracita mostrada en la tabla 19 evidencia una mejora sustancial en la gestión de riesgos operativos a partir del año 2023. El índice de frecuencia de accidentes se redujo significativamente de 57,30 en 2023 a valores cercanos a 10 en los años 2024 y 2025, lo que refleja una disminución importante en la ocurrencia de incidentes laborales.

Tabla 19.

Indicadores de desempeño de Seguridad y Salud

AÑO	VALOR K	INDICE DE FRECUENCIA		INDICE DE GRAVEDAD		INDICE DE ACCIDENTABILIDAD	
		ÍNDICE PARCIAL	ÍNDICE PROMEDIO	ÍNDICE PARCIAL	ÍNDICE PROMEDIO	ÍNDICE PARCIAL	ÍNDICE PROMEDIO
2023	1000000	57.30	57.30	611.22	611.22	35.02	35.02
2024	1000000	10.09	28.87	166.48	343.36	1.68	9.91
2025	1000000	10.63	22.24	13.29	223.33	0.14	4.97
2026	1000000	20.82	22.06	145.76	213.85	3.04	4.72

Nota. SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

Si bien en 2026 se observa un ligero incremento en los indicadores, estos se mantienen en niveles considerablemente inferiores a los registrados en 2023, mostrando una tendencia general de mejora sostenida. Esta evolución está asociada al fortalecimiento de la cultura preventiva, la implementación de estándares internacionales de gestión (ISO 45001) y el mayor control sobre las condiciones de trabajo.

6.2. Elaboración del manual

El diagnóstico técnico-operativo permitió identificar los problemas que limitaron la productividad de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. durante el período 2009–2020, es decir, antes de la implementación de las estrategias de gestión de recursos ejecutadas a partir de 2021. Estos problemas fueron analizados mediante diagramas de Ishikawa.

6.2.1. Deficiencias en el sistema de pre-recepción de carga

El alto tiempo de pre-recepción de carga, que promediaba los 15 minutos por unidad, es un problema crítico originado por deficiencias estructurales en los métodos de trabajo, donde destaca la inexistencia de un sistema de pre-registro y una validación de documentos que se realiza únicamente al arribo del vehículo, señalados en la figura 4.

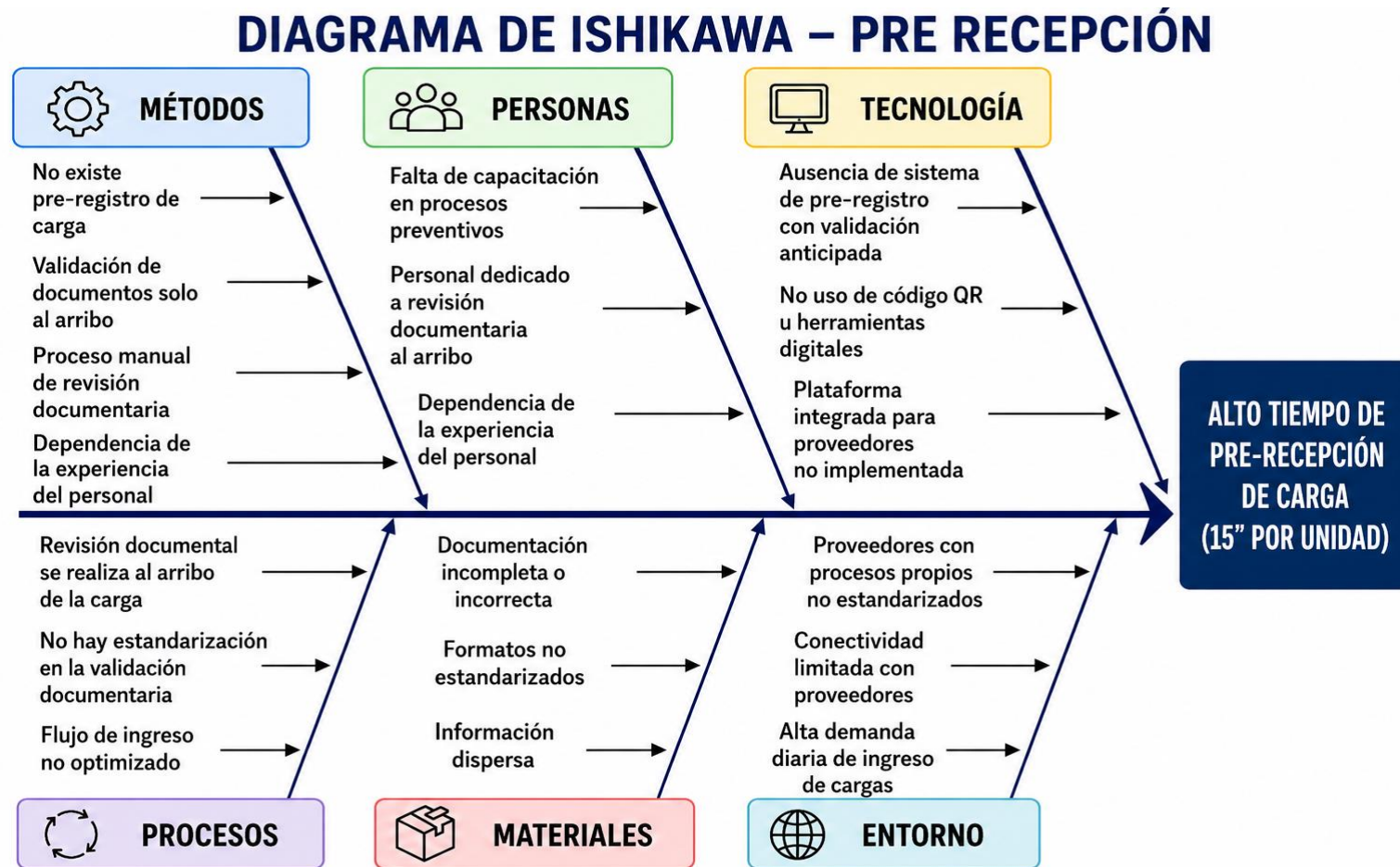
Esta situación se ve agravada por un proceso manual de revisión documentaria que depende excesivamente de la experiencia del personal, sumado a una falta de capacitación en procesos preventivos y la ausencia de herramientas digitales o sistemas de validación anticipada mediante códigos QR. Desde la perspectiva de los procesos y materiales, el flujo de ingreso no se encuentra en su mejor fase operativa debido a la falta de estandarización en la validación y a la recepción frecuente de documentación incompleta, incorrecta o en formatos dispersos.

Asimismo, factores del entorno como la alta demanda diaria de cargas, la conectividad limitada y el hecho de que los proveedores manejen procesos propios no estandarizados contribuyen a consolidar este cuello de botella.

El impacto negativo de estas causas es significativo, generando un tiempo muerto de 6.25 horas diarias para un volumen de 25 cargas, lo que deriva en la pérdida de proveedores por las largas esperas a causa de los costos por hora de tiempo muerto de transporte de proveedor, un menor ingreso de mineral a la planta y, en última instancia, una reducción considerable en los ingresos económicos de la organización. Esta ineficiencia provoca una pérdida de proveedores debido a los altos tiempos de espera.

Figura 4.

Diagrama de Ishikawa - Pre recepción



Nota: Elaboración propia

6.2.2. Falta de integración en el proceso de pesaje

El problema central en el área de pesaje radica en la falta de integración en tiempo real entre el sistema de balanza y el sistema administrativo, lo que deriva en un registro de peso ineficiente y manual, indicados en la figura 5.

Esta deficiencia se origina en métodos de trabajo basados en el registro y transcripción manual de tickets, procesos de doble digitación de datos y conciliaciones realizadas de forma tardía o retrasada.

En cuanto al factor humano, existe un alto riesgo de error al transcribir la información, sumado a una sobrecarga de trabajo administrativo, falta de capacitación en el uso de sistemas y cierta resistencia al cambio hacia la automatización.

