

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial  
Instituto de Investigaciones Industriales



**“MAESTRÍA EN CIENCIAS DE GESTIÓN  
INDUSTRIAL Y EMPRESARIAL”**

**TESIS DE GRADO**

**“PROPUESTA DE PRINCIPIOS DE RESIDUO CERO, EN  
BASE A LINEAMIENTOS DE ECONOMÍA CIRCULAR Y  
LOGÍSTICA VERDE EN LA SECCIÓN DE MOLIENDA  
PRIMARIA Y CALCINACIÓN DE LA EMPRESA  
PRODUCTORA DE YESO BETA MHALEXTEC”**

Postulante: Ing. Hutch Mike Miranda Montaña

Tutor: Dra. Ing. Tania Angela Terán Mita

La Paz – Bolivia, junio de 2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

A mi Amada Familia,  
Melissa (Amada esposa)  
Kamil y Adrik (Queridos hijos)

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis amados padres y hermano, que siempre me impulsaron hacia adelante día con día.

A mis padres políticos que con cariño incondicional me alentaron desinteresadamente.

A mi amada, colega y compañera, que colaboró conmigo en el desarrollo de este proyecto dándome apoyo incondicional.

A toda mi familia, y aquellos que viven en mi corazón.

A mi tutora por su guía y consejos.

A todos los docentes quienes contribuyeron en mi formación posgradual.

---

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I – MARCO REFERENCIAL

1.1.	INTRODUCCIÓN .....	2
1.2.	ESTADO DE DOMINIO.....	3
1.3.	ESTADO DEL ARTE .....	5
1.3.1.	Antecedentes .....	5
1.3.2.	Resumen del estado del arte.....	9
1.4.	ESTADO DIALÉCTICO.....	11
1.4.1.	Desfases .....	11
1.4.1.1.	Desfase cognitivo .....	12
1.4.1.2.	Desfase espacial .....	12
1.4.1.3.	Desfase temporal .....	12
1.4.2.	Matriz de indagación.....	12
1.5.	DELIMITACIÓN DEL OBJETO O SISTEMA DE ESTUDIO .....	13
1.6.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.6.1.	Situación problemática .....	14
1.6.2.	Formulación del problema de investigación .....	15
1.7.	OBJETIVOS .....	15
1.7.1.	General .....	15
1.7.2.	Específicos.....	16
1.7.3.	Actividades a desarrollar para alcanzar los objetivos específicos .....	16
1.8.	JUSTIFICACIÓN .....	17
1.9.	CAMPO DE ACCIÓN .....	17
1.10.	ALCANCES .....	18
1.11.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.12.	MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	18
1.13.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19

---

1.13.1.	Caracterización metodológica .....	20
1.13.2.	Diseño de la investigación .....	20
1.14.	RESULTADOS ESPERADOS .....	20
1.14.1.	Rigor científico .....	21
CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO		
2.1.	INTRODUCCIÓN AL MARCO TEÓRICO .....	23
2.2.	DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO .....	23
2.3.	PRODUCCIÓN DE YESO BETA .....	23
2.3.1.	Proceso de obtención de yeso beta .....	24
2.4.	RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE YESO BETA .....	27
2.4.1.	Proceso de conminución .....	28
2.4.2.	Proceso de calcinación .....	29
2.5.	LOGÍSTICA VERDE .....	29
2.5.1.	Logística verde y desarrollo sostenible .....	30
2.5.1.1.	Sustentabilidad .....	31
2.6.	RESIDUO CERO .....	31
2.6.1.	Gestión de residuos .....	32
2.6.1.1.	Normativa para residuos .....	32
2.6.2.	Producción más limpia .....	33
2.7.	ECONOMÍA CIRCULAR .....	33
2.7.1.	Eliminación de los residuos desde el diseño .....	34
2.8.	RENTABILIDAD .....	34
2.8.1.	El valor actual neto "VAN" .....	35
2.8.2.	Tasa interna de rendimiento (TIR) .....	35
2.8.3.	Periodo de recuperación (PR) .....	35
2.8.4.	Relación beneficio costo (RBC) .....	36
2.9.	ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS POR INTERVALOS DE CONFIANZA .....	36

---

2.10.	CONCLUSIÓN AL MARCO TEÓRICO .....	36
CAPÍTULO III - DIAGNÓSTICO		
3.1.	SITUACIÓN DEL SECTOR PRODUCTIVO .....	38
3.2.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE YESO BETA.....	39
3.2.1.	Descripción sistemática de la producción mecanizada.....	39
3.2.2.	Datos de la materia prima y el producto.....	42
3.3.	RESIDUOS APROVECHABLES DE LA MANUFACTURA DE YESO BETA ...	43
3.3.1.	Residuo de mineral de las operaciones de conminución.....	43
3.3.2.	Vapor de agua emitido a la atmosfera .....	44
3.3.3.	Implemento para la toma de datos .....	46
3.4.	POSIBLE PRODUCTO DE LA MERMA DE MINERAL .....	46
3.5.	POSIBLE PRODUCTO DE LA EMISIÓN DE VAPOR DE AGUA .....	47
CAPÍTULO IV - SOLUCIÓN Y APLICACIONES PROYECTADAS		
4.1.	INTRODUCCIÓN A LA SOLUCIÓN.....	50
4.2.	ANÁLISIS TÉCNICO DE DATOS .....	50
4.2.1.	Determinación de la merma de mineral .....	50
4.2.2.	Determinación de la recuperación de agua.....	52
4.3.	PROPUESTA .....	53
4.3.1.	Aplicación de lineamientos de logística verde en base a economía circular.....	54
4.3.1.1.	Conformación de equipo por niveles .....	54
4.3.1.2.	Matriz de roles.....	54
4.3.1.3.	Identificación, valorización y cuantificación de residuos .....	55
4.3.1.4.	Manejo de residuos.....	56
4.3.1.5.	Minimización de residuos bajo lineamientos de economía circular.....	57
4.3.1.6.	Identificación del periodo de aplicación de la propuesta .....	59
4.3.1.7.	Metodología de ejecución y control del proyecto.....	60
4.4.	EVALUACIÓN FINANCIERA DE DATOS.....	61

---

4.4.1.	Rédito por el producto del residuo de mineral .....	62
4.4.2.	Beneficio por el agua recuperada.....	62
4.4.3.	Beneficio integral por los productos obtenidos de los residuos .....	62
4.5.	ASIGNACIÓN DE RECURSOS .....	63
4.6.	EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD .....	66
4.6.1.	Datos de la empresa MhalexTec.....	66
4.6.2.	Análisis de rentabilidad .....	70
4.7.	EVALUACIÓN AMBIENTAL.....	70
4.7.1.	Identificación de aspectos ambientales.....	71
4.7.1.1.	Generación de residuos .....	71
4.7.1.2.	Eficiencia en el uso de recursos .....	71
4.7.1.3.	Promoción de prácticas sostenibles .....	71
4.7.1.4.	Impacto ambiental positivo.....	72
4.7.1.5.	Medición de indicadores ambientales.....	72
4.7.2.	Beneficios ambientales.....	72
4.7.2.1.	Reducción de residuos.....	72
4.7.2.2.	Reutilización de materiales .....	73
4.7.2.3.	Optimización de recursos.....	73
4.7.2.4.	Mejora de la gestión de residuos .....	73
4.7.2.5.	Promoción de sostenibilidad .....	73
4.8.	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	74
4.9.	RESUMEN DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA.....	75
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1.	CONCLUSIONES.....	78
5.2.	RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFÍA .....		82
ANEXOS .....		84



---

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.	Matriz, vocabulario del conocimiento.....	9
Tabla 2.	Tópicos de investigación.....	9
Tabla 3.	Matriz de indagación.....	13
Tabla 4.	Matriz de consistencia.....	19
Tabla 5.	Estructura epistémica.....	19
Tabla 6.	Rigor científico.....	21
Tabla 7.	Índice de costo de la construcción.....	38
Tabla 8.	Precio de yeso de construcción.....	39
Tabla 9.	Pesos de residuo de mineral de la chancadora en kilogramos.....	43
Tabla 10.	Pesos de residuo de mineral del molino en kilogramos.....	43
Tabla 11.	Masa de agua recuperada en kilogramos .....	45
Tabla 12.	Balanza de 50 kg.....	46
Tabla 13.	Termómetro de sobremesa de 12 canales.....	46
Tabla 14.	Promedio de la merma en la chancadora.....	50
Tabla 15.	Matriz de roles para el residuo de mineral.....	55
Tabla 16.	Matriz de roles para el agua recuperada.....	55
Tabla 17.	Residuos del proyecto.....	56
Tabla 18.	Manejo de residuos.....	56
Tabla 19.	Medidas de optimización de generación de residuos.....	57
Tabla 20.	Factores para establecer la reducción de merma de mineral.....	57
Tabla 21.	Cronograma del periodo de aplicación de la propuesta .....	60
Tabla 22.	Control para fines de demostración.....	61
Tabla 23.	Venta de los residuos como subproductos.....	63
Tabla 24.	Porcentaje de ventas del residuo comparado con el yeso.....	63
Tabla 25.	Memoria de requerimientos .....	64

---

Tabla 26.	Datos de depreciación .....	65
Tabla 27.	Depreciación método de la línea recta .....	65
Tabla 28.	Datos base para el flujo de caja .....	67
Tabla 29.	Flujo de caja para el punto de equilibrio.....	68
Tabla 30.	Flujo de caja para la propuesta .....	69
Tabla 31.	Análisis de rentabilidad.....	69

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1	Cadena teórica, bases de investigación.....	4
Figura 2	Tácticas para alcanzar los principios del residuo cero.....	5
Figura 3	Delimitación del objeto o sistema de estudio.....	14
Figura 4	Diagrama de Ishikawa para presentar las causas y el efecto del problema, en base a MINITAB (TRIAL).....	15
Figura 5	Hornos de calcinación a leña y gas empresa MhalexTec - Cochabamba.....	24
Figura 6	Estructura química del Sulfato de Calcio Dihidratado.....	24
Figura 7	Aljez cristalizado y amorfo.....	25
Figura 8	Estructura química del Sulfato de Calcio Hemihidratado.....	25
Figura 9	Diagrama de flujo de la línea de producción tradicional.....	26
Figura 10	Horno rotatorio de calcinación tipo marmita horizontal.....	26
Figura 11	Diagrama de flujo de la línea de producción mecanizada.....	27
Figura 12	Materia prima acopiada, piedra de no más de 40 cm.....	28
Figura 13	Mineral desperdiciado en la sección de molienda primaria.....	28
Figura 14	Objetivos del desarrollo sostenible aplicable a la propuesta.....	31
Figura 15	Sistematización de la planta de producción de yeso beta. El diseño puede variar por motivos de confidencialidad industrial de la empresa MhalexTec.....	40
Figura 16	Muestra de mineral residual en el sector de chancado y molienda.....	44
Figura 17	Horno modelo para estudio del vapor.....	44
Figura 18	Vapor emitido del ciclón a partir del proceso de calcinación de yeso.....	45
Figura 19	Diagrama de generación de residuo de mineral.....	47
Figura 20	Diagrama de generación de agua de roca.....	48
Figura 21	Análisis estadístico del diseño factorial, para la reducción de merma.....	58
Figura 22	Análisis de niveles, para la reducción de merma de mineral.....	58

---

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La tesis aborda la relación entre el crecimiento demográfico, el aumento de residuos sólidos y la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles en la producción industrial. Se evidencia que el uso inadecuado de los recursos naturales y la generación excesiva de residuos son desventajas en una economía lineal. Además, se introduce lineamientos de economía circular como una alternativa para mejorar la gestión de recursos y residuos.

El documento presenta un estudio de caso centrado en la empresa MhalexTec, productora de yeso beta, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y ofrecer una gestión de residuos para analizar el impacto de la rentabilidad y hacer el proceso más amigable con el medio ambiente. Se enfoca en el ciclo de producción del yeso beta, proponiendo un enfoque sin desperdicio que busca eliminar residuos mediante su reutilización.

El estudio se basa en datos primarios de una empresa real ubicada en Cochabamba, Bolivia, y se circunscribe al proceso de producción de yeso beta, específicamente en la operación de molienda de mineral y el proceso de calcinación del mismo de donde se obtiene el producto. El trabajo no considera otras áreas de la empresa, centrándose exclusivamente en la actividad de trituración y calcinación del mineral.

En resumen, la tesis enfatiza la importancia de adoptar prácticas sostenibles en la producción industrial; presenta la economía circular como una alternativa, y ofrece un estudio de caso específico sobre la gestión de residuos en la empresa MhalexTec, con el fin de lograr eficiencia en la reducción de residuos empleando lineamientos de logística verde y economía circular para establecer finalmente principios de residuo cero, dando valor agregado a dichos residuos, mejorar la rentabilidad así como el impacto ambiental.

**CAPÍTULO I**  
**MARCO REFERENCIAL**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de la población provoca mayor uso de recursos naturales, lo cual produce excesivos residuos si no se aplica un método de manufacturera eficiente. Según el Banco Mundial, en 2012 globalmente se generaron 1 300 Mt de residuos sólidos, estimando un incremento de al menos 154 % para 2025. El producir, emplear, consumir y desechar los recursos de forma directa en un solo uso sin aprovecharlos al máximo tiene grandes inconvenientes ya que este método es práctico, pero no eficiente; es parte de una Economía Lineal.

La Economía Circular surge como alternativa al anterior modelo, para lo cual es preciso conocer que tan circular es un proceso, producto y/o servicio. Por lo cual esta investigación evalúa la circularidad del proceso productivo de yeso beta, que genera residuos de la materia prima y emite vapor de agua a partir de la calcinación, el propósito es identificar las oportunidades de mejora y plantear alternativas de disposición de ambos residuos para mejorar el uso de los recursos naturales y que el proceso sea amigable con el medio, e implícitamente elevar la rentabilidad de la citada empresa.