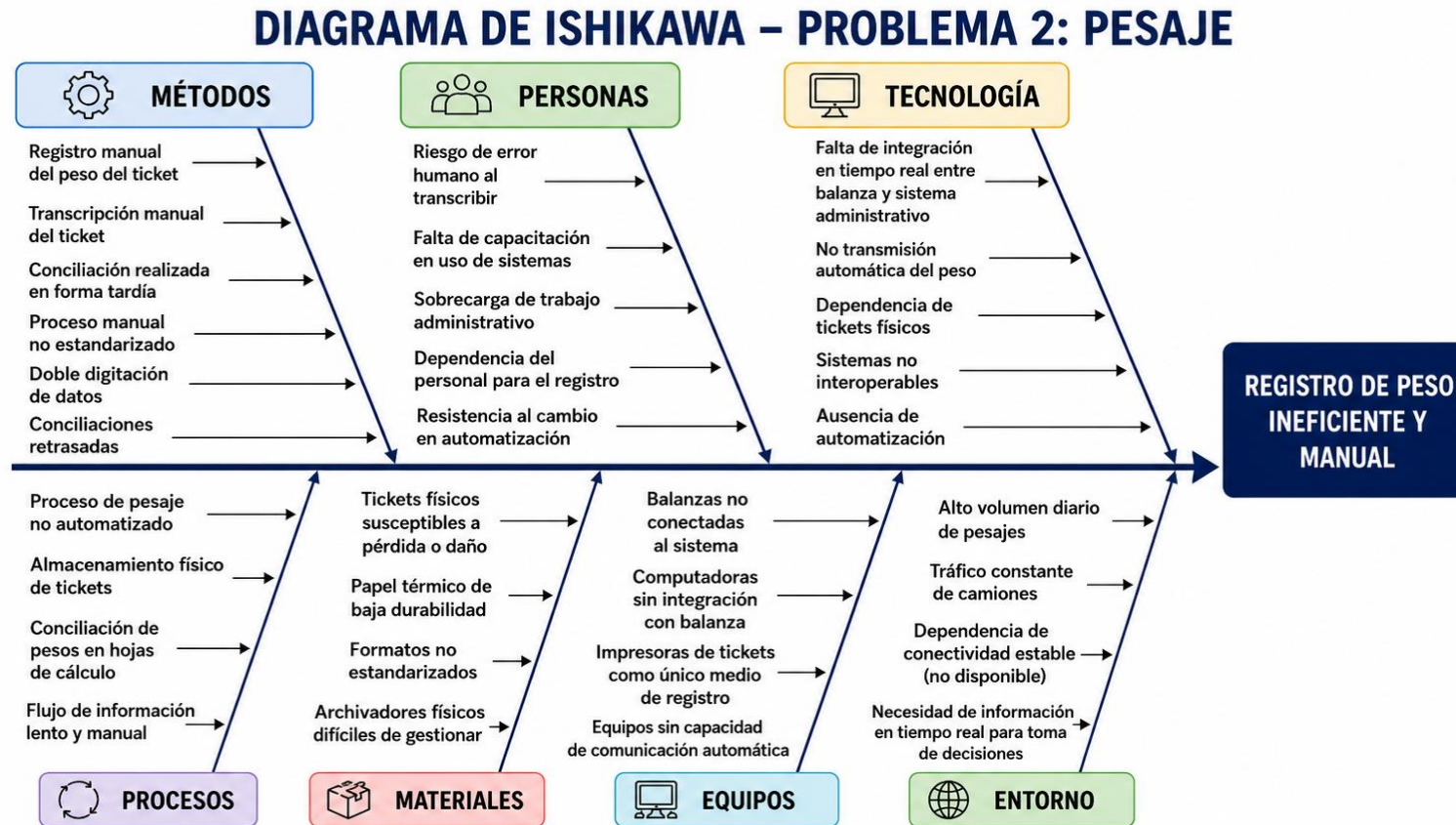
Tecnológicamente, se observa una dependencia de tickets físicos, sistemas no interoperables y la ausencia de una transmisión automática del peso. Los procesos se caracterizan por un flujo de información lento, almacenamiento físico de documentos y el uso de hojas de cálculo para la conciliación, mientras que los materiales y equipos presentan limitaciones como el uso de papel térmico de baja durabilidad, balanzas no conectadas al sistema y computadoras sin integración técnica.

Finalmente, el entorno de alto volumen diario de pesajes y tráfico constante de camiones agrava la situación ante la falta de conectividad estable.

Todo esto genera impactos críticos como demoras en los pagos a proveedores, incremento en los costos de mano de obra y un alto riesgo de inconsistencias en los reportes de toneladas ingresadas.

Figura 5.

Diagrama de Ishikawa - Pesaje



Nota: Elaboración propia

6.2.3. Descripción del problema de calidad de recepción

El tercer problema identificado constituye un cuello de botella crítico en la recepción, centrado en la evaluación de la calidad del carbón antracita, específicamente para la determinación de cenizas mostrados en la figura 6.

Esta demora en el análisis de parámetros como cenizas, volátiles y azufre se debe a métodos de análisis lentos mediante mufla, evaluaciones manuales por lotes y una fuerte dependencia del criterio subjetivo del analista, lo que deriva en decisiones tardías de aceptación o rechazo.

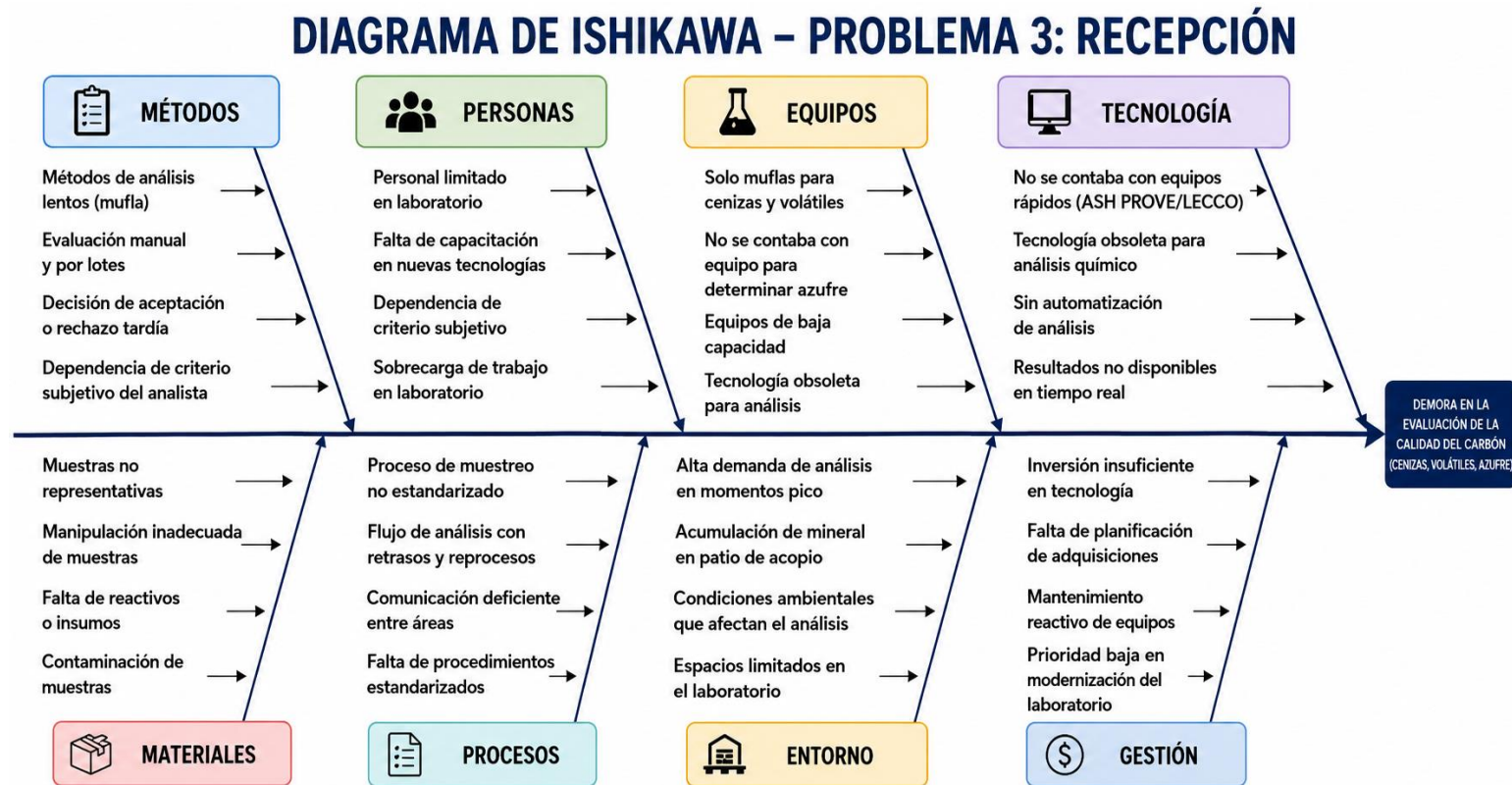
En cuanto al factor humano, el laboratorio presenta personal limitado, falta de capacitación en nuevas tecnologías y una evidente sobrecarga de trabajo. A nivel de equipamiento y tecnología, se utilizan equipos de baja capacidad y tecnología obsoleta que no permiten análisis químicos rápidos ni automatizados, careciendo de sistemas modernos como ASH PROVE o LECCO.

Los procesos operativos sufren por un flujo de análisis con retrasos, muestreos no estandarizados y una comunicación deficiente entre áreas, mientras que la gestión muestra una inversión insuficiente y una baja prioridad en la modernización del laboratorio.

El entorno también influye negativamente debido a la alta demanda de análisis en momentos pico y espacios físicos limitados, lo que, sumado al uso de muestras no representativas o contaminadas, compromete la integridad del proceso. Los impactos de esta problemática incluyen la acumulación de mineral no conforme y la congestión en el patio de acopio, el riesgo de incumplir especificaciones comerciales y una pérdida directa del valor comercial del producto final debido al ingreso de mineral fuera de los estándares requeridos.

Figura 6.

Diagrama de Ishikawa - Recepción



Nota: Elaboración propia

6.2.4. Ineficiencia en la clasificación y organización del patio de acopio

La problemática en el área de acopio se define por deficiencias en la organización de los carbones y un control ambiental inadecuado indicados en la figura 7.