El propósito principal de esta tesis consiste en aplicar lineamientos de economía circular en la empresa simulada, MhalexTec, en función a datos de una empresa real<sup>1</sup> ubicada en la ciudad de Cochabamba – Bolivia; este análisis permitirá identificar las oportunidades de mejora y propondrá alternativas de manejo y aprovechamiento de los residuos para mejorar el impacto causado sobre el medioambiente e incrementar la rentabilidad de la empresa.

El objeto de estudio se limitará efectivamente a la molienda del mineral y a la calcinación de la materia prima donde es transformada en el producto, es decir yeso beta. Así del sistema delimitado, donde se generan los residuos que se pretenden eliminar mediante su aprovechamiento, se aprecia que se podrá generar valor agregado.

Finalmente se aclara que el presente trabajo no contempla otras áreas de la empresa MhalexTec y por ende a ninguna otra fuera de la misma.

---

<sup>1</sup> Por motivos legales, la empresa no desea ser nombrada, aunque proporcione los datos necesarios para la realización de la tesis, es por tanto que se le proporcione el seudónimo de MhalexTec.

## **1.2. ESTADO DE DOMINIO**

En lo personal: como ingeniero químico, título por Universidad Mayor de San Andrés y Química Industrial por Escuela Industrial Superior Pedro Domingo Murillo, además, de las especialidades, Ingeniería Ambiental, Alimentos (UMSA) y Mecánica Industrial por el Tecnológico Boliviano Canadiense del Paso; se han desarrollado asesorías industriales, docencia universitaria en pregrado y tutoría en investigación de tesis de grado, es que me presento a la maestría, para proponer el producto que se describe en el presente documento.

Las competencias obtenidas en el transcurso de la formación en ingeniería y la capacitación práctica, recibidas a tiempo de realizar actividades laborales, académicas y de investigación, complementaron las habilidades de diseño de procesos y máquinas obtenidas, quedando al margen el enfoque gerencial, razón por la cual nace la motivación de emprender el camino de la gestión industrial empresarial, para actualizar y fortalecer el espectro de capacidades de la ingeniería.

Todas las actividades desarrolladas a lo largo de la trayectoria recorrida permiten la posibilidad de validar un producto adecuado a la formación posgradual de la maestría cursada, incursionando en una idea base sobre el principio de residuo cero para la empresa simulada, "MhalexTec", la cual produce yeso beta, mediante sistema mecanizado a partir del proceso de calcinación en horno de tipo marmita horizontal; dicha tecnología fue diseñada, construida e instalada y de lo cual el autor posee los derechos de propiedad intelectual correspondientes.

La experiencia antes mencionada es un punto de partida clave para la propuesta realizada, la cual se complementa con la experiencia como:

- Asesor industrial para puesta en marcha de planta productora de yeso beta para la pequeña empresa 3JM-Industrial.
- Asesor industrial para puesta en marcha de la empresa de yeso Cuatro Cuartos.
- Jefe de Planta en la empresa constructora Alipaz SRL; implementación de planta de yeso mejorado.

- Investigador por IIDEPROQ para Swisscontact en apoyo al proyecto EELA (Eficiencia Energética para Ladrilleras y Yeseras Artesanales) con el diseño y construcción de planta productora de yeso beta “Suticollo”.
- Docente – Investigador en Escuela Militar de Ingeniería.

Curricularmente, se destaca la necesidad de plasmar todos los conocimientos recabados hasta el momento en pro de aprovechar materiales remanentes de procesos previos (residuos); dicha necesidad hace que surja la idea de investigación, que tiene como propósito fundamental llegar a implementar principios de residuo cero con mejora de la rentabilidad de la empresa MhalexTec, en el marco de una economía circular y logística verde. Según la figura 1:



Figura 1 Cadena teórica, bases de investigación.  
Fuente. Elaboración propia.

Se aprecia en el dominio general, el desarrollo de procesos y construcción de maquinaria, y se piensa en aplicar principios de residuo cero, que de manera inherente hará que se mejore la rentabilidad para la empresa, mediante la técnica de ingeniería química con tecnología de yeso, abarcando periféricos como ingeniería ambiental con logística verde e ingeniería industrial con economía circular.

Haciendo una conjunción de todo lo planteado hasta el momento se propone: aplicar principios de residuo cero en lo que concierne a la conminución del mineral y la emisión de vapor de agua en la empresa MhalexTec, para lograr la mejora del impacto ambiental y la rentabilidad, aplicando lineamientos del paradigma de economía circular y logística verde.



La idea principal se muestra en la figura 2:



Figura 2 Estrategia para alcanzar los principios de residuo cero.

Fuente. Elaboración propia, en base a graficas de: (Qué es la economía circular, 2021) (Universidad Camilo José Cela , 2022) (Tecnología Natural, 2022).

### 1.3. ESTADO DEL ARTE

Se realiza un desarrollo resumido del estado actual de la investigación, mediante un análisis crítico sobre material bibliográfico seleccionado, además de la revisión de antecedentes del proyecto de investigación.

#### 1.3.1. Antecedentes

Se presentan trabajos de investigación que preceden al propuesto, relacionados con el objeto de estudio presente. Son investigaciones que dan el estado del arte y la situación actual de la investigación (Morán Delgado & Alvarado Cervantes, 2011).

**Integración de Economía Circular en la industria química colombiana: Propuesta de un sistema de indicadores de desempeño ambiental para medir la circularidad en empresas del sector.** La Economía Circular (EC) es un sistema económico basado en modelos de negocio orientados a alcanzar una economía de ciclo cerrado a través de la implementación de principios como las 9 R's (basado en reciclaje), desacoplando gradualmente el crecimiento del consumo de recursos agotables. Los principios e indicadores que lo conforman fueron determinados a través de un análisis sistemático de la

literatura y un proceso de validación con grupos interdisciplinarios. Finalmente, su utilidad fue validada a través de un grupo focal con representantes industriales. Con los resultados se obtuvo un sistema de medición compuesto por 4 principios fundamentales (reducir, reutilizar, reciclar y recuperar) y 11 indicadores del desempeño (Cangrejo Castro, 2020).

**Modelo ProLab: Ecocicloplast, un proyecto eco sostenible basado en la producción de madera plástica aplicando la economía circular en Lima Norte.** El problema del plástico desechado, dispuesto incorrectamente, en el mundo cada vez es más crítico; es un material que no se degrada con facilidad y por el contrario demora hasta varios siglos en deteriorarse. Por eso se propone el uso de este plástico en productos que en la actualidad son hechos de madera, lo que reducirá la tala de árboles de la Amazonía. Esto se demuestra con el VAN Social que llega a USD 3 223 052,08. Ecoplas tiene estos dos alicientes: disminuir la tala de árboles y disminuir la acumulación de plástico, reduciendo de esta manera la contaminación en el medioambiente. Por último, se demuestra mediante el análisis de sostenibilidad financiera que el proyecto es perfectamente viable, ya que se obtiene una TIR de 21,5% y un VAN de US\$ 1 658 996 en un periodo de 5 años del proyecto Ecocicloplast (Arrarte Fernandez y otros, 2022).

**Logística Verde y Economía Circular.** Como resultado del análisis, se concluyó que la Logística Verde puede ayudar al desarrollo sostenible de las organizaciones y tiene un importante impacto en la productividad y competitividad de las empresas con tendencia a procesos de producción más limpios, se fundamenta en normas y principios establecidos a nivel nacional e internacional, así como en la plataforma filosófica organizacional, otorgándole a la organización identidad, personalidad para lograr la confianza de las comunidades y sus fines sociales contribuyendo con el bienestar de la colectividad (Nava Chacin & Abreu Quintero, 2015).

**Diseño de la producción de mezclas asfálticas modificadas con residuos plásticos mediante la metodología IDOV de seis sigma, incorporando los lineamientos de economía circular.** El aumento en la generación de residuos plásticos y su impacto al medio ambiente debido a los patrones de consumo y la baja tasa de reciclaje de estos, es objeto de preocupación del mundo. Por lo que se tiene como objetivo diseñar el proceso de producción de mezcla asfáltica modificada con residuos plásticos conforme a los

lineamientos de economía circular, con el fin de contribuir con el desarrollo sostenible. Los estudios se han basado en la metodología IDOV de Seis Sigma y en el análisis de circularidad del proceso (Villegas Villegas, 2021).

**Aplicación de la economía circular: el impacto de la logística verde en las emisiones de CO<sub>2</sub>.** Los problemas ambientales tienen la atención de muchos gobiernos. Se han establecido, a través de cumbres internacionales, medidas contra, por ejemplo, el cambio climático. La Logística Verde emerge como una solución para resolver dichos problemas, porque reduce el consumo de energías fósiles y la emisión de CO<sub>2</sub>. El objetivo de este texto es estimar el impacto del desempeño logístico sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en países que pertenecen a la Unión Europea (Moto Chagala, 2020).

**Programa basura cero en la universidad de sonora.** La Universidad de Sonora dentro de su plan institucional de políticas sustentables y considerando la gestión de residuos sólidos, implementó en su campus Centro un Programa de “Basura Cero”, con el fin de planificar como reducir los residuos sólidos no peligrosos que son dispuestos en el relleno sanitario de la ciudad. “Basura Cero” está dirigido a la comunidad universitaria en general, teniendo como pilar principal, modificar la cultura actual de consumo que consiste en “extraer”, “usar” y “desechar”, por una cultura de aprovechamiento enfocada en el consumo responsable, la separación de los residuos desde su origen y la reducción. Gracias al programa, la universidad gestionará la disposición de los residuos sólidos para aprovecharlos y valorización, haciendo un aporte al medio ambiente al evitar que estos sean recogidos por el servicio municipal de basuras (Díaz Martínez, 2016).

**Basura Cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México.** Esta es una investigación documental de corte cualitativo que aborda el tema de la educación ambiental como respuesta a la problemática actual de baja gestión de residuos sólidos urbanos. Se menciona el programa Basura Cero como una propuesta para reducir la generación de desechos, así como la implementación de estrategias para educar y concientizar a la población, para mejorar los hábitos de consumo (Vidarte Rodríguez, 2020).

**Estado del Arte de la Iniciativa Basura Cero y su Aplicación en la Población Actual Nacional e Internacional.** A la par con el aumento y especificidad de los residuos sólidos

vertidos a la naturaleza, se han incrementado los problemas en los sectores de la salud, social y económico derivados de los daños medioambientales producidos por la deficiente disposición final de los residuos. En consecuencia, se hace necesario el desarrollo de alternativas para su control, como en la que se centra este documento, el Concepto Basura Cero, el cual es una metodología que ha venido tomando forma con el transcurso del tiempo, ya que depende de las características ambientales, sociales, económicas y educativas, particulares del lugar donde se desea aplicar.

La finalidad de conocer la real importancia del concepto, da la necesidad de conocer la iniciativa Basura Cero y su influencia en la población actual, a nivel global, nacional y regional; entendiendo su crecimiento y desarrollo a futuro, teniendo en cuenta las variaciones tanto en implementación como en su estructuración dentro del territorio (Gómez Olachica, 2022).

**Aplicación de indicadores ambientales de eficiencia en el marco de la circularidad: una aproximación al sector productivo industrial de los municipios de La Paz y El Alto.** Bolivia se enfrenta a importantes efectos del cambio climático, como la escasez de agua y la reducción de glaciares andinos. El país está implementando estrategias para mejorar la eficiencia energética y el uso del agua, así como para promover la transición hacia energías renovables como parte de su adaptación al cambio climático. Sin embargo, la normativa vigente en Bolivia no ha incorporado de manera explícita elementos de mejora de la eficiencia en el sector productivo ni ha considerado los lineamientos de la Economía Circular, un nuevo paradigma que busca la eficiencia en el proceso productivo.

Solo alrededor del 20% de las empresas industriales en los municipios de La Paz y El Alto realizan mediciones periódicas de indicadores ambientales y de eficiencia. Se destaca la importancia de promover la Economía Circular para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y enfrentar la crisis climática de manera más efectiva. Es fundamental que Bolivia fortalezca sus estrategias de adaptación al cambio climático y promueva prácticas sostenibles en el sector productivo para garantizar un desarrollo resiliente y sostenible en el país. (Terán Mita , 2023)

**1.3.2. Resumen del estado del arte**

Para redactar el estado del arte se inició en una recolección de términos de los antecedentes, con los cuales se realiza la correlación de términos principales y sus consecuentes, por medio de aplicar una colección de vocablos de áreas del conocimiento denominado Tesauro, desarrollándose la siguiente tabla:

Tabla 1. Matriz, vocabulario del conocimiento.

Grupo	Ciencia	Disciplina	Tópicos	Líneas
CIENCIA Y TECNOLOGÍA	DESARROLLO CIENTÍFICO Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA	INGENIERÍA AMBIENTAL	GESTIÓN DE RESIDUOS	LOGÍSTICA VERDE
				DESARROLLO SOSTENIBLE
				PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA
		INGENIERÍA QUÍMICA	PROCESOS INDUSTRIALES	RESIDUO CERO
		INGENIERÍA INDUSTRIAL	DISEÑO DE PLANTAS	TECNOLOGÍA DEL YESO
				ECONOMÍA CIRCULAR
			RENTABILIDAD	

Fuente. Elaboración propia , en base a: (Naciones Unidas, Tesauro UNBIS, 2021)

A continuación, se presenta los tópicos de investigación:

Tabla 2. Tópicos de investigación.

Tópicos de Investigación	Líneas de investigación	Búsqueda Bibliográfica	Autores
1	LOGÍSTICA VERDE	MANEJO DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y LA LOGÍSTICA VERDE EN EL SECTOR DE LÍPIDOS	OCAMPO, PABLO; PRADA, RICARDO
		LOGÍSTICA VERDE Y ECONOMÍA CIRCULAR	NAVA CHACIN, JUAN CARLOS; ABREU QUINTERO, YOLEIDA JOSEFINA
	DESARROLLO SOSTENIBLE	EL DESARROLLO SOSTENIBLE	SÁNCHEZ, ROSA
		GESTIÓN DOCUMENTAL: BUENA PRÁCTICA PARA REDUCIR EL CONSUMO DE PAPEL EN APOYO AL DESARROLLO SOSTENIBLE	LÓPEZ RIQUELME, SILVIA

Fuente. Elaboración propia en base a bibliografía.