Las causas principales involucran métodos de trabajo deficientes, como la falta de caracterización química inicial de los lotes recibidos, la ausencia de clasificación de pilas por calidad química o granulométrica y la falta de identificación técnica de cada pila.

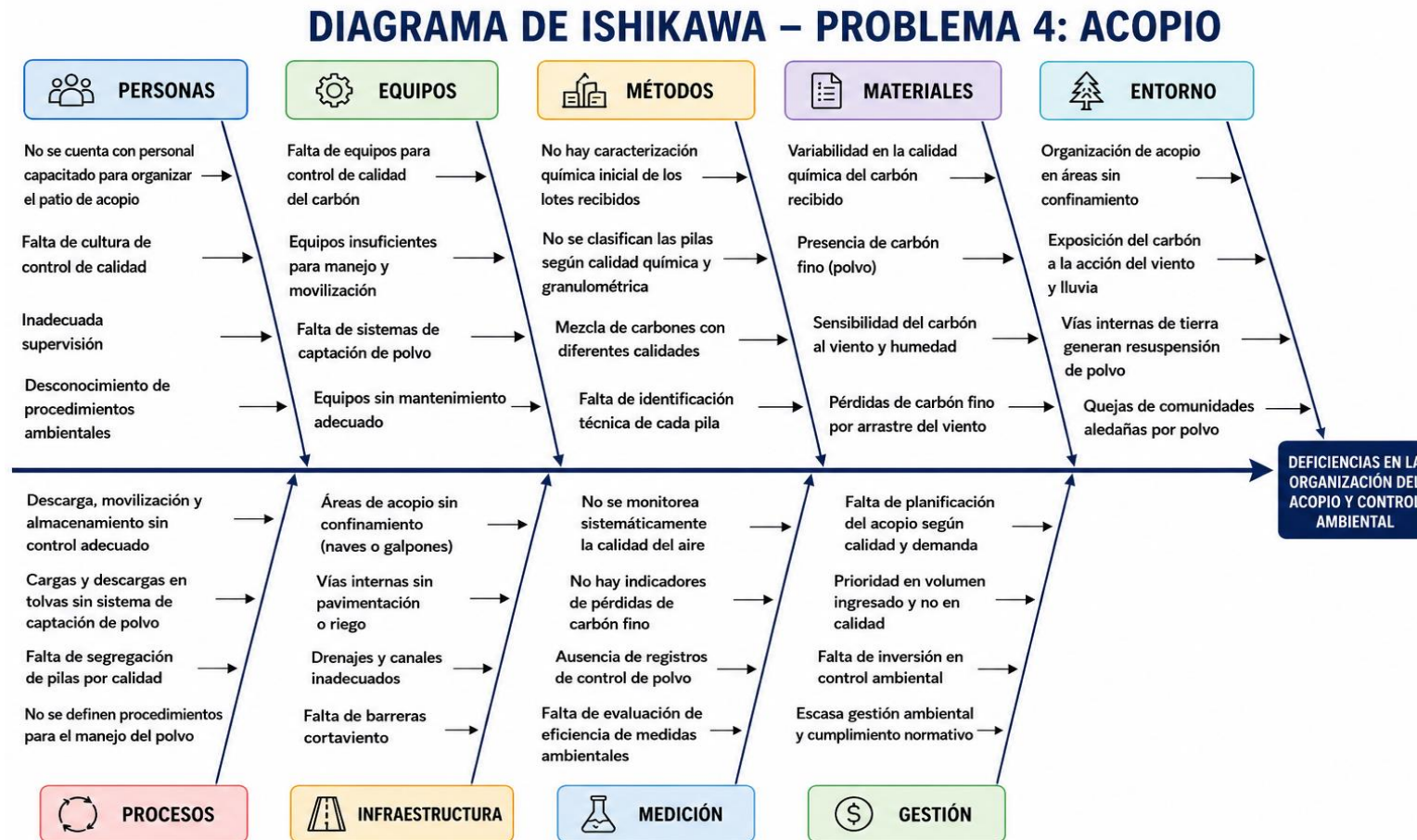
En el factor humano, destaca la carencia de personal capacitado para la organización, una supervisión inadecuada y el desconocimiento de los procedimientos ambientales. Respecto a los equipos e infraestructura, se evidencia una falta de sistemas de captación de polvo, equipos insuficientes para el manejo de carga y áreas de acopio sin confinamiento, como naves o galpones, además de vías internas sin pavimentación ni riego.

Los materiales presentan una alta sensibilidad al viento y la humedad, lo que genera pérdidas de carbón fino por arrastre, mientras que el entorno de almacenamiento expone el mineral directamente a la acción del clima en zonas sin barreras cortaviento. En términos de gestión y medición, existe una prioridad en el volumen ingresado sobre la calidad, escasa gestión ambiental y una falta de monitoreo sistemático de la calidad del aire o de indicadores de pérdida de carbón.

Estos factores generan impactos críticos como la mezcla inadecuada de carbones, el deterioro de la calidad del aire, conflictos con las comunidades aledañas por polvo, riesgo de sanciones ambientales y una pérdida directa del valor comercial del producto.

Figura 7.

Diagrama de Ishikawa – Acopio



Nota: Elaboración propia

6.2.5. Bajo aprovechamiento del carbón antracita en la clasificación

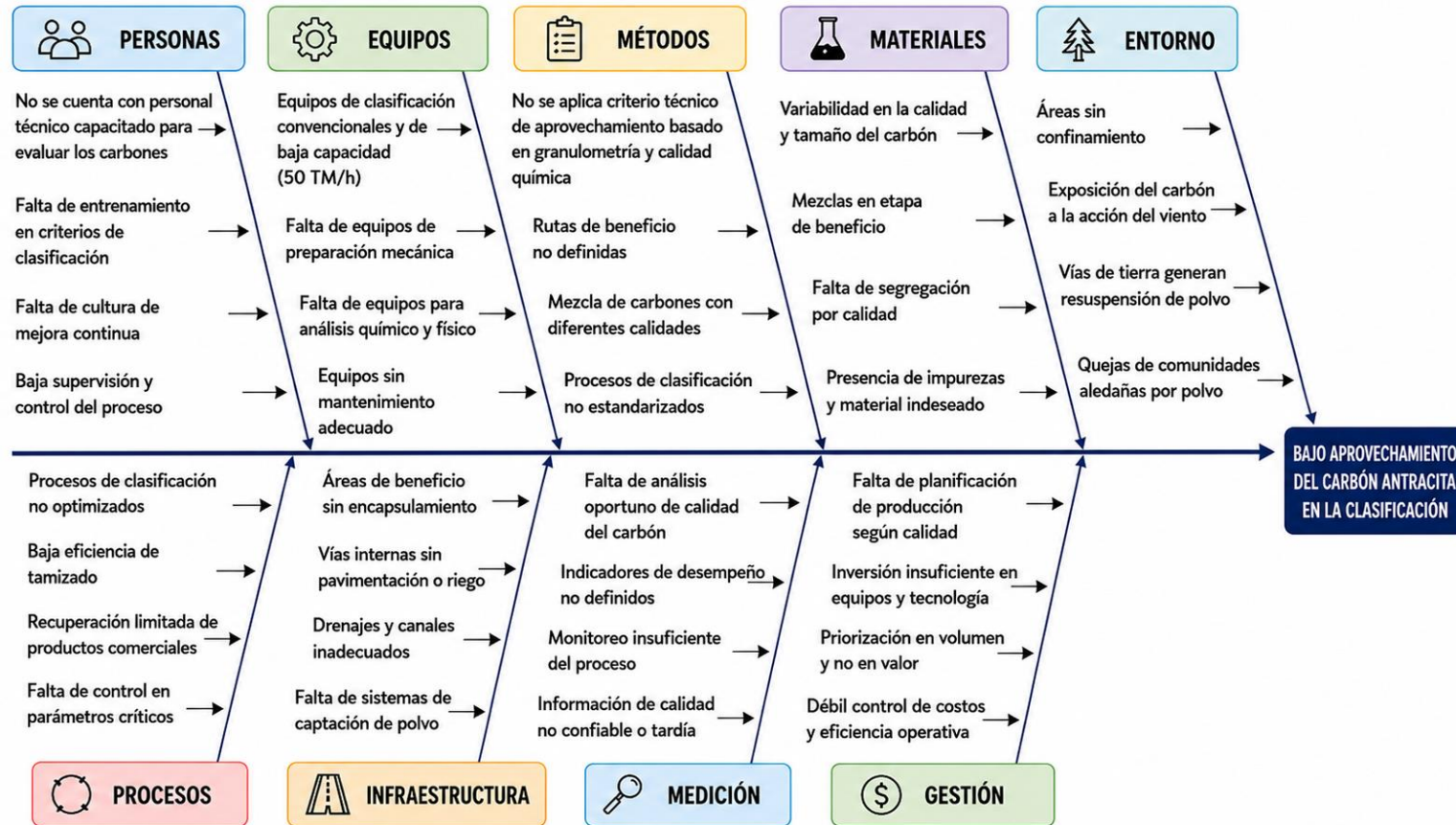
El bajo aprovechamiento del carbón antracita en la etapa de clasificación constituye el quinto problema identificado, caracterizado por una baja capacidad de producción y productividad al no explotar adecuadamente la distribución granulométrica y calidades del mineral, problemáticas señaladas en la figura 8. Esta situación se origina por métodos de trabajo donde no se aplican criterios técnicos de aprovechamiento, las rutas de beneficio no están definidas y los procesos de clasificación carecen de estandarización. En el ámbito del personal, se observa una falta de técnicos capacitados para evaluar el carbón, escaso entrenamiento en criterios de clasificación y una deficiente cultura de mejora continua. Tecnológicamente, la planta depende de equipos de clasificación convencionales de baja capacidad (50 TM/h), carece de maquinaria de preparación mecánica, de secado y de equipos para análisis físico-químico oportuno. Los procesos presentan una baja eficiencia de tamizado y una recuperación limitada de productos comerciales, mientras que la infraestructura sufre por la falta de encapsulamiento, sistemas de captación de polvo y drenajes adecuados. A nivel de gestión y medición, predomina una priorización del volumen sobre el valor, con una inversión insuficiente en tecnología y un monitoreo del proceso que arroja información tardía o no confiable. El entorno también afecta negativamente debido a la resuspensión de polvo en vías de tierra y áreas sin confinamiento, provocando quejas en las comunidades. Los impactos resultantes incluyen pérdidas de valor comercial del carbón, mezcla de calidades, venta de productos con especificaciones superiores a las requeridas, menor productividad y el riesgo latente de sanciones ambientales.