Tabla 2. Tópicos de investigación. (continuación)

Tópicos de Investigación	Líneas de investigación	Búsqueda Bibliográfica	Autores
1	PRODUCCIÓN MAS LIMPIA	PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA: UNA REVISIÓN DE ASPECTOS GENERALES	BERNAL FIGUEROA, ANDREA ANGÉLICA; BELTRÁN PARADA, CLAUDIA JOHANA; MÁRQUEZ MÁRQUEZ, ANDRÉS
		ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA EN LAS HACIENDAS LECHERAS MODELOS DE LAS PARROQUIAS TARQUI Y VICTORIA DEL PORTETE DEL CANTÓN CUENCA PROVINCIA DEL AZUAY	UGUÑA, MARÍA FERNANDA
	RESIDUO CERO	ESTADO DEL ARTE DE LA INICIATIVA BASURA CERO Y SU APLICACIÓN EN LA POBLACIÓN ACTUAL NACIONAL E INTERNACIONAL	GÓMEZ OLACHICA, MARÍA DEL PILAR
		PATENTE – RESIDUO CERO	ALVIRA GÓMEZ, LIDIA ESPERANZA
		ESTABLECIMIENTO DE UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN DEL PIOJO ROJO DE CALIFORNIA ( <i>AONIDIELLA AURANTII. MASKELL</i> ) EN EL MARCO DE UN PROTOCOLO DE PRODUCCIÓN RESIDUO CERO EN CÍTRICOS DE LA PROVINCIA DE VALENCIA.	BURGUET ZAMIT, JORGE
	RESIDUO CERO	BASURA CERO. GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MÉXICO	VIDARTE RODRÍGUEZ, ARLETT; COLMENARES LÓPEZ, MYRIAM
		DEL RESIDUO AL PRODUCTO: RECUPERACIÓN DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS	MARÍN PÉREZ, MARIA

Tópicos de Investigación	Líneas de investigación	Búsqueda Bibliográfica	Autores
2	TECNOLOGÍA DEL YESO	NUEVAS APLICACIONES DE RECURSOS YESÍFEROS, DESARROLLO, CARACTERIZACIÓN Y RECICLADO	GUILLEN VIÑAS, JOSÉ LUIS
		REHABILITACIÓN DE UN SUELO SALINO CON YESO AGRÍCOLA EN UN CULTIVO DE NOGAL EN EL VALLE DEL YAQUI	TRASVIÑA BARRIGA, ALMA; BÓRQUEZ OLGUÍN, RAFAEL; LEAL ALMANZA, JOSÉ; CASTRO ESPINOZA, LUCIANO; GUTIÉRREZ CORONADO, MARCO
		ESTUDO DE OBTENÇÃO DE ÁGUA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DA GIPSITA NA PRODUÇÃO DE GESSO	MARANHÃO DE FARIAS SANTANA, DANILO

Fuente. Elaboración propia en base a bibliografía.

Tabla 2. Tópicos de investigación. (continuación)

Tópicos de Investigación	Líneas de investigación	Búsqueda Bibliográfica	Autores
3	ECONOMÍA CIRCULAR	APLICACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES DE EFICIENCIA EN EL MARCO DE LA CIRCULARIDAD: UNA APROXIMACIÓN AL SECTOR PRODUCTIVO INDUSTRIAL DE LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y EL ALTO	TERÁN MITA, TANIA ÁNGELA
		INTEGRACIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INDUSTRIA QUÍMICA COLOMBIANA: PROPUESTA DE UN SISTEMA DE INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL PARA MEDIR LA CIRCULARIDAD EN EMPRESAS DEL SECTOR	CANGREJO ICASTRO, NATHALIA
		USO DE NUTRIENTES TECNOLÓGICOS COMO MATERIA PRIMA EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN EL PARADIGMA DE LA ECONOMÍA CIRCULAR	SARABIA GUARIN, ALEJANDRA; SÁNCHEZ MOLINA, JORGE; LEYVA DÍAZ, JUAN CARLOS
3	RENTABILIDAD	RENTABILIDAD	SEVILLA ARIAS, ANDRÉS; FRANCISCO LÓPEZ, JOSÉ

Fuente. Elaboración propia en base a bibliografía.

#### 1.4. ESTADO DIALÉCTICO

Se realiza un análisis a partir de razonamiento y desarrollo de principios fundamentales para descubrir bases lógicas de la realidad. Buscando hallar criterios preponderantes a evaluar.

##### 1.4.1. Desfases

Del desarrollo del estado del arte, surgen vacíos de información, cuellos de botella y/o criterios potenciales a proyectar; los cuales se escudriñan en un análisis interno para identificar las falencias que se tiene, entorno al conocimiento general de la propuesta; al tiempo y al espacio considerando la presentación de los tópicos mostrados a continuación:

#### **1.4.1.1. Desfase cognitivo**

Existe desconocimiento de bases sobre los principios de residuo cero por la poca difusión de los beneficios de una economía circular en pequeñas empresas. Confusión en términos de logística verde, creencia de que solo se trata del transporte que es una parte de la cadena de suministro, y en realidad incluye al Proceso conjuntamente a los Residuos generados. Además de incluir a proveedores y clientes para estudios más profundos.

#### **1.4.1.2. Desfase espacial**

Los residuos no deben apoderarse de espacios vitales del planeta. Se debe realizar la acometida general en busca de soluciones globales para confinar los desechos y aprovechar los residuos, en el marco de disminuir el espacio físico, denominado pasivo ambiental, aplicando bases de desarrollo sostenible y producción más limpia.

#### **1.4.1.3. Desfase temporal**

El mundo entero está siendo invadido por residuos y desechos que aún no son aprovechables; hasta hace unos años de manera inconsciente se polucionaba al planeta, porque no se contemplaba los efectos negativos a largo plazo, sin contar la época de la edad media donde se puede aseverar la escasez de principios o dogmas de higiene social por falta de la tecnología necesaria; ahora en el presente valga la redundancia, el pretexto deja de servir y se debe ejecutar acciones correctivas y preventivas, duraderas en el tiempo, que hagan posible la sostenibilidad y sustentabilidad de los recursos y la amigabilidad con el medioambiente, que si bien es un ente viviente que se recupera por sí solo, no está demás darle apoyo para que lo haga a mayor velocidad y con menos esfuerzo.

#### **1.4.2. Matriz de indagación**

Correlaciona las ideas base de los anteriores desfases, buscando clarificar las necesidades bajo la perspectiva de la realidad, enmarcando las preocupaciones que afloran en el presente, y la motivación a emprender el desafío de realizar una propuesta que pretende subsanar ciertas falencias y o aplicar principios de mejora.



Tabla 3. Matriz de indagación.

<b>REALIDAD:</b>	<b>NECESIDAD:</b>
<p>Instaurar principios de residuo cero en la actualidad tiene una mayor aceptación en marco de lo sostenible y sustentable, creando así posibilidades de mejorar la economía respecto al consumo sin límite de recursos naturales y ampliar la frontera hacia la valoración de la basura sino del total de la parte denominada residuo, tornado así a este último como una nueva fuente de materias primas para desarrollo de materiales innovadores e incluso con propiedades diferentes al material original.</p>	<p>Se aprecia latentemente que la basura es un problema creciente en el mundo entero, ya que en la actualidad se habla de la sociedad de la basura, lo que conlleva a dos ámbitos globales directamente afectados; primero el Medioambiente, como segundo la sociedad con su economía y calidad de vida. De esta problemática surgen dos componentes físicos, uno tratable, denominado residuo y el segundo que aún es un desperdicio que no tienen valor alguno.</p>
<b>PREOCUPACIÓN:</b>	<b>MOTIVACIÓN:</b>
<p>Implementar principios de residuo cero en empresas de diversa índole es aún un reto que si bien tiene de trasfondo la mejora continua de las mismas organizaciones, y que en la actualidad están sentadas muchas premisas alentadoras, pese a eso hoy en día aún existe reticencia respecto a implementar soluciones que conlleven gastos adicionales a los convencionales en una empresa, ya que como todo proyecto, aplicar el residuo como materia prima con lleva riesgo financiero y por ahí surge la obvia especulación, de cuan viable es aplicar esta filosofía; que aun cuando existan muchos beneficiarios de la misma también existen detractores de dichas estrategias.</p>	<p>La potencialidad que conlleva en sí misma la problemática de la basura, hace que se piense en soluciones pragmáticas y valederas, como lo son el aprovechamiento de los residuos, en pro de un uso sostenible y sustentable en el tiempo de los recursos empleados que una vez fueron obtenidos de la naturaleza de primera mano; de esta manera se puede aplicar lineamientos de la economía circular y la logística verde con varias de sus estrategias, métodos y herramientas, para alcanzar una viabilidad óptima, que de paso a la aplicabilidad natural de principios de residuo cero, dando rentabilidad a los actores que mueven la economía de la sociedad.</p>

Fuente. Elaboración propia.

### 1.5. DELIMITACIÓN DEL OBJETO O SISTEMA DE ESTUDIO

Como se mostrará posteriormente, el proceso productivo de yeso beta, como cualquier otro proceso es altamente complejo y con una amplia gama de secciones, por lo cual es menester hacer la aclaración del sistema bajo análisis para poder acotar el área de estudio y enfocar lo que se pretende tratar exclusivamente; esta área de análisis se delimitará según la figura 3.

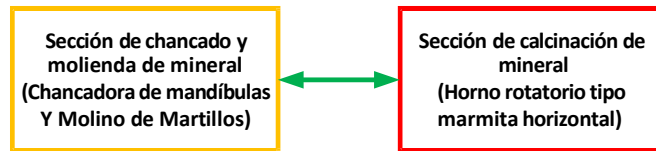


Figura 3 Delimitación del objeto o sistema de estudio.  
Fuente. Elaboración propia

## 1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la producción de yeso beta denominado coloquialmente estuco, los residuos son varios, pero los de mayor importancia son: el que se obtiene de las operaciones de conminución o molienda y del calcinado. El problema principal de la industria de yeso radica en que los dos residuos mencionados son considerados desperdicio y estos tienen un potencial alto para su aprovechamiento como subproductos.

El primer residuo que es el material sólido triturado a un tamaño de alrededor de 5 mm, dispersado por casi toda la planta, causa efectos negativos en el entorno. Se observa desde el punto de vista ambiental que causa impacto sobre el aire, debido a que eleva el porcentaje de partículas suspendidas en la atmósfera, que si bien no son tóxicas no dejan de ser una potencialidad para aumentar la saturación de polvo en los hogares circundantes.

Desde el punto de vista de la salud, las partículas son causantes de diversas enfermedades que tienen que ver con el sistema respiratorio y con la visión.

El segundo residuo es el vapor de agua que es liberado a la atmósfera, posterior a un simple paso por ciclón, que retira entre un 92 % a un 98 % de polvo calcinado o sobre cocido que escapa junto a dicho vapor del horno rotatorio de producción. (De Farias Santana, 2008)

### 1.6.1. Situación problemática

Los residuos importantes para el proyecto son: el que se obtiene de la molienda primaria y del calcinado de mineral. El problema principal radica en que los dos residuos mencionados no son aprovechados y están siendo desperdiciados, teniendo un alto potencial para su valorización como se mostrará más adelante.

Los mencionados residuos, se producen diariamente, pero se los contabilizará por mes y de manera anual, lo que detalla las considerables cantidades de material no aprovechado, que son desperdiciados y por consecuencia bajan el rendimiento de producción.



Figura 4 Diagrama de Ishikawa para presentar las causas y el efecto del problema, en base a MINITAB (TRIAL).  
Fuente. Elaboración propia.

### 1.6.2. Formulación del problema de investigación

¿Cómo aprovechar los residuos generados en las secciones de molienda y calcinación de mineral de la industria de yeso beta MhalexTec?

## 1.7. OBJETIVOS

### 1.7.1. General

Proponer principios de residuo cero en las secciones de molienda primaria y calcinación de mineral en la industria de yeso beta MhalexTec, para análisis del impacto de la rentabilidad en base a lineamientos de Economía Circular y Logística Verde.

### **1.7.2. Específicos**

- i) Describir la situación actual del proceso de producción de yeso beta.
- ii) Identificar los tipos de residuos que puedan ser aprovechables para mejorar la productividad de la manufactura de yeso beta.
- iii) Proponer una solución en base a lineamientos de economía circular y logística verde para la empresa MhalexTec para establecer el impacto de la rentabilidad.
- iv) Analizar el impacto de la rentabilidad de la aplicación de principios de residuo cero, mediante indicadores de gestión financiera y económica.

### **1.7.3. Actividades a desarrollar para alcanzar los objetivos específicos.**

Se tendrá como capítulos de la tesis:

Marco teórico

Recopilación de información.

Indagación del estado del arte

Diagnóstico

Sistematización del proceso de yeso beta.

Descripción de los principales tipos de operación y proceso que generan residuos aprovechables.

Conceptualización de procesos para transformar los residuos en productos.

Propuesta

Indagar sobre las herramientas más adecuadas para la situación, en base a economía circular y logística verde.

Propuesta de aprovechamiento de los residuos identificados.

Valoración

Análisis estadístico.

Análisis de rentabilidad.

## **1.8. JUSTIFICACIÓN**

La investigación tendrá impacto por que propone un producto final que ayudará a resolver el problema identificado, por lo cual a continuación se indica criterios formulados como bases que justifican su prosecución (Arias, 2012).

Conveniencia. La investigación servirá para detallar como aprovechar residuos de la empresa MhalexTec para mejorar la productividad, empleando economía circular y logística verde. (Dei, 2002)

Relevancia social. Debido al hecho que al aprovechar residuos que de alguna manera impactan al medio ambiente, mejora la calidad de vida del entorno social de la empresa (Xavier, 2012).

Implicaciones prácticas. Ayudará a obtener sub productos del proceso de producción de yeso, que tienen un valor en sí mismo alto (Figueroa Montaña, 2013).

Valor teórico. Si bien la investigación como tal no aporta de manera directa a la ciencia, esta puede aportar una técnica base de como recuperar residuos del proceso de yeso beta, lo cual hace enriquecer el conocimiento de la universidad para bien de los futuros estudiantes de tan honorable casa de estudios superiores.

Utilidad metodológica. La investigación no aporta de manera directa con las bases de la metodología de investigación, pero si hace uso tácito de herramientas que hasta ahora no fueron contempladas en la área a ser aplicada (Fassio y otros, 2012). Es una demostración de la manera de aplicar las metodologías que hacen posible una investigación de postgrado.

## **1.9. CAMPO DE ACCIÓN**

Respecto al espacio, la área de estudio estará localizada en una empresa simulada desarrollada en base a información de una empresa real que por motivos de

confidencialidad industrial y de registro de marca solo se empleará los datos de estudios previos (bajo consentimiento limitado) de diseño y sistematización del proceso.

Por parte del territorio indagado, el sujeto de indagación serán los residuos de las operaciones de conminución y a la emisión de vapor de la calcinación, como ya se describió en el objeto de estudio.

En un tiempo de prueba de 6 meses en el año – 2023, se extrajo los datos que serán empleados para esta propuesta. El tiempo empleado en la indagación previa consistió de un lapso comprendido de febrero de 2015 a marzo del 2016 para establecer el diseño y la construcción de la maquinaria; posteriormente en lapso de 1 año calendario se montó la planta y sistematizo el proceso, de donde se recabo los datos ya mencionados.

#### **1.10. ALCANCES**

La investigación según su alcance es de tipo explicativo, debido a la literatura que hay y que existe teorías que se aplican al problema de investigación. Toda la literatura está comprendida en su mayoría en no más de 20 años atrás, con alguna excepción que fue necesaria por el alto grado de aporte de la misma (Morán Delgado & Alvarado Cervantes, 2011).

#### **1.11. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

Con la propuesta y la alternativa de producción de yeso agrícola, enmienda de suelos, carga aditiva y obtención de agua de roca con fines de riego, esparcimiento y para consumo de animales, en base a lineamientos de Economía Circular y Logística Verde entonces se podría mejorar la rentabilidad de la industria de yeso beta MhalexTec, si se emplea principios de residuo cero en sus secciones de molienda y calcinación de mineral.

#### **1.12. MATRIZ DE CONSISTENCIA**

Matriz de interacción lógica entre el problema de la investigación el objetivo general y la hipótesis (Muñoz Razo, 2011).

Tabla 4. Matriz de consistencia

Propuesta de principios de residuo cero, en base a lineamientos de economía circular y logística verde en la sección de molienda primaria y calcinación de la empresa productora de yeso beta MhalexTec		
Problema	Objetivo	Hipótesis
¿Cómo aprovechar los residuos generados en las secciones de molienda y calcinación de mineral de la industria de yeso beta MhalexTec?	Proponer principios de residuo cero en las secciones de molienda primaria y calcinación de mineral en la industria de yeso beta MhalexTec, para mejoramiento de la rentabilidad en base a lineamientos de Economía Circular y Logística Verde.	Con la propuesta y la alternativa de producción de yeso agrícola, enmienda de suelos, carga aditiva y obtención de agua de roca con fines de riego, esparcimiento y para consumo de animales, en base a lineamientos de Economía Circular y Logística Verde entonces se podría mejorar la rentabilidad de la industria de yeso beta MhalexTec, si se emplea principios de residuo cero en sus secciones de molienda y calcinación de mineral.

Fuente. Elaboración propia.

### 1.13. DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación es de tipo explicativo, dentro el paradigma positivista y con un enfoque cuantitativo, que aplica un diseño de estudio de tipo experimental de campo debido a que se centra en un estudio de un antes y un después de la empresa (Carpenter y otros, 2005), además a causa de la directa medición en planta, para obtener datos numéricos (Ñaupas Paitán, 2013) (Tamayo, 2013).

Tabla 5. Estructura epistémica.

PARADIGMA	ENFOQUE	TIPO DE ESTUDIO	DISEÑO DEL ESTUDIO
Positivista	Cuantitativo	Explicativo	Experimental de Campo (Carpenter y otros, 2005)

Fuente. Elaboración propia.

### **1.13.1. Caracterización metodológica**

La investigación por su enfoque es de tipo Cuantitativa debido a que utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis en base a la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández Sampieri, 2014) (Ñaupas Paitán, 2013).

Por el propósito es de tipo Aplicada por que considera que los planteamientos son útiles para: evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y determinar causalidad y sus implicaciones. Además de principalmente resolver el problema (Hernández Sampieri, 2014) (George, 2012).

Debido al diseño y al grado de manipulación de las variables, la investigación es de tipo experimental, en base a que las mismas son manipuladas a conveniencia; y que son las más representativas del proceso bajo estudio; además se realizará bloqueo de variables, haciéndolas constantes y a algunas que son no controlables, denominadas covariables (Hernández Sampieri, 2014) (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, Control estadístico de la calidad y Seis Sigma, 2013) (Walpole y otros, 2018).

### **1.13.2. Diseño de la investigación**

Los métodos y herramientas empleadas serán la recopilación de información sobre Economía Circular y Logística Verde, el tratamiento estadístico de datos, el bosquejado de modelos físicos con CAD y matemáticos con Excel, además del análisis simple de rentabilidad. Todo estrechamente relacionado con el método científico (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, Análisis y diseño de experimentos, 2016) (Montgomery, 1999) (Triola, 2019) (Montanero Fernández, 2018).

## **1.14. RESULTADOS ESPERADOS**

Se espera alcanzar principios de residuo cero, para las secciones de molienda y calcinación de mineral para conseguir una mejora en la rentabilidad de la empresa MhalexTec por medio de aplicar economía circular y logística verde.



### 1.14.1. Rigor científico

Es la exigencia intelectual que se aplica a la calidad de la información científica; es la validación por el método científico de la situación actual de investigación.

Tabla 6. Rigor científico.

CONNOTACIONES	DESCRIPCIÓN
NOVEDAD CIENTÍFICA	Se centra en el diseño de principios de residuo cero en un área que no tienen clara la situación, respecto a la aplicación de economía circular y logística verde, como lo es el rubro de producción de yeso beta en Bolivia, específicamente en la empresa simulada denominada MhalexTec (secciones de molienda y calcinación de mineral), que está basada en una organización real.
CONTRIBUCIÓN TEÓRICA	Está basada en la descripción sistemática de la generación de residuos no aprovechados del proceso de producción de yeso beta, cuya información es escasa considerando la búsqueda del estado del arte; se aprecia que la información respecto al objeto de estudio propuesto no se halla de manera directa sino en otras áreas productivas.
SIGNIFICANCIA PRÁCTICA	Aplicando los diferentes métodos empíricos, lógico-estadístico matemáticos y teóricos se presentará una colección de datos ampliados, y analizados, que dan una respuesta de relevancia respecto al producto esperado tendrá una discusión sumamente consistente para exponer la nueva información.
PERTINENCIA ACADÉMICA	Es competente el objeto de estudio con el entorno laboral propio, debido a que se centra en ideas, conceptos y definiciones base de la tecnología del yeso, rubro en el que el autor se ha ido desarrollando.
RELEVANCIA SECTORIAL	La presente propuesta tendrá un impacto directo en el sector productivo de yeso, de tal manera que aporta una metodología innovadora para mejorar la rentabilidad del sector, además de poder incursionar en la gestión empresarial industrial.
IMPACTO SOCIAL	Si la propuesta llegara a implementarse, se lograría mejorar la rentabilidad de la empresa productora de yeso beta, mejorando a la vez el entorno ambiental de la misma por el aprovechamiento de residuos, lo cual conlleva mejoras en la calidad de vida del entorno social circundante, que si bien es una área física pequeña, por lo menos esta estará contribuyendo a dar un buen ejemplo de sostenibilidad y sustentabilidad en corto plazo.

Fuente. Elaboración propia.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**



## **2.1. INTRODUCCIÓN AL MARCO TEÓRICO**

Para desarrollar el marco teórico, se emplea las bases conceptuales indicadas en el capítulo anterior, y se basa primordialmente en la figura 1, que detalla la interrelación de los tópicos de investigación necesarios para culminar en el producto deseado, que es aplicar los principios de residuo cero en la empresa productora de yeso beta MhalexTec.

Por tanto, la secuencia de desarrollo del presente capítulo estará ligado de la siguiente manera: la principal línea de investigación es la tecnología del yeso, para luego entender las líneas de logística verde, el desarrollo sostenible, la economía circular, la producción más limpia, para finalmente abarcar los principios de residuo cero y la rentabilidad.

## **2.2. DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO**

La fundamentación de esta investigación proporcionará una idea más clara acerca del tema. Se presentan conceptos básicos, complementarios y específicos. Hoy en día se busca algo que ayude a mejorar el desempeño, la productividad e innovación en el sector industrial y a la vez pueda contribuir a la minimización de impactos ambientales negativos.

El conocimiento en sí merece ser tomado en cuenta porque indica cómo hacer las cosas y cómo mejorar lo que ya se ha hecho hasta el momento en el sector yesero (Miranda Montaña, 2017).

## **2.3. PRODUCCIÓN DE YESO BETA**

Actualmente, la producción de yeso sigue siendo como lo fue en sus inicios, aunque con ligeras modificaciones introducidas por cada productor en particular. Históricamente para la calcinación se ha recurrido a socavones excavados en las propias canteras o bien a hornos artesanales también llamados morunos o árabes, ubicados cerca de las canteras o a pie de obra, en la actualidad por la forma dichos hornos son llamados tipo volcán (Miranda Montaña, 2017).



Figura 5 Hornos de calcinación a leña y gas empresa MhalexTec - Cochabamba.  
Fuente. Productora de yeso MhalexTec.

Ya desde el 2015 se está incursionando en la producción mecanizada del yeso mediante maquinaria como el horno rotatorio tipo marmita horizontal que es el corazón de una planta actual de obtención del producto.

### 2.3.1. Proceso de obtención de yeso beta

El proceso inicia en la extracción del mineral denominado Aljez. Esta operación es a cielo abierto y se realiza manualmente empleando pala, pico de excavación, barrenos y mano de obra de los mismos productores; también se emplea explotación por medio de voladura, detonación controlada y maquinaria pesada, aunque este método no está bien definido. La explotación manual dura aproximadamente 4 días, considerando 12 horas de trabajo para la conclusión del mismo, y está en función a la cantidad de mineral que se puede introducir al horno de calcinación, a la mano de obra y a las condiciones climatológicas; la cantidad de mineral varía desde 9 a 25 toneladas según la capacidad de cada productor (Miranda Montaña, 2017).

La materia prima que es un mineral se nombra de diferentes formas, como Piedra de Yeso, Gipso, Gipsita, Piedra de Escayola, e incluso Yeso, pero la manera adecuada y técnica es “Aljez”, este mineral contiene mayoritariamente Sulfato de Calcio Dihidratado, por lo cual también se lo denomina “Dihidrato” (Perry y otros, 2013) (Kirk & Othmer, 2012) (Katz, 2016).

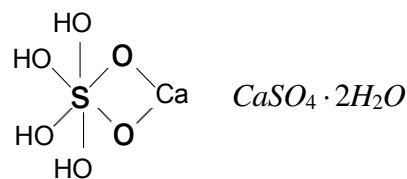


Figura 6 Estructura química del Sulfato de Calcio Dihidratado.  
Fuente. Elaboración propia.



Figura 7 Aljez cristalizado y amorfo.  
Fuente. Elaboración propia.

El producto denominado Yeso nombre de origen griego "Gypsos" que significa mineral calcinado, químicamente recibe el nombre de: Sulfato de Calcio Hemihidratado, sustancia que proviene del mineral Aljez (Perry y otros, 2013) (Kirk & Othmer, 2012) (Katz, 2016).

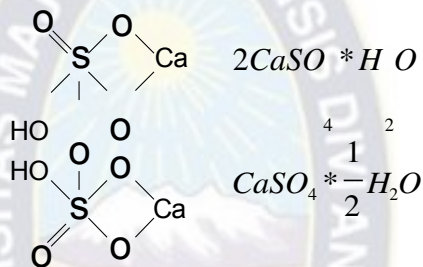


Figura 8 Estructura química del Sulfato de Calcio Hemihidratado.  
Fuente. Elaboración propia

Cuando ya se cuenta con el mineral, este se monta dentro de los hornos tipo volcán conformando una estructura apilada, teniendo la precaución de ir dejando aberturas para circulación del humo caliente, que se generará en la base de la misma estructura donde se construyó un domo y donde ingresa el material combustible o los quemadores a gas. Proceso que dura alrededor de 15 a 22 horas dependiendo la cantidad de mineral inicialmente apilado (Miranda Montaña, 2017).

Pasado el tiempo de calcinación se deja enfriar el horno por unas 8 horas para luego ser desmanotado y pasado el producto bruto a la molienda primaria realizada mediante chancadoras de boca pequeña entre unos 25 cm de ancho.

El producto chancado pasa a un molino pulidor de tipo martillos, del cual se obtiene el producto acabado que pasara a la sala de embolsado donde se dosifica en bolsas de 40 kilogramos para el expendio (Guillen Viñas, 2013).

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso tradicional.