6.2.6. Matriz de priorización de problemas operativos

Con base en los datos recopilados, y a los diagramas de Ishikawa realizados, se elaboró la siguiente matriz de priorización, considerando la frecuencia del problema, su impacto en la productividad y su impacto en la calidad del producto vista en la Tabla 20:

Figura 8.

Diagrama de Ishikawa - Clasificación

DIAGRAMA DE ISHIKAWA – PROBLEMA 5: CLASIFICACIÓN

Nota: Elaboración propia

Tabla 20.*Matriz de priorización de problemas operativos identificados*

Problema identificado	Frecuencia	Impacto productividad	Impacto calidad	Prioridad
Deficiencias en el sistema de pre-recepción de carga	Continua	Alto	Bajo	Alta
Falta de integración en tiempo real del pesaje	Continua	Alto	Medio	Alta
Cuellos de botella en evaluación de calidad (Laboratorio)	Recurrente	Alto	Alto	Alta
Deficiencias en organización del acopio y control ambiental	Recurrente	Medio	Alto	Alta
Baja capacidad y eficiencia en el proceso de clasificación	Estructural	Alto	Alto	Alta
Bajo aprovechamiento del carbón antracita en la clasificación	Cíclica	Alto	Bajo	Alta

Nota. Elaboración propia basada en el diagnóstico técnico-operativo y los datos de producción proporcionados por SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.

6.3. Benchmarking internacional

6.3.1. SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. en el contexto internacional: cumplimiento de estándares

Un hallazgo central del análisis de benchmarking es que SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. ha logrado, a partir de 2021, cumplir con los estándares internacionales de calidad del carbón antracita exigidos por sus principales mercados de destino. La matriz de benchmarking de indicadores de desempeño comparativo, elaborada a partir de datos de la empresa, referentes en el norte Santander, de Colombia y de VINACOMIN (Vietnam), demuestra que los indicadores actuales de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. superan o igualan los promedios de las plantas referenciales en los parámetros más críticos para la comercialización internacional comparativa desglosada en la tabla 21.

Tabla 21.*Matriz de Benchmarking Internacional*

Indicador de desempeño	Unidad	Actual SESUVECA DEL PERÚ S.A.C.	Promedi o Colombi a	Promedio VINACOMIN	Evaluación
Productividad global	TM/día	1.518	—	—	✓ Superior
Disponibilidad mecánica	%	97	89,1	93,8	✓ Superior
Costo de beneficio	S./TM	19,4	20,5	14,8	✓ Competitivo
Recuperación másica	%	98,2	93,5	96,8	✓ Comparable
Cenizas (calidad)	%	12	8,7	7,1	✓ Competitivo
Azufre (calidad)	%	0,7	0,63	0,42	✓ Competitivo
Poder calorífico	Kcal/kg	7000	7450	7620	✓ Competitivo
Emisión PM10	mg/m ³	48	NP	106	✓ RI
<i>NAG H₂SO₄</i>	Kg/TM	3,2	NP	28,5	✓ RI
Sulfatos	mg/l	320	NP	980	✓ RI
PH		6,9	NP	4,8	✓ RI
Rendimiento de planta	%		18,9	24,5	✓ Mejorado

Nota. Elaboración Propia. NP corresponde a No Publico. RI corresponde a Reduce Impacto

6.3.2. Contexto operacional y calidad de producto

Los resultados del benchmarking demuestran que SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. ya opera dentro de los estándares internacionales en los indicadores más críticos de calidad del producto (cenizas, azufre y poder calorífico).

El referente mundial VINACOMIN alcanza 7,1% de cenizas, 0,42% de azufre y 7620 Kcal/Kg en su producto comercial mediante un circuito de beneficio que incluye medio denso, Jig fino botac y flotación de finos, tecnología no disponible actualmente en la planta de beneficio

de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. que alcanza el 12% de cenizas, 0,7% de azufre y 7000 Kcal/Kg de poder calorífico, utilizando el Jig baum para antracita gruesa (9 mm- 25mm) y los procesos de clasificación para antracita fina (10 mm – 6 mm).

La brecha de 4,9% de cenizas entre SESUVECA DEL PERÚ S.A.C., representa la oportunidad de mejora tecnológica para futuros proyectos mediante implementación de separación, medio denso para gruesos, Jig botac para intermedio y flotación. Esta configuración tecnológica representa el best practice mundial para antracita.

Conclusión parcial: Al comparar la antracita fina sin concentración de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. vs antracita fina concentrada por flotación de VINACOMIN. No son productos equivalentes. La brecha de 4,9% recae a la diferencia tecnológica y no a la eficiencia operativa de la planta de beneficio.

6.3.3. Generación de pasivos ambientales

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. recupera el 100% de finos, sin usar agua, ni reactivos, eliminando la generación de relaves. El estéril de pallaqueo es reincorporado al proceso mediante molienda y blendeo de carbones de baja ceniza, cumpliendo el requerimiento de calidad sin generar desmonte. Este modelo constituye “cero relaves” evitando pasivos por drenaje ácido, VINACOMIN al procesar el carbón antracita genera relaves positivos (pasivos) que requiere post-cierre.

6.3.4. Monitoreo ambiental

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. representa el mejor desempeño ambiental de los tres referentes, con todos los indicadores de aire, suelo y agua.

– **Desempeño en aire:**

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. emite 48 mg/m³ de PM 10, 32% de límite máximo permisible (LMP) de 150 mg/m³, mientras que VINACOMIN registra 106 mg/m³ de PM 10, 71% del LPM.

– **Desempeño en suelo:**

SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. presenta potencial neto de generación acida de 3,2 Kg H₂SO₄/TM, clasificándose como “No Generador” según D.S 010-2010-MINAM, con PH de pasta 6,9. Esto elimina los pasivos por drenaje acido post-cierre. VINACOMIN registra 28,5 Kg H₂SO₄/TM, categoría “Generador” con PH 4,8, exigiendo monitoreo constante.

– **Desempeño de agua:**

La concentración de sulfatos efluentes de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. es 320 mg/l, 68% más bajo que el LMP de 1000 mg/l. VINACOMIN registra 980 mg/lm, 98% del LMP.

Este posicionamiento no es casual: es la consecuencia directa de las decisiones de inversión y gestión operativa adoptadas a partir de 2021. El mercado internacional ha reconocido esta mejora: el registro de exportaciones documenta una diversificación significativa de destinos a partir de 2021, incluyendo Corea del Sur, China, Japón, Bélgica, Francia, Alemania, Polonia, Turquía, Indonesia, Filipinas, México y Canadá, evidenciando que la empresa ha logrado acceder a mercados de mayor exigencia técnica que los atendidos en el período previo.