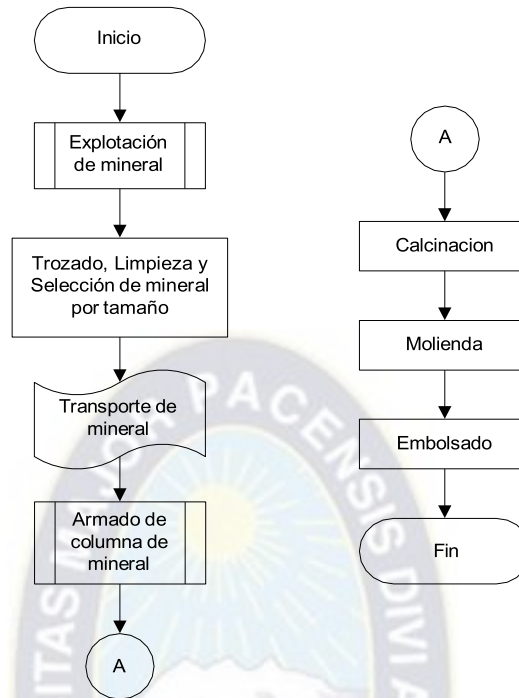


Figura 9 Diagrama de flujo de la línea de producción tradicional.  
Fuente. Elaboración propia.

Para el proceso maquinizado, las piedras extraídas de la cantera pasan a una primera conminución en chancadora de boca de 45 cm la cual genera terrones de no más de 5 cm de longitud característica para posteriormente pasar al molino de tipo hammer el cual desintegra el material hasta una granulometría al 90% de partículas de 5 mm, las cuales son dosificadas al horno de calcinación mostrado en la siguiente figura, donde a una temperatura de operación de 400 °C transforma al mineral en yeso que luego pasa a las instalaciones de embolsado (Marks, 2014) (Miranda Montaña, 2017) (Vian Ortuño, 2016).



Figura 10 Horno rotatorio de calcinación tipo marmita horizontal.  
Fuente. Elaboración propia.

El diagrama de flujo del proceso mecanizado es el siguiente:

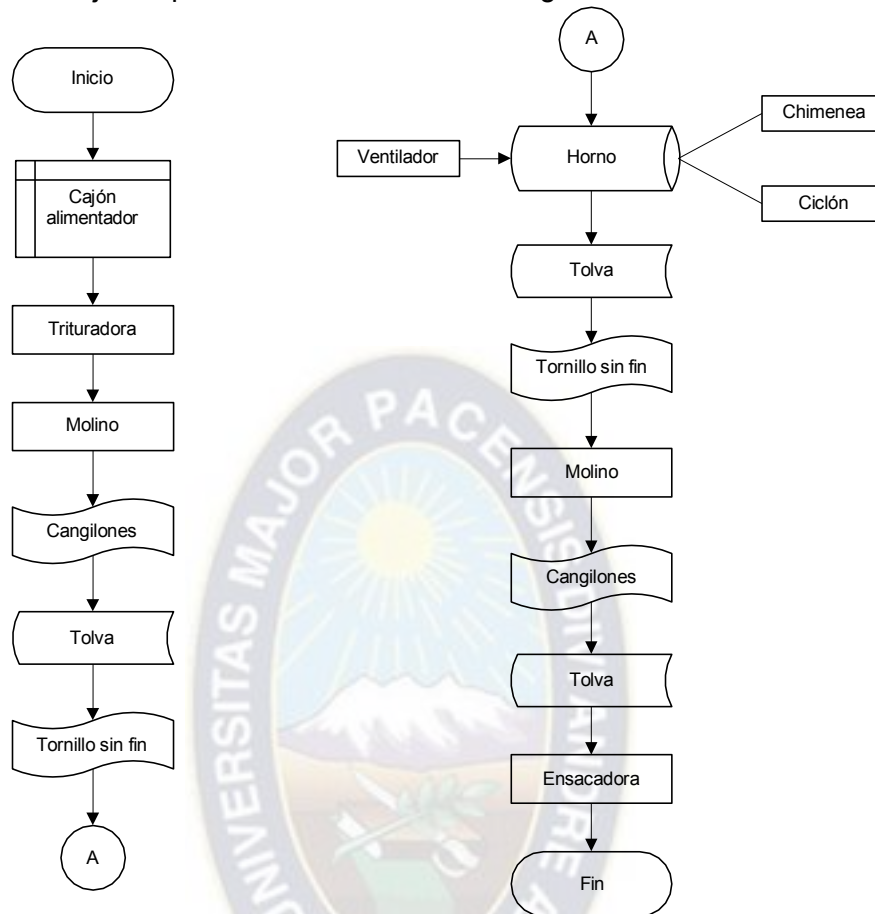


Figura 11 Diagrama de flujo de la línea de producción mecanizada. Fuente. Elaboración propia.

## 2.4. RESIDUOS DE LA MANUFACTURA DE YESO BETA

De la descripción del proceso, exclusivamente hablando del proceso mecanizado de la empresa MhalexTec, de los puntos localizados en la problemática, y en el objeto de estudio, se hace la descripción de los residuos de la conminución y de la calcinación de mineral (Miranda Montaña, 2017).

El mineral al estado de rocas de longitud característica de no más de 40 cm, llegan a la planta en volquetas de 21 toneladas y son acopiadas en la estancia de recepción a cielo abierto con la única condición de que estas piedras no contengan lodo seco en sus intersticios, como se muestra en la figura 12.



Figura 12 Materia prima acopiada, piedra de no más de 40 cm.  
Fuente. Elaboración propia.

#### 2.4.1. Proceso de conminución

El proceso de conminución primaria inicia en el área de chancado que se encuentra cerca al área de recepción de materia prima mostrada en la anterior figura, donde se parte del mineral extraído en forma de piedras de longitud característica máxima de 40 cm. Este mineral al ser triturado desprende partículas inferiores a los 5 cm, de las cuales una cierta cantidad se escapa al proceso siguiente de molienda, causando una merma que es desaprovechada y que le resta materia prima al proceso de obtención de yeso beta. Esta merma es dispersada en todo el alrededor de la zona de chancado (Miranda Montaña, 2017).



Figura 13 Mineral desperdiciado en la sección de molienda primaria.  
Fuente. Elaboración propia

Otro punto importante del residuo de mineral es el de la molienda, figura 13, que también desperdicia materia prima por motivo de fugas en la maquinaria que por más que se la selle, aun así, existe la merma correspondiente pese a la mejora continua que se pone en la maquinaria, y es debido a que el material es mucho más fino y logra fugarse para terminar en el suelo de los alrededores del molino hammer (Miranda Montaña, 2017).



#### **2.4.2. Proceso de calcinación**

Cuando el mineral está siendo calcinado desprende vapor de agua que debe ser retirado de las entrañas del horno rotatorio para evitar que esta humedad rehidrate al mineral, esta operación se la realiza mediante un extractor de vapor, pero en dicha operación no se puede evitar el arrastrar partículas de mineral calcinado las que son separadas mediante un ciclón que deja casi completamente libre al vapor el cual luego se disipa en el aire atmosférico desaprovechándose el valioso recurso que es el agua (Miranda Montaña, 2017).

Esta agua que es desaprovechada podría ser recuperada y empleada para riego, limpieza y recreación e incluso con un ligero tratamiento es posible su consumo, debido a que cuenta con un grado elevado de seguridad, puesto que no es agua de procesos peligrosos (Miranda Montaña, 2017) (Vian Ortuño, 2016).

#### **2.5. LOGÍSTICA VERDE**

El concepto de logística no es nuevo. Se describe como el arte y la ciencia de planificar. La logística es una rama de la ingeniería que se encarga de dos tareas básicas: gestión de materiales, así como del flujo y suministro de materias primas, componentes en procesos y residuos; gestión de distribución desde el empaquetado, control de inventario, almacenamiento y transporte de materiales hasta el cliente (Dizdar y otros, 2010).

El concepto de logística verde surgió alrededor de los años 80 y 90 y continúa utilizándose desde entonces. Su aplicación centra la atención sobre el problema del calentamiento global y de la contaminación. Los objetivos de la logística verde son incorporar el aspecto ecológico en todos los componentes de los sistemas logísticos. El abastecimiento de materias primas verde, fabricación verde, almacenamiento verde, transporte verde, embalaje verde, distribución verde y la gestión de residuos de todo el sistema (Dizdar y otros, 2010). El término “verde” se ha convertido en la palabra para describir actividades relacionadas con la conciencia medioambiental, son acciones destinadas a reducir el impacto negativo en el ambiente (Dizdar y otros, 2010).

El objetivo de la logística verde no es solo proteger el medio y reducir las amenazas sobre los recursos naturales, sino también incrementar la economía de las empresas, la

expansión de su ocupación en el mercado y atender y satisfacer las necesidades de los clientes (Dizdar y otros, 2010).

La logística verde puede definirse como una convergencia entre los términos “verde” (eficiencia ambiental, reciclado, cumplimiento) y “logística” (eficiencia distribuida, ahorro de tiempo, dinero y energía) (Dizdar y otros, 2010).

### **2.5.1. Logística verde y desarrollo sostenible**

Según el concepto de “verde” esta caracteriza la sostenibilidad ambiental, lo que relaciona la logística verde con el desarrollo sostenible. En otras palabras, la aplicación de estrategias y requisitos logísticos ecológicos ayudará al desarrollo sostenible a alcanzar sus objetivos (Dizdar y otros, 2010).

El desarrollo sostenible se conceptualiza como: desarrollo que satisface las necesidades de los presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

El desarrollo sostenible en Bolivia es fomentado a través de la Organización de Naciones Unidas “ONU”, impulsando sus 17 objetivos de la agenda 2030 aprobada en septiembre del 2015 en la histórica cumbre de las naciones unidas.

Estas están en vigor desde el 2016 e intensificarán los esfuerzos para poner fin a la pobreza en todas sus formas, reducir la desigualdad y luchar contra el cambio climático garantizando, al mismo tiempo, que nadie se quede atrás (Naciones Unidas, Cómo la ONU apoya los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bolivia, 2023).

Dos objetivos fundamentales, aplicables son:

Objetivo de Desarrollo Sostenible 9. Industria, innovación e infraestructura. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

Objetivo de Desarrollo Sostenible 12. Producción y consumo responsables. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Reducción de residuos.



Figura 14 Objetivos del desarrollo sostenible aplicable a la propuesta.  
Fuente. Extractado de la WEB (ONU, 2023).

### 2.5.1.1. Sustentabilidad

Capacidad de las sociedades de utilizar sus recursos de manera responsable y consciente, evitando que se agoten o dañen el ecosistema durante el proceso (Reyna, 2024).

### 2.6. RESIDUO CERO

Inicialmente fue un movimiento denominado Zero Waste o Basura cero que, por su afinidad con la economía circular, llegó a establecerse como principios<sup>2</sup> de los objetivos fundamentales que tiene este tipo de economía, en conjunto con la logística verde.

Estos principios se fundamentan en:

Rechazar.

Renunciar a todos aquellos artículos que no necesitamos.

Reducir.

Evitar al máximo todo aquello que utilizamos y no necesitamos

Reutilizar.

Cuando hablamos de reutilizar nos damos cuenta que es quizá la forma más fácil de contribuir con este objetivo; ya que, son muchas las cosas que podemos reutilizar.

Reciclar. En la actualidad hay muchas maneras de volver a introducir a la cadena productiva diferentes residuos que pueden ser aptos de aprovechamiento.

---

<sup>2</sup> Principios son el conjunto de valores, creencias, normas, que orientan y regulan la vida de la organización. Son el soporte de la visión, la misión, la estrategia y los objetivos estratégicos.

Reincorporar. Está quizá es la opción que menos es utilizada, se trata de la creación de procesos con los cuales se pueda reincorporar al medio los residuos sin causar efectos negativos. Residuo cero es el concepto de aprovechar cualquier desecho como materia prima y evitar su descarte (Moncada, 2019).

### **2.6.1. Gestión de residuos**

Los residuos son un problema que nos afecta a todos. Los residuos contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental y a la producción de emisiones de gases de efecto invernadero. La cantidad de desechos generados está aumentando, como lo demuestra el hecho de que para 2050 la generación de desechos superará con creces el crecimiento de la población (Gonzales Rocabado, 2019).

El objetivo a largo plazo de las políticas de gestión de residuos en Bolivia es convertir al país en una sociedad del reciclado y reducir así el impacto ambiental y sanitario de los residuos (Gonzales Rocabado, 2019).

La jerarquía de la gestión de residuos. Establece el siguiente orden:

- i. Prevención.
- ii. Preparación para Reutilización.
- iii. Reciclaje.
- iv. Recuperación (incluye la energía).
- v. Eliminación (que incluye el vertido y la incineración sin recuperación de energía).

#### **2.6.1.1. Normativa para residuos**

La legislación que guía las acciones sobre residuos está la Ley N° 755 y su reglamento, de 28 de octubre de 2015, Gestión Integral de Residuos, con el objeto de sistematizar y articular su implementación en observancia al derecho a la salud, a vivir en un ambiente sano y equilibrado, así como el respeto a los derechos de la Madre Tierra (Decreto Supremo N° 2954, 2016), y la Ley N° 1333, del 27 de abril de 1992, Ley del Medio Ambiente.

### **2.6.2. Producción más limpia**

Del Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM), que fue aprobado mediante Decreto Supremo No. 26736, el 30 de julio de 2002, entre las partes más relevantes se puede mencionar la incorporación del concepto de Producción Más Limpia (PML). En tal sentido, las responsabilidades y esfuerzos de las industrias deben centrarse en realizar PML (Equipo técnico del CPTS, 2007). En PML las definiciones y conceptos más importantes relacionados son:

Contaminación. Cambio desfavorable en las características de la naturaleza que es perjudicial para la vida.

Prevención de la contaminación. Uso de procesos que reduzcan o eliminen la generación de contaminantes.

Eficiencia. Habilidad de lograr objetivos optimizando recursos.

Eficiencia energética. Aplicación de la menor cantidad posible de energía.

Reciclaje. Convertir un residuo en un insumo o materia prima.

Reuso. Emplear un residuo en el estado actual en el que se encuentra.

Recuperación. Aprovechar componentes del residuo.