6.4. Resultados de estrategias para mejorar la productividad

6.4.1. Estrategias de gestión de recursos implementadas a partir del 2021

A partir del año 2021, SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. ejecutó un conjunto de estrategias de gestión de recursos que transformaron estructuralmente el desempeño de la planta. Estas estrategias

respondieron a los problemas identificados en el objetivo 2 y abarcaron tres ejes principales: tecnología de clasificación, tecnología de laboratorio y gestión operativa del patio de acopio.

a. Estrategia 1: Cambio de zaranda mecánica por zarandas móviles de alta capacidad

La primera y más relevante estrategia fue la sustitución de la zaranda mecánica de capacidad 40–50 TM/hora por zarandas móviles con capacidad de 250 TM/hora. Este cambio tecnológico representó un incremento de la capacidad instalada de clasificación de hasta cinco veces respecto al equipo anterior. Las zarandas móviles permiten además una mayor flexibilidad operativa, facilitando la reconfiguración de los circuitos de clasificación según el tipo de antracita recibido y el producto requerido por el cliente. Esta inversión constituyó el principal factor habilitante del salto productivo registrado a partir de 2021.

b. Estrategia 2: Sustitución del equipo de laboratorio de mufla por equipos Lecco

La segunda estrategia fue la modernización del sistema de control de calidad de laboratorio. El equipo de horno de mufla, que solo permitía la determinación de cenizas y volátiles con largos tiempos de análisis y no determinaba el azufre, fue sustituido por equipos de tecnología Lecco de análisis rápido, alta capacidad y mayor precisión. Los equipos Lecco permiten la determinación simultánea de cenizas, volátiles, humedad, azufre, poder calorífico, hidrógeno y nitrógeno, reduciendo drásticamente el tiempo de respuesta del laboratorio, especialmente en operaciones de exportación. Esta mejora eliminó la ventana de riesgo entre la recepción del mineral y la disponibilidad de resultados analíticos completos, habilitando una gestión del patio de acopio basada en datos precisos y oportunos de los cinco parámetros críticos de calidad.

c. Estrategia 3: Sistema de pre-recepción con código QR y automatización del pesaje

Se implementó un sistema de pre-recepción con código QR que permite al proveedor minero subir la documentación a la plataforma de la empresa 24 horas antes del ingreso de la carga. Al llegar el camión, la documentación ya está pre-validada y solo se escanea el QR para verificar, reduciendo el tiempo de pre-recepción de 15 minutos a 2 minutos por unidad. Complementariamente, se automatizó la transmisión del peso desde la balanza electrónica al sistema administrativo, eliminando los tickets físicos y el registro manual, lo que redujo el riesgo de error humano y permitió tener información en tiempo real de las toneladas que ingresan a la planta.

d. Estrategia 4: Reorganización del patio de acopio y encapsulado de la planta

Se implementó un sistema de caracterización química inicial de cada lote recibido, con clasificación de pilas según calidad química y granulométrica, y organización de zonas de acopio según tipo de carbón (cenizas, volátiles y azufre). Paralelamente, se construyeron galpones industriales sobre las áreas críticas de la planta y se instalaron sistemas de captación de polvo y vías de circulación pavimentadas. Estas mejoras redujeron la concentración de PM10 en un 50%, eliminaron el 100% de las quejas sociales por emisión de polvo y permitieron recuperar un 1,5% adicional de carbón fino que anteriormente se perdía por dispersión.

6.4.2. Comparativa de productividad: periodo anterior vs periodo post implementación

La comparativa de indicadores de desempeño entre el período anterior a 2021 y el período post-implementación evidencia la magnitud de la mejora lograda. La Tabla 22 presenta los principales indicadores comparativos.

Tabla 22.

Cuadro comparativo de indicadores de desempeño: antes vs. después de las estrategias implementadas

Indicador de desempeño	Unidad	Antes (pre-2021)	Actual (2025)	Variación	Mejora (%)	Estrategia vinculada
Productividad global	TM/día	1.021	1.768	747	73%	E1: Zaranda móvil
Disponibilidad mecánica	%	80	97	17	21%	E1: Zaranda móvil
Costo de beneficio	S./TM	35,00	19,40	-15,60	-54%	E1 + E4
Recuperación másica	%	85	95	10	12%	E1 + E4
Costo mano de obra	S./TM	14,50	8,37	-6,13	-54%	E1 (dilución)
Cenizas del producto	%	12–18	7,1	—	Superior	E2: Lecco
Azufre del producto	%	1,0	0,42	—	Superior	E2: Lecco
Poder calorífico	Kcal/kg	6.9	7.62	720	10%	E2 + E4
Emisión PM10	mg/m ³	49	20,8	-28,2	-42%	E4: Encapsulado
Rendimiento de planta	%	18,9	24,5	+5,6	30%	E1 + E2 + E4

Nota. Elaboración propia

Los datos de la Tabla 22 demuestran que el conjunto de estrategias implementadas a partir de 2021 generó mejoras significativas y sostenidas en todos los indicadores clave de desempeño de la planta. La productividad global pasó de 1.021 TM/día (referencia 2020) a 1.768 TM/día en 2025, representando un incremento del 73%. El costo de beneficio se redujo de S/. 35,00/TM a S/. 19,40/TM (reducción del 54%), mientras que la calidad del producto mejoró de manera sustantiva: las cenizas se redujeron a 12 %, el azufre al 0,7% y el poder calorífico aumentó a 7.000 Kcal/kg, valores que acortan la

brecha de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. con los mejores referentes internacionales del sector.

Estas mejoras se reflejan también en el desempeño comercial: las exportaciones pasaron de 56.601 TM en 2020 a 527.965 TM en 2025 (incremento del 833%), con una diversificación de mercados que incluyó destinos de alta exigencia como Corea del Sur, Japón, Francia, Bélgica, Alemania, Canadá e Indonesia. El incremento en el número de destinos internacionales y el sostenimiento del volumen exportado son la mejor evidencia del cumplimiento de los estándares internacionales de calidad por parte de la empresa.

VII. CONCLUSIONES

La implementación de las mejoras técnicas permitió elevar la productividad global de 1,021 TM/día a 1,518 TM/día (un incremento del 48%) y reducir los costos de beneficio de 35 S./TM a 19.40 S./TM (una mejora del 54.4%). Este desempeño operativo se tradujo en una mejora de la recuperación másica del 85% al 98,2% y una reducción en los niveles de cenizas a un rango de entre 10% y 14%, permitiendo a SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. exportar un volumen histórico de 546,675 TM en 2025. Según el anuario minero del MINEM, estos resultados posicionan a la organización como el líder indiscutible en la exportación de carbón antracita, representando el 85% de la producción nacional.

La gestión integral de emisiones, mediante sistemas de captación de polvo, encapsulado de procesos, asfaltado de vías y barreras vivas, logró reducir el material particulado PM10 a 27.2 y el PM2.5 a 32.4, valores que se encuentran un 72.8% y 35.2% por debajo de los límites máximos permisibles nacionales, respectivamente. El benchmarking realizado revela que, si bien existe una brecha de costos del 22.2% frente al referente internacional VINACOMIN, SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. lo supera en indicadores de gestión ambiental y seguridad industrial (IF de 2.8). Esta superioridad en estándares de sostenibilidad constituye una ventaja estratégica para el acceso a mercados con altas restricciones ambientales, como la Unión Europea, reafirmando el liderazgo de Perú frente a otros productores regionales como Colombia.

El crecimiento exportador de la empresa generó un impacto económico significativo mediante el ingreso de divisas superior a los 69 millones de dólares anuales, dinamizando la cadena productiva de la región La Libertad a través de la creación de empleo directo e indirecto a gran escala. La presencia de SESUVECA DEL PERÚ S.A.C. ha sido determinante para el fortalecimiento del sector, impulsando la formalización y el crecimiento de la industria carbonífera de antracita. De este modo, la organización se constituye como un eje estratégico para el desarrollo minero del norte del país y un motor clave para la estabilidad económica regional.

VIII. RECOMENDACIONES

Implementar programas de mejoras progresivas de productividad para así alcanzar mejores indicadores de desempeño.

Descentralizar capacidades productivas mediante plantas a escala de 100 – 150 TM/Hr en zonas mineras carboníferas de la Libertad, Ancash y Cajamarca.

Implementación de gestiones administrativas publica para proyectos de beneficio carbonífero en zonas de la Libertad, Ancash y Cajamarca.

Mayor protagonismo del gobierno local, regional y local para las habilitaciones de áreas para infraestructura de planta de beneficio dentro de concesiones mineras.

Implementación de restricciones públicas para evitar invasiones en zonas industriales declaradas.

La ventaja de oportunidad de posicionar al carbón antracita peruano existe, pero se requiere decisión política para habilitar infraestructura en origen.