### **2.7. ECONOMÍA CIRCULAR**

Cabe destacar que por economía circular se entiende aquella que por principio es restaurativa y regenerativa, y que trata que los productos, componentes y materias primas mantengan su utilidad y valor máximo en todo momento, asimilando los ciclos técnicos a los biológicos. Se concibe como un ciclo de desarrollo positivo y continuo que preserva y mejora el capital natural, optimiza el rendimiento de los recursos, y minimiza los riesgos del sistema al gestionar con rigor las reservas finitas y los flujos renovables. Funciona de forma eficaz en todas las escalas, y, en definitiva, este modelo intenta desvincular el desarrollo económico global del consumo de recursos finitos (Espaliat Canu, 2017) (Muller & Fontrodona, 2021) (Cortés García, 2020) (De la Cuesta González, 2020).

Las grandes escuelas de pensamiento relacionadas con la circularidad surgieron en los años 70, pero no cobraron relieve hasta la década de los 90. La economía circular es un concepto económico que se enmarca en el desarrollo sostenible, y cuyo objetivo es la

producción de bienes y servicios reduciendo el consumo y el desperdicio de materias primas, agua y energía. Se trata de un modelo que considera tanto los aspectos económicos, como los ambientales y sociales, basado en el principio de "cerrar el ciclo de vida" de recursos, productos, servicios, residuos y materiales (Lobato Gago, 2017) (De Miguel y otros, 2021).

### **2.7.1. Eliminación de los residuos desde el diseño**

En una economía circular los residuos no existen, y se eliminan del diseño deliberadamente. Las materias biológicas no son tóxicas y pueden devolverse fácilmente al suelo mediante el compostaje o la digestión anaeróbica. Los materiales técnicos, tales como plásticos, metales, aleaciones y otros productos artificiales, se diseñan para ser recuperados, renovados y mejorados, minimizando la aportación de energía necesaria al ciclo, y maximizando la retención de valor, tanto en términos económicos como de disponibilidad de recursos. (Mondino & Crisafulli, 2021)

## **2.8. RENTABILIDAD**

Definición técnica: La rentabilidad hace referencia a los beneficios que se han obtenido o se pueden obtener de una inversión (Sevilla Arias & Francisco López, 2020).

Rentabilidad económica. Hace referencia al beneficio promedio de la empresa por la totalidad de las inversiones realizadas. Se representa en porcentaje y se traduce de la siguiente manera, si la rentabilidad de una empresa en un año es del 10% significa que ha ganado 10\$ por cada 100\$ invertidos (Sevilla Arias & Francisco López, 2020).

Rentabilidad financiera. Hace referencia al beneficio que se lleva cada uno de los socios de una empresa, es decir, el beneficio de haber hecho el esfuerzo de invertir en esa empresa. Mide la capacidad que posee la empresa de generar ingresos a partir de sus fondos. Por ello, es una medida más cercana a los accionistas y propietarios que la rentabilidad económica (Sevilla Arias & Francisco López, 2020).

### 2.8.1. El valor actual neto “VAN”

Es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión (Baca Urbina, 2015). La ecuación de cálculo es la presentada a continuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde: Ft son los flujos de dinero en cada periodo t; I0 es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0); n es el número de periodos de tiempo y k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión (Baca Urbina, 2015). Los criterios de evaluación son: si VAN ≥ 0, acepte la inversión; si VAN < 0, recházela.

### 2.8.2. Tasa interna de rendimiento (TIR)

Es un indicador de rentabilidades de proyectos o inversiones, de manera que cuanto mayor sea la TIR mayor será la rentabilidad. Es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero. El criterio de aceptación ésta en si el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable, la inversión es económicamente rentable (Sapag Chain y otros, 2014). La ecuación de cálculo es la presentada a continuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Donde: Ft son los flujos de dinero en cada periodo t; I0 es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0) y n es el número de periodos de tiempo (Baca Urbina, 2015).

### 2.8.3. Periodo de recuperación (PR)

El periodo de recuperación es el tiempo o periodo de tiempo, en el que una empresa puede recuperar el dinero y activos totales gastados en una inversión realizada. Su análisis está en función del flujo neto acumulado, buscando igualar en un periodo dado toda la inversión realizada (Baca Urbina, 2015).

#### **2.8.4. Relación beneficio costo (RBC)**

El método de la razón beneficio costo se utiliza para evaluar las inversiones de interés. Tanto los beneficios como los costos se cuantifican en base al total de ambos ítems dentro una propuesta. Se ha desarrollado para su aplicación en función de calcular el VAN de los beneficios y el de los costos, de donde se extraiga una razón que, si es mayor que uno, se debería aceptar la propuesta e invertir en su ejecución.

La ecuación base empleada es la siguiente:  $\frac{B}{C} = \frac{VA_B}{VA_C}$

Donde B/C es la razón de beneficio costo; VA<sub>B</sub> es el valor actual de los beneficios y VA<sub>C</sub> es el valor actual de los costos (Sapag Chain y otros, 2014).

#### **2.9. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS POR INTERVALOS DE CONFIANZA**

La estimación puntual aproxima mediante un número (estadístico) al valor de una característica poblacional o parámetro, pero no nos indica el error que se comete en dicha estimación. Lo razonable, en la práctica, es adjuntar, junto a la estimación puntual del parámetro, un intervalo que mida el margen de error de la estimación, según la siguiente

$$\text{ecuación: } \mu = \bar{X} \pm t_{(\alpha, v)} \frac{S}{\sqrt{n}} \Rightarrow \mu = \bar{X} \pm E_{\bar{X}}$$

{ 2 }

Donde  $\mu$  es el valor verdadero;  $\bar{X}$  es el promedio de la muestra;  $t$  es el estadístico crítico de la distribución “t” de Student;  $S$  es la desviación típica;  $n$  es el tamaño de la muestra;  $\alpha$  es la significancia;  $v$  son los grados de libertad y  $E_{\bar{X}}$  es el error absoluto del promedio (Triola, 2019).

#### **2.10. CONCLUSIÓN AL MARCO TEÓRICO**

Con todo lo anteriormente redactado en el marco teórico, se pretende tener herramientas base para realizar un diagnóstico de la empresa MhalexTec, en sus sectores de Conminución y Calcinación y así establecer la condición actual de la generación de residuos en dichas áreas, para que por medio de los principios de residuo cero aplicando economía circular y logística verde se pueda mejorar la rentabilidad de la organización.



**CAPÍTULO III  
DIAGNÓSTICO**




### 3.1. SITUACIÓN DEL SECTOR PRODUCTIVO

La perspectiva de crecimiento del sector productivo de yeso en la red nacional, no tiene establecido parámetros oficiales, por lo cual se hará una indagación indirecta respecto al crecimiento del sector de la construcción, que se sabe, de manera directamente proporcional, si esta se desarrolla también lo debe hacer el sector yesero del país.

Para inferir respecto al crecimiento del sector yesero se empleó la siguiente información mostrada a continuación:

Tabla 7. Índice de costo de la construcción.



BOLIVIA: ÍNDICE DEL COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN, 2002 – 2021	
(junio 2002 = 100)	
PERIODO	ÍNDICE GENERAL
2002	101,35
junio	100,00
2021	202,39
Marzo	202,39

Fuente. Extractado de (INE, 2023)

Como se observa en la tabla anterior; datos oficiales del costo para el sector de la construcción, extractada de la página oficial del Instituto Nacional de Estadística “INE”. Del año base 2002 al año 2021 se observa un incremento de aproximadamente 99,7 %, lo cual hace que la propuesta presente sea atractiva, debido a que las ventas de yeso deben haber aumentado en una relación directamente proporcional al sector general de la construcción.

Otro índice de diagnóstico importante es el precio de venta al consumidor por el material acabado, que dará una idea del orden del precio de la materia prima que conjuntamente los datos internos de la empresa, permitirá realizar estimaciones de ingresos por venta de los materiales residuales propuestos en la presente tesis. Estos datos se muestran a continuación.

Tabla 8. Precio de yeso de construcción.

LA PAZ: PRECIO PROMEDIO POR MES SEGÚN MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN, 2002 - 2021			
(En bolivianos)			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	2002	2021
		Septiembre	Marzo
Estuco de segunda calidad	Bolsa	8,20	17,00
Estuco fino de primera	Bolsa	19,63	15,33
COCHABAMBA: PRECIO PROMEDIO POR MES SEGÚN MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN, 2002 - 2021			
(En bolivianos)			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	2002	2021
		Septiembre	Marzo
Estuco (Yeso)	Bolsa	3,76	14,80

Fuente. Extractado de (INE, 2023)

De esta manera se refrenda que la propuesta es un buen tema de tesis que dará un producto adecuado a las expectativas requeridas por la maestría; además será una propuesta viable económicamente pues la tendencia es a la alza en el sector yesero debido a la relación directa con el sector de la construcción.

### 3.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE YESO BETA

Actualmente la producción de yeso beta en la empresa MhalexTec se realiza mediante dos métodos de procesamiento de la materia prima "Aljez", la primera denominada TRADICIONAL y la segunda MECANIZADA.

El trabajo presentado se centra en el método de procesamiento mecanizado, que es donde existen las potencialidades directas de reducir los residuos del proceso de manufactura, tales como el mineral mermado de los procesos de conminución y el vapor de agua emitido a la atmosfera.

#### 3.2.1. Descripción sistemática de la producción mecanizada

Es importante describir anticipadamente que la producción diaria es de 13 lotes con un ciclo por lote de alrededor de 1 hora y 50 minutos. La producción está programada para obtener 3,5 toneladas de yeso por hora en solamente la calcinación.

Antes del ciclo de producción, el mineral extraído de las canteras, es transportado mediante camiones de aproximadamente 20 toneladas de capacidad a la planta y es acopiado en la zona de descarga a la intemperie muy próximo al cajón de alimentación que es la primera maquinaria de la planta de aproximadamente 8 toneladas. En la figura 15 se muestra un bosquejo de la secuencia de la planta.

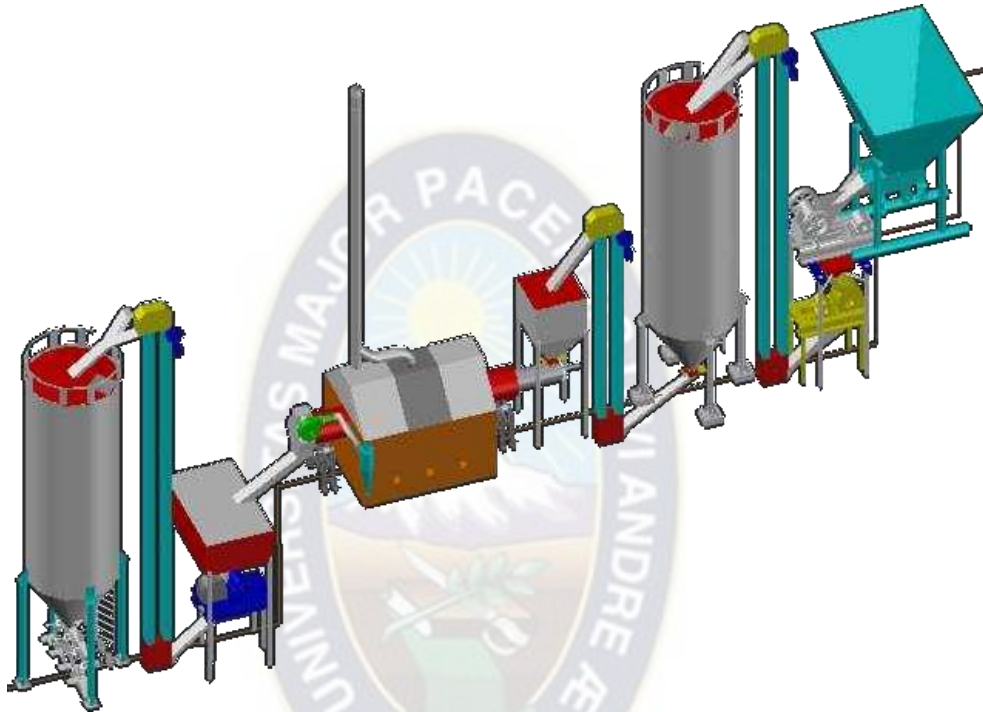


Figura 15 Sistematización de la planta de producción de yeso beta. El diseño puede variar por motivos de confidencialidad industrial de la empresa MhalexTec. Fuente. Elaboración propia mediante CAD.

Una vez el mineral en el cajón de alimentación, por medio de vibración las rocas de máximo 40 cm de longitud característica caen en las fauces de la chancadora, que reduce el tamaño de la materia prima a partículas de no más de 10 cm de diámetro principal. Las que en seguida y solo por gravedad caen al molino primario que es de tipo hammer, el cual granula el material hasta partículas de no más de 6 mm (como granos de arroz).

Algo que se debe resaltar y que es fundamental para el proyecto es que en esta etapa se desperdicia materia prima por las mermas de la operación de molienda; es difícil de controlar por completo las fugas de material de la maquinaria; lo que provoca una merma neta de alrededor de 2% de mineral. Cuantificado en planta por medio de pesada directa en base a los ciclos de producción.

La planta produce de lunes a viernes las 24 horas, parando a las 8 horas del sábado, durante las que se realiza 4 lotes más, haciendo un total de 295 lotes por mes como promedio.

Una vez obtenido el material granulado con una granulometría mínima al 86% de partículas con longitud característica de 6 mm estas son acopiadas en silos y transportadas por elevadores de cangilones al silo de almacenamiento y posterior a la tolva de dosificación de material al proceso de calcinación.

Como se aprecia en el bosquejo, el material por medio de un tornillo sin fin pasa de la tolva, en una cantidad estándar al horno rotatorio tipo marmita horizontal para que la materia prima sea calcinada y desprenda el segundo residuo potencialmente valioso del proceso; el vapor de agua.

Para producir el requerimiento de 3,5 toneladas por hora de yeso beta es necesario emplear 4,2 toneladas de mineral, de donde aproximadamente se emite al medio alrededor de 0,7 toneladas de vapor de agua.

El mineral en el interior del horno debe ser calentado de manera indirecta hasta alrededor de los 135 °C, punto en el que el Dihidrato inicia su transformación a Hemihidrato de manera constante mientras exista una atmosfera de humedad y quede en la mezcla no más de un 3 por ciento de mineral sin calcinar, por lo cual esta temperatura debe estar estrictamente controlada según la temperatura de calentamiento de la plancha del horno que esta alrededor de los 400 °C.

Si la temperatura de calcinación excede los 170 °C el mineral pasa de Dihidrato a Anhidrita lo que confiere patologías al producto acabado, cuando es instalado en obra (rajaduras).

Pasado el tiempo de calcinación, el producto bruto se descarga del horno hacia una buzón de almacenamiento, de donde pasa a la molienda fina en caliente para finalmente pasar al silo de producto terminado y de ahí al dosificador para el correspondiente embolsado también en caliente.

### **3.2.2. Datos de la materia prima y el producto**

Mediante reglamentación hecha por SENARECOM (entidad pública descentralizada, dependiente del Ministerio de Minería y Metalurgia, encargada de la regulación y control de las actividades de comercialización interna y externa de minerales y metales en el Estado Plurinacional de Bolivia) se ha establecido que el mineral Aljez o piedra de yeso al estado mineral extraído vale alrededor de Bs 160,00 con variaciones que hacen hasta un precio de Bs 250 la tonelada transportada hasta la planta del productor de yeso beta (SENARECOM, 2023).

Este material para ser aplicado debe contar con un índice de pureza superior a 92%, según Norma Boliviana NB – 122004, para ser considerado como buena materia prima para el proceso y que su costo sea justificado (©IBNORCA, 2013).

El índice de pureza es la relación existente en porcentaje de la cantidad de sulfato de calcio Dihidratado presente en el mineral.

Cuando un mineral de alta pureza ingresa a la calcinación, el producto suele ser también de alta calidad, estando por encima del 86 %, siendo considerado como buen producto terminado.

Este producto acabado para el mercado mayorista (los que adquieren por grandes pesos para luego expender por menor) tiene un precio que ronda los 40 centavos de boliviano por kilogramo como promedio de yeso beta embolsado, normalmente en sacos de 30 kilogramos a lo que se conoce comúnmente como fanega. Aunque también se presenta un saco sellado propio de la empresa con un peso de 40 kg y un precio de 45 centavos el kilogramo.

Este producto conocido en el mercado como estuco debe poseer un tiempo de fraguado de no más de 8 minutos, aunque esto no sea estándar a nivel mundial, ya que lo común fuera de Bolivia es que el yeso fragüe en un tiempo de alrededor de los 20 minutos como mínimo.

### 3.3. RESIDUOS APROVECHABLES DE LA MANUFACTURA DE YESO BETA

De la sistematización del proceso mecanizado de producción de yeso beta se encontró dos residuos abundantes y con gran potencial para su aprovechamiento, estos son: i) las mermas de mineral de las operaciones de conminución y ii) el vapor de agua emitido a la atmosfera que provienen del proceso de calcinación.

#### 3.3.1. Residuo de mineral de las operaciones de conminución

Al analizar los sistemas individuales de la empresa dentro la planta de producción se observó continuamente que hay una salida de material crudo de las operaciones de molienda, y también existe pérdidas menores de mineral en las operaciones de transporte de la misma, además de los finos retomados del ciclón.

Para la cuantificación del residuo de mineral se empleó mediciones en intervalos regulares de tiempo en solamente la chancadora y el molino hammer. De esta cuantificación por peso directo en cada ciclo de producción, empleando una balanza se obtuvo los siguientes datos, con tres decimales leídos de la balanza:

Tabla 9. Pesos de residuo de mineral de la chancadora en kilogramos por ciclo.

Nº de ciclo	1	2	3	4	5	6	7
Merma de mineral en la chancadora expresado en kg/ciclo	46,378	47,427	42,077	46,454	43,594	49,739	46,213
Nº de ciclo	8	9	10	11	12	13	
Merma de mineral en la chancadora expresado en kg/ciclo	47,488	49,519	41,863	42,923	44,165	42,432	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 10. Pesos de residuo de mineral del molino en kilogramos por ciclo.

Nº de ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Merma de mineral en el molino expresado en kg/ciclo	41,561	38,101	48,032	41,660	39,372	41,255	40,020	42,084	47,790

Fuente. Elaboración propia.

El mineral residual se observa que tienen una granulometría promedio, justo para ser empleada como yeso agrícola (denominativo que se le da al mineral de yeso que es empleado como enmienda de suelos para siembra) como se muestra en la figura.



Figura 16 Muestra de mineral residual en el sector de chancado y molienda.  
Fuente. Elaboración propia.

### 3.3.2. Vapor de agua emitido a la atmosfera

Para realizar el estudio de cuanto vapor se emite por calcinación a la atmosfera se tuvo que emplear un modelo de escala Bench, banco o de prueba del sistema de calcinación, debido a que era muy complicado realizar inversiones e implementación de maquinaria extra en planta, este modelo es una copia a escala del horno original y su fin principal fue para modelamiento del horno industrial, por lo cual fue ideal para realizar el estudio presentado.

Este modelo consta de un ciclón por donde se realiza la fuga del vapor luego de eliminar la mayor cantidad de finos arrastrados; el modelo se muestra en las siguientes imágenes.



Figura 17 Horno modelo para estudio del vapor.  
Fuente. Elaboración propia.



En la siguiente imagen se puede observar el desprendimiento de vapor de agua del ciclón de escala Bench al realizar el proceso de calcinación.



Figura 18 Vapor emitido del ciclón a partir del proceso de calcinación de yeso a escala Bench.  
Fuente. Elaboración propia.

Para la recolección y cuantificación del vapor se necesitó montar un condensador de aletas y tubos a la salida del ciclón y el drenaje se recolectaba en una probeta tarada de plástico de un litro, por diferencia de peso se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 11. Masa de agua recuperada en kilogramos por ciclo de las pruebas a escala Bench, banco o de prueba.

Nº de ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8
Vapor de agua recuperado del proceso de calcinación expresado en kg/ciclo	0,766	0,811	0,964	0,698	0,877	0,831	0,927	0,806
Nº de ciclo	9	10	11	12	13	14	15	
Vapor de agua recuperado del proceso de calcinación expresado en kg/ciclo	0,853	0,901	0,927	0,709	0,708	0,828	0,773	

Fuente. Elaboración propia.

El proceso modelo emplea 6 kilogramos de Aljez de los cuales se obtiene 5,059 kg de yeso y 0,030 kg de finos; estos valores son promedios de las diferentes experiencias realizadas.


La temperatura del agua recolectada fue en promedio 56 °C y la del vapor original cerca a los 88 °C; como el intercambiador funciona con aire atmosférico (convección natural y ligeras briznas de viento), la temperatura promedio del ambiente de 15 °C llegó hasta 25 °C en el aire circundante al intercambiador. Todas las medidas fueron realizadas con termómetro de sobremesa.

### 3.3.3. Implemento para la toma de datos

A continuación, se presenta el equipo más importante para la toma de datos.

Tabla 12. Balanza de 50 kg.


<b>Balanza Digital 50 kg “B-50T/Ventus”</b>	
<b>Categoría</b>	BALANZAS
<b>Modelo:</b>	B-50T
<b>Capacidad:</b>	50 kg +/- 0,001 Kg
<b>Dimensión:</b>	430 mm Alto x 370 mm Ancho x 370 mm Fondo
<b>Sinónimos:</b>	Pesa. Bascula, Balanza de Supermercado
<b>Otros:</b>	Pantalla Led/Lcd más luz con indicador ambas caras
<b>Peso:</b>	19,040 kg.



Fuente. Elaboración propia en base datos del equipo.

Tabla 13. Termómetro de sobremesa de 12 canales.

<b>Termómetro de sobremesa con barrido de 12 canales Digi-Sense</b>	
Tipo de medición del medidor	Par termoeléctrico
Número de canales de sonda	12
Tipos de sondas aceptadas	Tipo K
Temperatura mínima (° C)	-250
Temperatura máxima (° C)	1800



Fuente. Elaboración propia en base a datos del equipo.

### 3.4. POSIBLE PRODUCTO DE LA MERMA DE MINERAL

Del residuo de mineral, nace la posible idea de producir Yeso agrícola, que no es otra cosa que el mineral de yeso o Aljez que se puede utilizar como fertilizante, enmienda de suelos o como carga aditiva para algún otro proceso como el de cemento. Su composición varía de 17 a 20 % de Calcio expresado como óxido de calcio, de 14 a 18 % de azufre, de 1 a 3% de Magnesio expresado como oxido de magnesio y de 5 a 10% de Silicio expresado como sílice. Granulometría basada en malla 100 o 0,15 mm de longitud característica (Miranda Montaña, 2017).

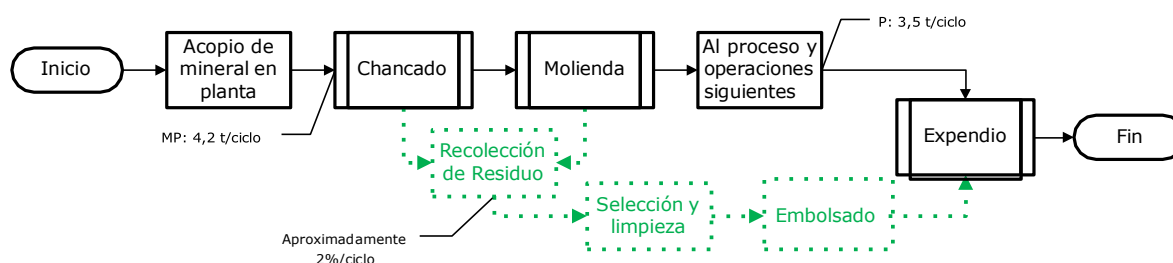


Figura 19 Diagrama de generación de residuo de mineral.  
Fuente elaboración propia.

En la figura 19 se aprecia que de las operaciones de chancado y molienda se obtiene el residuo, que después de ser seccionado y limpiado es embolsado para su expendio. De ahí el uso que se le pueda proporcionar esta fuera de la presente propuesta, aunque como indicio, puede ser aplicado principalmente como yeso agrícola y como los demás productos indicados anteriormente.

La cantidad de yeso agrícola por hectárea de suelo varía de 2 a 5 toneladas según el requerimiento, que lo hace rentable. Su precio en el mercado oscila, dependiendo la calidad y características, en un monto de alrededor de 280,00 Bs por cada tonelada. Al expendio también está el saco de 25 kg, con un precio de 47,00 Bs (Calco Bolivia, 2023).

### 3.5. POSIBLE PRODUCTO DE LA EMISIÓN DE VAPOR DE AGUA

Del vapor que se emite a la atmósfera se puede obtener un tipo de agua denominado Burton, que no es otra cosa que agua que estuvo en contacto con sulfato de calcio principalmente. Este tipo de agua se emplea para preparar cerveza y también puede ser empleada como agua de recreación – esparcimiento, terapéutica, limpieza – riego y para consumo animal. La composición de este tipo de agua en calcio como ion es de 150 partes por millón, 160 partes por millón en ion sulfato, entre los iones más abundantes, tomados como promedio (Strong & England, 2015).

El precio del agua para fines prácticos se considerará, equiparándola al tipo de agua residencial e industrial según la siguiente tarifa:

Categoría industrial. Cargo máximo de 40,00 bolivianos por metro cúbico.

Categoría residencial R1. Cargo mínimo de 1,70 bolivianos el metro cúbico.

Datos extractados de SEMAPA Cochabamba (Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillad, 2023).

En la siguiente figura 20 se aprecia que del proceso de calcinación se obtiene el vapor de agua, que luego de pasar por el ciclón para eliminar los sólidos finos debe condensar, y almacenarse en la piscina de acopio para su posterior expendio. De ahí el uso que se le pueda proporcionar esta fuera de la presente propuesta, aunque de igual manera que con el residuo de mineral se da como indicio, principalmente como agua de riego y lo demás indicado anteriormente.

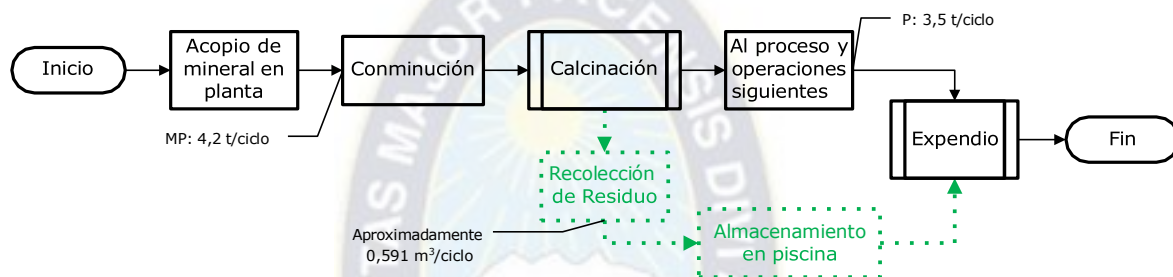


Figura 20 Diagrama de generación de residuo de la calcinación (agua de roca)  
Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, la recuperación del residuo de mineral de yeso y agua del proceso de calcinación es una práctica beneficiosa que puede mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de la empresa MhalexTec, al tiempo que reduce el impacto ambiental y promueve la economía circular, sin dejar de lado la rentabilidad.

**CAPÍTULO IV**  
**SOLUCIÓN Y APLICACIONES PROYECTADAS**



#### 4.1. INTRODUCCIÓN A LA SOLUCIÓN

La implementación de principios de residuo cero en el proceso de recuperación del mineral residual de yeso y agua del proceso de calcinación con lineamientos de Economía Circular y Logística Verde implicaría la adopción de estrategias y prácticas que buscan minimizar la generación de residuos valga la redundancia, maximizar la reutilización y reciclaje de materiales, además minimizar la disposición de desechos llamados comúnmente basura.