IX. BIBLIOGRAFÍA

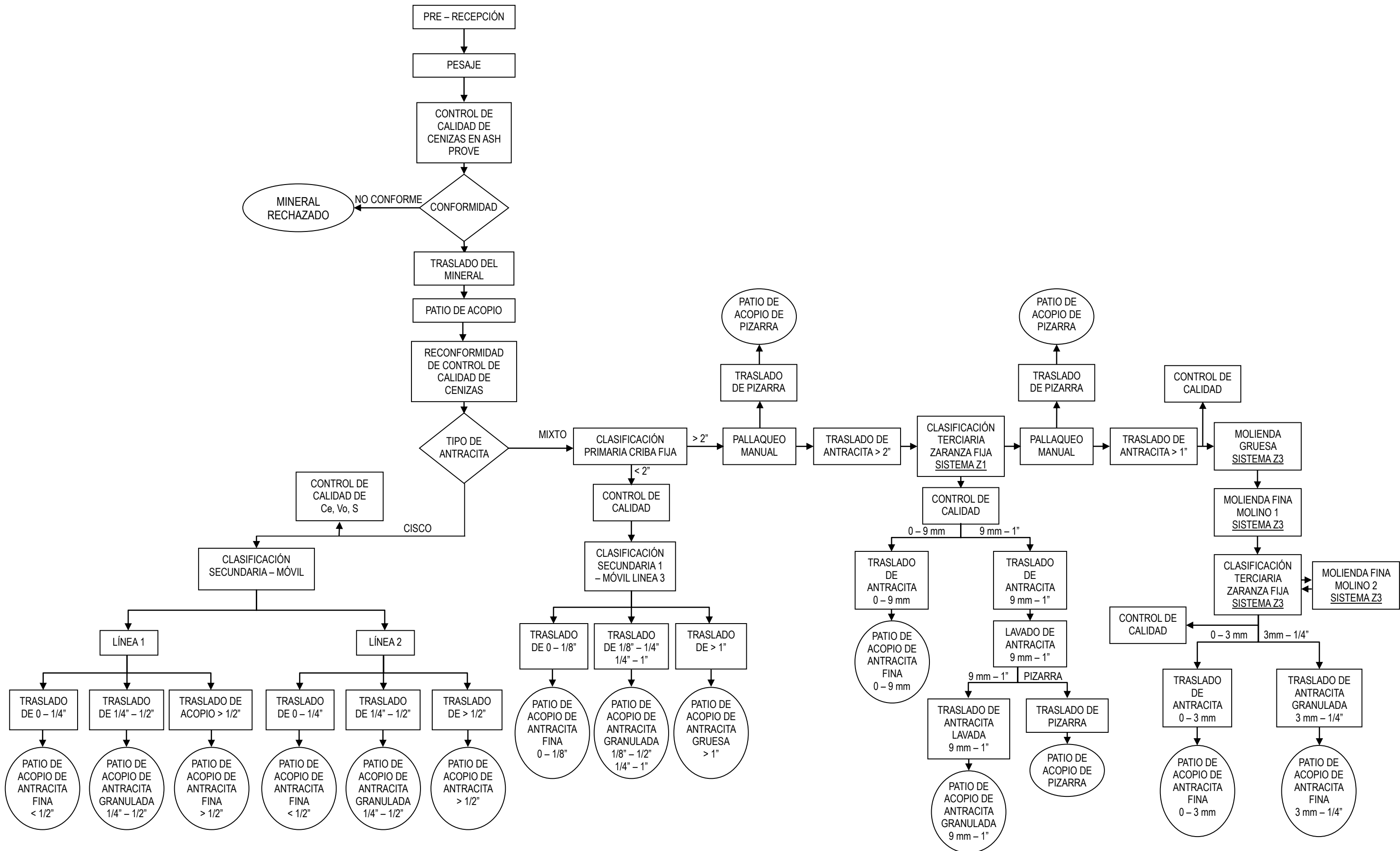
- Aguirre, C., Chero, Y., Churampi, N., Mendiola, A., Quispe, J., & Sedano, R. (2013). *Explotación del carbón antracita: Viabilidad del yacimiento Huayday-Ambara* (Serie Gerencia para el Desarrollo N.º 31). ESAN Ediciones.
- Alharbi, I. B. (2025). Strategic management: A comprehensive review paper. *International Journal of Professional Business Review*, 9(3), 1–43. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i3.4373>
- ASTM International. (2018). *Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal* (ASTM D3174-12). ASTM International. <https://www.astm.org/d3174-12r18.html>
- Banerjee, T., Bravo, J., Romero, C. E., Lowe, T., Driscoll, G., Kreglow, B., Schobert, H., & Yao, Z. (2024). Process design and techno-economic analysis of activated carbon derived from anthracite coal. *Journal of Environmental Management*, 355, 120525. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120525>
- Groppa, J. (2017). An introduction to the nature of coal. *Coal Combustion Products (CCP's)*. 3-20. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100945-1.00001-0>
- Hammer, M. (2019). *Management approach for resource productive operations*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22939-9>
- Hughes, T., Kumar, S., & Lee, J. (2024). Review of dry coal beneficiation technologies and process efficiency. *Fuel Processing Technology*, 256, 108012. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2024.108012>
- International Energy Agency. (2023). *Energy technology perspectives 2023*. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
- Jia, J., Wu, Y., Zhao, D., Li, B., Wang, D., Wang, F., & Chen, Y. (2022). Molecular structure characterization analysis and molecular model construction of anthracite. *PLoS ONE*, 17(9), e0275108. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275108>
- Jiang, Y., He, L., & Zhang, X. (2024). Intelligent gangue separation and smart coal preparation technologies. *International Journal of Coal*

- Preparation and Utilization*, 44(3), 455–472.
<https://doi.org/10.1080/19392699.2023.2278029>
- Kim, S., Lee, S. E., Baek, S. H., Choi, U., & Bae, H. J. (2023). Preparation of activated carbon from Korean anthracite: Simultaneous control of ash reduction and pore development. *Processes*, 11(10), 2877.
<https://doi.org/10.3390/pr11102877>
- Lee, R. (2021). The effects of smart factory operational strategies and system management on the innovative performance of small and medium-sized manufacturing firms. *Sustainability*, 13(6), 3087.
<https://doi.org/10.3390/su13063087>
- Li, R., Tang, Y., Che, Q., Ma, P., Luo, P., Lu, X., & Dong, M. (2022). Effects of coal rank macerals on the structure characteristics of coal-based graphene materials from anthracite in Qinshui coalfield. *Minerals*, 12(5), 588. <https://doi.org/10.3390/min12050588>
- Matusiak, P., Kowol, D., Suponik, T., Franke, D. M., Nuckowski, P. M., Tora, B., & Pomykała, R. (2021). Selective crushing of run-of-mine as an important part of the hard coal beneficiation process. *Energies*, 14(11), 3167. <https://doi.org/10.3390/en14113167>
- Phengsaart, T., Srichonphaisan, P., Kertbundit, C., Soonthornwiphat, N., Sinthugoot, S., Phumkokrux, N., Juntarasakul, O., Maneeintr, K., Numprasanthai, A., Park, I., Tabelin, C. B., Hiroyoshi, N., & Ito, M. (2023). Conventional and recent advances in gravity separation technologies for coal cleaning: A systematic and critical review. *Heliyon*, 9(2), e13325.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13325>
- Ramírez-Molina, G. G., Magaña-Medina, D. E., & Ojeda-López, R. N. (2022). Productividad: Aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica. *Transcender, Contabilidad y Gestión*, 7(20), 189–210.
<https://doi.org/10.36791/tcg.v7i20.140>
- Sampaio, C. H., Aliaga, W., Pacheco, E. T., Petter, E., & Wotruba, H. (2021). Coal beneficiation of Candiota mine by dry jigging. *Fuel Processing Technology*, 214, 106695.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106695>

- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson Education.
- Singh, V. (2023) Fuels, burnability and characterization of cement raw meal. *The Science and Technology of Cement and Other Hydraulic Binders*. 185-223. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95080-0.00006-6>
- Sokolović, J., Stanujkić, D., Štirbanović, Z., & Ilić, I. (2025). Comparative analysis on washability indices of anthracite coal by using MCDM methods. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 61(1), 199985. <https://doi.org/10.37190/ppmp/199985>
- Speight, J. G. (2015). *Handbook of coal analysis* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119037699>
- Sriramoju, S., Singh, R., Sengupta, M., & Akhter, S. (2021). Selective screening of coal to improve the washability characteristics at different levels of size reduction. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 42(10), 1–20. <https://doi.org/10.1080/19392699.2021.1932845>
- Wang, H., Long, S., & Meng, X. (2022). Simulation and optimization of mining-separating-backfilling integrated coal mine production logistics system. *Mining Engineering*, 187, 107806. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107806>
- Yu, S., Li, S., Guo, P., Zhang, Y., Li, W., Wang, H., et al. (2023). Research on highly efficient quality improvement process and product blending scheme for fine coal. *Powder Technology*, 430. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119011>

X. ANEXOS

Anexo 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE BENEFICIO DE CARBÓN ANTRACTIA (MEJORADO)



Anexo 2. INVENTARIO DE EQUIPOS DE PLANTA DE BENEFICIO

ITEM	NOMBRE DEL EQUIPO	CANTIDAD	MODELO	SISTEMA
1	BALANZA ELECTRONICA INDUSTRIAL	1	IT1-AC	BALANZA
2	ASH PROBE (TACTIL 1)	1	PARKER	BALANZA
3	SONDA (TACTIL 1)	1	-	BALANZA
4	SONDA (TACTIL 3)	1	-	BALANZA
5	ASH PROBE (CAJA 1)	1	-	BALANZA
6	SONDA (CAJA 1)	1	-	BALANZA
7	ZARANDA MOVIL	1	CHIEFTAIN 2100X	ZARANDA MOVIL
8	ZARANDA MOVIL	1	CHIEFTAIN 2100X	ZARANDA MOVIL
9	CHANCADORA	1	MAXTRAK 1000	ZARANDA MOVIL
10	CRIBA DE 8 PULGADAS	1	-	ZARANDA MOVIL
11	CRIBA DE 6 PULGADAS	1	-	ZARANDA MOVIL
12	CRIBA CASTILLO 4X4	1	-	ZARANDA MOVIL
13	CRIBA CASTILLO 4X4	1	-	ZARANDA MOVIL
14	CRIBA CASTILLO 4X4	1	-	ZARANDA MOVIL
15	RASTRA	1	-	ZARANDA MOVIL
1	CARGADOR FRONTAL	1	L120E	CARGADOR FRONTAL
2	CARGADOR FRONTAL	1	L120F	CARGADOR FRONTAL
3	CARGADOR FRONTAL	1	L120F	CARGADOR FRONTAL
4	CARGADOR FRONTAL	1	L120C	CARGADOR FRONTAL
5	CARGADOR FRONTAL	1	950 GC	CARGADOR FRONTAL
6	CARGADOR FRONTAL	1	950 GC	CARGADOR FRONTAL
7	CARGADOR FRONTAL	1	668 D	CARGADOR FRONTAL
8	CARGADOR FRONTAL	1	658 D	CARGADOR FRONTAL
24	MINIDUMPER	1	-	EQUIPOS AUXILIARES
25	MANIPULADOR TELESOPICO	1	MT-X 1033 ST	EQUIPOS AUXILIARES
26	MONTACARGAS	1	DP25NM	EQUIPOS AUXILIARES
27	CISTERNA	1	P420 B6X4	CISTERNA
28	CISTERNA	1	-	CISTERNA
9	VOLQUETE	1	FMX 500	VOLQUETE
10	BARREDORA INDUSTRIAL 1	1	SR1601	BARREDORA INDUSTRIAL
11	BARREDORA INDUSTRIAL 2	1	SW8000	BARREDORA INDUSTRIAL
12	CAMIONETA TDN-899	1	T60	CAMIONETA
13	CAMIONETA TFB-800	1	T60	CAMIONETA
34	ZARANDA 01 "Z1"	1	-	Z1
35	TOLVA PRINCIPAL	1	-	Z1
36	FAJA TRANSPORTADORA PRINCIPAL	1	-	Z1
37	FAJA TRANSPORTADORA DE MATERIAL FINO DE Z1	1	-	Z1
38	LAVADO	1	-	Z1
39	FAJA TRANSPORTADORA DE SELECCIÓN DE MATERIAL	1	-	Z1
40	MOTOR 20HP (Z1)	1	-	Z1
41	MOTOREDUCTOR 7.5 HP	1	-	Z1
42	MOTOREDUCTOR 5 HP	1	-	Z1
43	MOTOREDUCTOR 7.5 HP	1	-	Z1
44	MOTOREDUCTOR 5 HP	1	-	Z1
45	MOTOREDUCTOR 5 HP	1	-	Z1
46	PLANTA DE LAVADO (PL)	1	-	PLANTA DE LAVADO
47	LAVADO	1	-	PLANTA DE LAVADO
48	FAJA TRANSPORTADORA DE MATERIAL SUCIO	1	-	PLANTA DE LAVADO
49	FAJA TRANSPORTADORA DE MATERIAL LIMPIO	1	-	PLANTA DE LAVADO
50	FAJA TRANSPORTADORA RECOLECTORA	1	-	PLANTA DE LAVADO
51	CINTA JEEP	1	-	PLANTA DE LAVADO
52	TOLVA DE ALIMENTACIÓN A PLANTA DE LAVADO	1	-	PLANTA DE LAVADO
53	MOTOREDUCTOR 10 HP	1	-	PLANTA DE LAVADO
54	MOTOREDUCTOR 10 HP	1	W22-IE2	PLANTA DE LAVADO
55	MOTOREDUCTOR 7.5 HP	1	-	PLANTA DE LAVADO
56	MOTOREDUCTOR 7,5 HP	1	-	PLANTA DE LAVADO
57	MOTOREDUCTOR 5 HP	1	-	PLANTA DE LAVADO
58	MOTOVIBRADOR 1HP (ZL1)	1	CMVSI 15/1100-S02	PLANTA DE LAVADO
59	POZA PRINCIPAL	1	-	PLANTA DE LAVADO
60	POZA DE LODO	1	-	PLANTA DE LAVADO
61	BOMBA AUTOCEBANTE 7.5 HP (PP)	2	-	PLANTA DE LAVADO
62	BOMBA AUTOCEBANTE 7.5 HP (PB)	1	-	PLANTA DE LAVADO
63	ZARANDA 03 "Z3"	1	-	Z3
64	RODILLO DENTADO - GRUESO (RD-G)	1	-	Z3
65	RODILLO DENTADO - FINO (RD-F)	1	-	Z3
66	RODILLO DENTADO - RETORNO (RD - R)	1	-	Z3
67	FAJA TRANSPORTADORA DE MATERIAL FINO DE Z3	1	-	Z3
68	FAJA TRANSPORTADORA DE SALIDA DE MATERIAL FINO	1	-	Z3
69	FAJA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACIÓN - RD-G	1	-	Z3
70	FAJA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACIÓN A Z2	1	-	Z3

71	FAJA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACIÓN - RD-R	1	-	Z3
72	FINO	1	-	Z3
73	FAJA TRANSPORTADORA RD-G A RD-F	1	-	Z3
74	MOTOR 20HP - RD - G	1	-	Z3
75	MOTOR 20HP - RD-G	1	-	Z3
76	MOTOR 20HP - RD-F	1	-	Z3
77	MOTOR 20HP - RD-F	1	-	Z3
78	MOTOR 20HP - RD-R	1	-	Z3
79	MOTOR 20HP - RD- R	1	-	Z3
80	MOTOR 20HP - Z3	1	-	Z3
81	MOTOREDUCTOR 7,5 (FT1)	1	-	Z3
82	MOTOREDUCTOR 7.5HP - Z3	1	-	Z3
83	MOTOREDUCTOR 5HP	1	-	Z3
84	MOTOREDUCTOR 5 HP	1	-	Z3
85	MOTOREDUCTOR 5 HP	1	-	Z3
86	MOTOREDUCTOR 5HP	1	-	Z3
87	MOTOREDUCTOR 5HP	1	-	Z3
88	MOTOREDUCTOR 7.5HP	1	-	Z3
89	MOTOREDUCTOR 7.5HP	1	-	Z3
90	TOLVA DE MATERIAL FINO	1	-	Z3
91	TOLVA DE ALIMENTACION RD-G	1	-	Z3
92	SURTIDOR DE COMBUSTIBLE	1	P1000H	SURTIDOR DE COMBUSTIBLE
93	GLN	1	-	SURTIDOR DE COMBUSTIBLE
94	GLN	1	-	SURTIDOR DE COMBUSTIBLE
95	MOTOR TRIFÁSICO 5HP	1	YBX3-112M-4	SURTIDOR DE COMBUSTIBLE
96	PLATAFORMA 01 - PM1	1	-	PLATAFORMA
97	PLATAFORMA 02 - PM2	1	-	PLATAFORMA
98	PLATAFORMA 03 - PM3	1	-	PLATAFORMA
99	PLATAFORMA 04 - PM4	1	-	PLATAFORMA
100	PLATAFORMA 05 - PM4	1	-	PLATAFORMA
101	AMOLADORA 4" 1/2	1	DWE4120-B2	TALLER MANTENIMIENTO
102	AMOLADORA 4" 1/2	1	DWE4120-B2	TALLER MANTENIMIENTO
103	AMOLADORA 7"	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
104	AMOLADORA 7"	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
105	AMOLADORA 9"	1	GWS24	TALLER MANTENIMIENTO
106	AMOLADORA 9"	1	DWE4336	TALLER MANTENIMIENTO
107	AMOLADORA 4" 1/2	1	DWE4336	TALLER MANTENIMIENTO
108	AMOLADORA 4" 1/2	1	DWE4336	TALLER MANTENIMIENTO
109	AMOLADORA 7"	1	GWS28	TALLER MANTENIMIENTO
110	TRONZADORA 14"	1	GCO14	TALLER MANTENIMIENTO
111	TRONZADORA 14"	1	GCO14	TALLER MANTENIMIENTO
112	MAQUINA DE SOLDAR 280i PLUS	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
113	PLASMA	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
114	ROTO MARTILLO MAKITA DIAMETRO 52 Mmm	1	HR5212C	TALLER MANTENIMIENTO
115	ROTO MARTILLO	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
116	ROTO MARTILLO	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
117	TALADRO INALAMBRICO 18V	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
118	TALADRO DE IMPACTO	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
119	COMPRESORA	1	DX240120DI	TALLER MANTENIMIENTO
120	PIROMETRO	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
121	NIVEL LASER	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
122	ROTULADORA	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
123	GRABADOR DE METAL	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
124	MEGOMETRO	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
125	PINZA AMPERIMETRICA	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
126	TACOMETRO	1	6236P	TALLER MANTENIMIENTO
127	TACOMETRO	1	6236P	TALLER MANTENIMIENTO
128	TELUROMETRO	1	-	TALLER MANTENIMIENTO
129	MULTITESTER	1	283 FC	TALLER MANTENIMIENTO
130	CAUTIN	1	ZD-60	TALLER MANTENIMIENTO

Anexo 3. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL AGUA SUBTERRÁNEA

Parámetro	Unidad	ECA (A1)	Jul-22	Jun-23	May-24	Nov 2024*	Abr 2025*	Nov 2025*
Físico-Químicos								
Cloruros	mg/L	250	1.1	92	16	6.9	9.8	10.5
Nitratos	mg/L	50	45	2.1	2	5.05	7.5	9.09
Sulfatos	mg/L	250	< 5.00	< 5.00	77	< 0.5	40.8	8.6
Conductividad In Situ	µS/cm	1500	1820*	1233	334	59	325	179.4
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 6	8.05	8.32	8.58	6.8	6.9	6.6
pH In Situ	Unid. pH	6.5-8.5	7.43	7.92	7.21	6.89	7.67	7.32
Temperatura In Situ	°C	Δ 3	23.2	25.7	23.4	24.2	21.3	22.6
Metales Totales								
Aluminio Total	mg/L	0.9	0.02	0.021	0.03	0.0028	< 0.0019	0.0065
Arsénico Total	mg/L	0.01	0.0038	0.0064	< 0.001	< 0.0004	< 0.0004	< 0.0004
Bario Total	mg/L	0.7	0.0416	0.0372	0.012	0.0006	0.004	0.0011
Boro Total	mg/L	2.4	0.213	0.123	0.212	< 0.0012	0.1385	0.2044
Cadmio Total	mg/L	0.003	< 0.00001	< 0.00001	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002
Cobre Total	mg/L	2	< 0.0003	0.0005	0.001	0.001	0.0024	0.0024
Cromo Total	mg/L	0.05	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.001	0.0019	0.0008
Hierro Total	mg/L	0.3	0.0429	0.043	0.058	0.01	< 0.0031	0.0185
Manganeso Total	mg/L	0.4	0.0015	0.0012	0.005	< 0.0003	0.0004	0.0019
Mercurio Total	mg/L	0.001	< 0.00007	< 0.00007	< 0.000085	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Plomo Total	mg/L	0.01	< 0.00006	< 0.00006	< 0.0005	0.0002	0.0006	0.0006
Zinc Total	mg/L	3	< 0.002	< 0.002	< 0.010	0.0041	0.002	0.0035
Microbiología/Otros								
Aceites y Grasas	mg/L	0.5	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.20	< 0.20	< 0.20
Coliformes Fecales	NMP	20	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4	< 1.8
Escherichia coli	NMP	0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
DBO5	mg/L	3	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 2.0	< 2.0	< 2.0
DQO	mg/L	10	< 8.00	< 8.00	< 8.0	< 2.0	2.6	< 2.0

Anexo 4. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL AGUA RESIDUAL

Parámetro	LMP	Jul-22	Jun-23	May-24	Nov 2024*	Nov 2025*	Abr 2029*
Físico-Químicos							
DBO5	500	3.2	87	349	32.4	6	9.1
DQO	1000	878	179	704	69	23.1	47
Sólidos Totales Suspendidos	500	85.7	36	300	7.5	3.7	< 3.0
Aceites y Grasas	100	24	< 1.0	13	1.2	< 0.9	1.2
pH (Unidades)	6.0 - 9.0	7.89	8.3	8.38	7.96	7.96	8.16
Temperatura (°C)	< 35	23.9	29.2	28	27	24.1	24.5
Inorgánicos y Otros							
Nitrógeno Amoniacal	80	78.16	29.73	67.6	18.04	5.714	3.97
Sulfatos	1000	62.7	197	172	218.4	278.7	259.1
Sulfuros	5	5.97	4.85	< 0.03	--	--	--
Sólidos Sedimentables (mL/L/h)	8.5	1.7	0.2	3	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cianuro Total	1	< 0.016	< 0.016	< 0.016	0.003	0.006	0.004
Metales Totales							
Aluminio Total	10	0.182	0.099	0.515	0.018	0.031	0.011
Arsénico Total	0.5	0.003	0.003	0.005	0.006	0.003	< 0.0004
Boro Total	4	0.75	0.56	0.923	0.643	0.771	0.678
Cadmio Total	0.2	< 0.00001	0.0002	0.001	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002
Cobre Total	3	0.008	0.0005	0.024	0.149	0.021	0.055
Cromo Total	10	0.005	0.006	0.012	0.01	0.017	0.012
Cromo Hexavalente	0.5	< 0.008	< 0.008	< 0.008	< 0.010	< 0.010	< 0.010
Mercurio Total	0.02	< 0.00007	< 0.00007	< 0.00008	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Plomo Total	0.5	0.001	0.001	0.004	0.0003	0.001	0.0008
Zinc Total	10	0.098	0.155	0.361	0.008	0.021	0.006

Anexo 5. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL RUIDO AMBIENTAL

CODIGO	2021				2022				2023		2024		2024		2025		2025	
	1er Semestre		2do Semestre		1er Semestre		2do Semestre		1er Semestre		1er Semestre		2do Semestre		1er Semestre		2do Semestre	
	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)	Diurno (ECA 80 Db)	Nocturno (ECA 70 Db)
Ru-01	58.4		55.4	45.8	63.6	55.5	67.9	54.3	65.4	51.1	56.1	42.9	61.3	55.7	64.8	45.9	57.7	57.6
Ru-02	55.4		51.8	47.4	60.7	58.5	53.5	59.4	59.3	58.7	55.3	54.2	63	54.9	52.5	49.1	49.6	46.9
Ru-03	56.7		56.8	50.9	64.7	53.6	57.5	54.6	55.9	46.4	70.6	52.1	64.4	61.2	55.5	53.2	62.8	55
Ru-04	58.2		65.9	51.1	64.8	50.4	66.5	63.3	60.6	48.8	61.8	44.7	63.3	53.3	54.4	48.4	46.7	44.4
Ru-05	55.5		59.8	50.1	78.6	78.8	74.6	67.4	52.3	45.7	51.1	49.5	69.7	48.2	45.4	40.8	64.9	67.6
Ru-06	55.9		53.1	44.3	60.3	62.8	54.7	49.7	60.2	57.9	63.5	56	66.5	53.2	49.7	42.9	44.8	52.7
Ru-07	55.8		51	47.9	60.7	63.4	52.1	50	63.9	56.9	55.5	45.6	52.4	53.3	53.7	44	46.2	48.2
Ru-08	56.7		54.6	44.5	59	61.6	72.6	47.9	55.1	54	52.9	50.9	48.9	48.3	49.2	44.9	48.1	45.3
Ru-09	58.2		49.5	51.4	61.2	58.9	58.1	50	57.7	53	59.8	50.6	61.2	50.6	50.4	46.7	54.8	51.7

Anexo 6. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL AIRE PM 2.5

Monitoreo de Aire – PM 2.5 (ECA 50 mg/m ³)				
Año	Primer Semestre		Segundo Semestre	
	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2
2021	49	48,4	16,6	31,6
2022	2,8	9,6	19,74	17,08
2023	14,78	45	-	-
2024	21,42	20,45	25,1	29,83

Anexo 7. INDICADORES DE MONITOREO AMBIENTAL SUELOS

Parámetro	ECA	Estación	2022	2023	May-24	Nov-24	Abr-25	Nov-25
Arsénico (As)	140	SU-01	19.2	20.4	24.2	17.84	14.2	14
		SU-02	14.7	23.4	24.9	18.44	15.79	22.56
		SU-03	48.5	34.5	16.6	15.61	21.89	15.8
Cromo Total (Cr)	1000	SU-01	11.78	15.5	12.51	9.62	7.6	11.4
		SU-02	5.89	20.54	16.79	12.43	10.39	12.38
		SU-03	27.18	23.45	9.36	8.11	13.6	10.8
Plomo (Pb)	800	SU-01	11.91	13.1	12.04	14.84	11	7.8
		SU-02	25.53	11.46	12.66	18.44	12.99	14.77
		SU-03	18.62	16.84	9.77	10.81	15.9	11.2
Cadmio (Cd)	22	SU-01	0.044	< 0.0008	0.14	< 0.05	< 0.05	< 0.05
		SU-02	4.59	0.047	0.43	< 0.05	< 0.05	< 0.05
		SU-03	4.21	3.51	0.2	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Mercurio (Hg)	24	SU-01	< 0.010	0.061	< 0.01	< 0.03	< 0.03	< 0.03
		SU-02	0.63	< 0.010	< 0.01	< 0.03	< 0.03	< 0.03
		SU-03	0.07	0.32	0.05	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Cromo VI	1.4	S1/S2/S3	< 0.1	< 0.1	< 0.1 / 0.21	< 0.20	< 0.20	< 0.20
Cianuro Libre	8	S1/S2/S3	--	--	< 0.3	< 0.08	< 0.08	< 0.08
Hidrocarb. F2	5000	SU-02	19	--	31	< 6.00	< 6.00	< 6.00
Hidrocarb. F3	6000	SU-02	35	--	9	< 6.00	< 6.00	< 6.00
Benceno	0.03	S1/S2/S3	--	--	< 0.010	< 0.008	< 0.008	< 0.008
Naftaleno	22	S1/S2/S3	< 0.040	< 0.040	< 0.040	< 0.003	< 0.003	< 0.003
PCB (Total)	33	S1/S2/S3	< 0.011	--	< 0.011	< 0.002	< 0.002	< 0.002