#### 4.2. ANÁLISIS TÉCNICO DE DATOS

A partir del diagnóstico realizado a los dos residuos de la producción de yeso beta se realiza un análisis que nos permita estimar el balance de masa industrial de los citados residuos, para lo cual se utilizará intervalos de confianza para determinación de las mermas.

##### 4.2.1. Determinación de la merma de mineral

Empleando los datos de merma de la chancadora, y efectuando la estimación por intervalo de confianza según la ecuación 1, se obtendrá el valor verdadero de la merma.

$$\mu = X_m \pm t_{(\alpha, v)} \frac{S}{\sqrt{n}} \Rightarrow \mu = X_m \pm E_x \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde  $\mu$  es el valor verdadero o promedio de la población.

Tabla 14. Estadísticos de la merma en la chancadora en kg por ciclo.

Promedio	Desviación típica	Número de datos	Grados de libertad
<b>Xm</b>	<b>S</b>	<b>n</b>	<b>v</b>
45,406	2,743	13	12
kg	kg		
Nivel de confianza	significancia	t de Student	Error del promedio
<b>NC</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>t</b>	<b>E<sub>xm</sub></b>
0,95	0,05	2,179	1,657
			kg

Fuente. elaboración propia

$$M_{Ch} = 45,406kg \pm 1,657kg$$

Realizando el mismo procedimiento para la merma en el molino expresado en kg por ciclo se tiene:

$$M_{Mo} = 42,208kg \pm 2,669kg$$

Sumando ambas mermas tomadas de un ciclo de producción se obtiene la pérdida total de mineral, además se considera sumativo el error.

$$M_0 = 87,614kg \pm 4,326kg$$

Cálculo del porcentaje de merma en base al mineral "A = 4200 kg" empleado por cada calcinación.

$$\%M_0 = \frac{M_0}{A} * 100$$

Ecuación 2.

$$\%M_0 = \frac{87,614kg}{4200kg} * 100 \quad \%M_0 = 2,09$$

Cálculo de la cantidad de merma de mineral diario y semanal, en función a la producción diaria de 13 lotes.

$$13 \frac{\text{lote}}{\text{día}} \frac{1\text{ciclo}}{1\text{lote}} \frac{87,614kgM_0}{1\text{ciclo}} = 1138,982 \frac{kgM_0}{\text{día}}$$

Trabajo de lunes a viernes

$$1138,982 \frac{kgM_0}{\text{día}} \frac{5\text{día}}{L-V} = 5694,91 \frac{kgM_0}{L-V}$$

Trabajo de sábado, 4 lotes

$$4 \frac{\text{lote}}{\text{sábado}} \frac{1\text{ciclo}}{1\text{lote}} \frac{87,614kgM_0}{1\text{ciclo}} = 350,456 \frac{kgM_0}{\text{sábado}}$$

Trabajo por semana laboral

$$5694,91 \frac{kgM_0}{L-V} + 350,456 \frac{kgM_0}{\text{sábado}} = 6045,366 \frac{kgM_0}{\text{semana}}$$

Cálculo de la cantidad de merma de mineral mensual y anual  
 $6045,366 \text{ kg}M_0 \cdot 4,3 \text{ Semana} = 25995,074 \text{ kg}M_0 \left( \frac{tM_0}{\text{mes}} \right)$

$$\frac{\text{semana}}{1 \text{ mes}} \quad \frac{\text{mes}}{\text{mes}}; \left( \frac{26}{\text{mes}} \right)$$

$25995,074 \text{ kg}M_0 \cdot 12 \text{ mes} = 311940,886 \text{ kg}M_0 \left( \frac{tM_0}{\text{año}} \right)$

$$\frac{\text{mes}}{1 \text{ año}} \quad \frac{\text{año}}{\text{año}}; \left( \frac{312}{\text{año}} \right)$$

#### 4.2.2. Determinación de la recuperación de agua

Con los datos del agua recuperada por ciclo en el proceso a escala Bench, banco o de prueba, y efectuando la estimación por intervalo de confianza según la ecuación 1, se obtuvo el siguiente intervalo.

$$W_w = 0,825 \text{ kg} \pm 0,047 \text{ kg}$$

Cálculo de la recuperación teórica de agua

$$W_{w,T} = A - Y - F = 6,000 \text{ kg} - 5,059 \text{ kg} - 0,030 \text{ kg} = 0,911 \text{ kg}H_2O$$

Cálculo del porcentaje de recuperación de agua por ciclo.

$$\%R_w = \frac{W_w}{W_{w,T}} * 100 \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$\%R_w = \frac{0,825 \text{ kg}}{0,911 \text{ kg}} * 100 \quad \%R_w = 90,56$$

Cálculo del escalamiento de agua recuperada por ciclo para la producción industrial por día

$$4,2 \frac{t \text{ Aljez}}{\text{ciclo}} \frac{1 \text{ ciclo}}{1 \text{ lote}} \frac{13 \text{ lote}}{1 \text{ día}} \frac{1000 \text{ kg Aljez}}{1 t \text{ Aljez}} \frac{0,825 \text{ kg}H_2O}{6 \text{ kg Aljez}} = 7507,5 \frac{\text{kg}H_2O}{\text{día}}$$

Densidad del agua a la temperatura promedio de la operación de condensación

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{88^\circ C + 56^\circ C}{2} = 72^\circ C \quad \rho = 976,47 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



Cálculo del volumen de agua recuperada por día y semana

$$7507,5 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{día}} \frac{1\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{976,47\text{kgH}_2\text{O}} = 7,688 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{día}}$$

$$7,688 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{día}} \frac{1\text{día}}{13\text{ciclo}} = 0,591 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{ciclo}}$$

Trabajo de lunes a viernes

$$7,688 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{día}} \frac{5\text{día}}{\text{L-V}} = 38,44 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{L-V}}$$

Trabajo de sábado, 4 lotes

$$4 \frac{\text{lote}}{\text{sábado}} \frac{1\text{ciclo}}{1\text{lote}} \frac{0,591\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{1\text{ciclo}} = 2,366 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{sábado}}$$

Trabajo por semana laboral

$$38,44 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{L-V}} + 2,366 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{sábado}} = 40,81 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{semana}}$$

Cálculo de la cantidad recuperada de agua mensual y anual

$$40,81 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{semana}} \frac{4,3\text{Semana}}{1\text{mes}} = 176 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{mes}}$$

$$176 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{mes}} \frac{12\text{mes}}{1\text{año}} = 2112 \frac{\text{m}^3\text{H}_2\text{O}}{\text{año}}$$

### 4.3. PROPUESTA

La propuesta es poder implementar principios de residuo cero en base a lineamientos de economía circular y la logística verde, que se fundamentan en otros tópicos descritos en el marco teórico, para mejorar el impacto ambiental y la rentabilidad de la empresa MhalexTec; ahora serán plasmados para establecer un producto de tesis.

#### **4.3.1. Aplicación de lineamientos de logística verde en base a economía circular**

Los lineamientos de logística verde, donde se prioriza la reducción de residuos en base a economía circular para exclusivamente las secciones de molienda y calcinación de mineral; busca hacer sostenible esta propuesta.

Algo de remarcar, es que la prioridad es aprovechar la mayor cantidad de residuos por encima de generar utilidad o reducir tiempos de ejecución y costos; pese a que se espera obtener rentabilidad.

##### **4.3.1.1. Conformación de equipo por niveles**

Para la propuesta se aplicarán tres niveles de equipos que satisfagan las necesidades de implementación. Estos niveles de aplicación son:

Nivel 1. Únicamente el desarrollador de la propuesta forma parte del proceso.

Nivel 2. El desarrollador y los operarios de la sección en análisis forman parte del proceso.

Nivel 3. El desarrollador, los operarios y clientes participan en el proceso.

La comunidad, los organismos públicos, y demás partes interesadas participan en cualquiera de los 3 niveles definidos, pero principalmente en el nivel 3.

No es necesario el pago de herramientas tecnológicas, ni de arduas y largas capacitaciones para llegar a aplicar esta propuesta. Lo que es necesario es el deseo de hacer un cambio, mejorar las prácticas existentes, optimizar y crecer como empresa buscando aportar positivamente al planeta e incursionar en el modelo de economía circular y logística verde.

##### **4.3.1.2. Matriz de roles**

Deben existir al menos dos responsables en las secciones en cuestión, con su respectivo rol definido; por ejemplo, el colector de residuo y el encargado de registro, siendo el colector encargado de disponer de los residuos y el encargado de registro hará su cuantificación y clasificación en sitio.

Los roles se pueden compartir, pero no puede recargarse más de un 50% a un solo responsable. Cada rol se puede detallar a conveniencia, según el plan de acción a definir por el encargado del proyecto.

Tabla 15. Matriz de roles para el residuo de mineral.

Actividad	Rol/Responsable	Desarrollador	Colector 1	Colector 2	Registrador
1	Centro de acopio en planta	1	0	0	0
2	Maquinaria de recolección	0	1	1	0
3	Cuantificación de materia	0	0	0	1
4	Transporte de residuos	0	1	1	0
5	Pretratamiento de residuos	1	0	0	0
6	Búsqueda de clientes	0	0	0	1
7	Envasado	0	1	1	1
8	Registro de costos	0	0	0	1
<b>Responsabilidad en porcentaje</b>		<b>16,67</b>	<b>25,00</b>	<b>25,00</b>	<b>33,33</b>

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16. Matriz de roles para el agua recuperada.

Actividad	Rol/Responsable	Desarrollador	Colector 1	Colector 2	Registrador
1	Centro de acopio en planta	1	0	0	0
2	Maquinaria de recolección	0	1	1	0
3	Cuantificación de materia	0	0	0	1
4	Transporte de agua recuperada	0	1	1	0
5	Pre tratamiento de agua	1	0	0	0
6	Búsqueda de clientes	0	0	0	1
7	Envasado	0	1	1	1
8	Registro de costos	0	0	0	1
<b>Responsabilidad en porcentaje</b>		<b>16,67</b>	<b>25,00</b>	<b>25,00</b>	<b>33,33</b>

Fuente. Elaboración propia.

El porcentaje de responsabilidad se calcula con la cantidad de responsabilidades asumidas por una persona dividida entre la cantidad de responsabilidades total de todos los responsables. Ejemplo desarrollador:  $2/12 \cdot 100 = 16,67\%$ .

#### 4.3.1.3. Identificación, valorización y cuantificación de residuos

En el capítulo anterior se planteó los residuos que serán aprovechados. Para control se plantea la tabla que muestra la base de logística verde:

Tabla 17. Residuos del proyecto

Residuo	Valorizable	Reciclable	Cantidad estimada	Unidad	Observaciones
Merma de mineral	Si	Si	26	t/mes	Residuo sólido (mineral) para yeso agrícola
Emisión de vapor de agua	Si	Si	176	m <sup>3</sup> /mes	Residuo líquido (condensado de vapor de agua) para preparar cerveza y también puede ser empleada como agua terapéutica y de esparcimiento, además de agua para ganado.

Fuente. Elaboración propia.

Los residuos fueron cuantificados por medición directa en planta y por modelamiento a escala Bench de banco o de prueba, como se indicó en el diagnóstico.

#### 4.3.1.4. Manejo de residuos

Cada residuo, tendrá dos opciones de manejo, es decir, los clientes lo utilizan, o lo reciben para disponerlo de manera final (relleno sanitario).

Lo óptimo es que sean comprados y empleados y no acaben como desperdicio en un relleno sanitario.

Tabla 18. Manejo de residuos

Residuo	Cliente tipo 1	Cliente tipo 2	Notas
Merma de mineral	Empresarios dedicados a la agricultura	Empresa dedicada a la disposición final	Se debe avisar al número de contacto especificado de cada cliente
	Empresarios dedicados a la enmienda de suelos		
	Empresarios dedicados a la fabricación de cargas y aditivos		
Emisión de vapor de agua	Empresarios dedicados a la producción de cerveza artesanal e industrial	Empresa dedicada a la disposición final	Se debe avisar al número de contacto especificado de cada cliente
	Alcaldía para fines de riego		
	Propia empresa para aseo y esparcimiento		
	Plantas de tratamiento		

Fuente. Elaboración propia.

De la tabla, la mejor opción para la logística verde y para la economía circular es el aprovechar los residuos y no así la disposición final.

**4.3.1.5. Minimización de residuos bajo lineamientos de economía circular**

Si bien los residuos posiblemente generen ingreso para la empresa por su venta a clientes, también se debe proponer trabajo, para reducir la cantidad generada de estos en lo posible en el marco del desarrollo sostenible, que juega un papel vital en la logística verde y la economía circular. Para ello, deben identificarse las causas de la generación del residuo, y especificar el efecto principal para proponer soluciones que coadyuben la disminución de dichas causas, haciendo buenas prácticas de manufactura y producción más limpia PML.

Tabla 19. Medidas de optimización de generación de residuos.

<b>Residuo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Medidas de optimización</b>
Merma de mineral	Triturado de mineral	Sellado de fugas de la chancadora
	Alimentación a la chancadora	Recuperación de la merma de la zaranda previa a la chancadora
	Molienda del mineral	Sellado de fugas del molino
Emisión de vapor de agua	Calcinación de mineral	Ninguna, es un residuo intrínseco del proceso, debido a que en realidad es un sub producto del mismo. La pseudo medida a emplear sería, aprovechar al máximo el agua de roca.

Fuente. Elaboración propia.

En base a las características de la materia prima se plantea el siguiente diseño experimental. El cual es de tipo asimétrico y fue optimizado a 13 mediciones.

Tabla 20. Factores para establecer la reducción de merma de mineral.

	<b>Factores</b>		
	<b>Tamaño de MP TMP "A"</b>	<b>Humedad H "B"</b>	<b>Operario Op "C"</b>
<b>Niveles</b>	40	18	Atento
	30	20	Distraído
	20	22	

Fuente. Elaboración propia.

Resumen del diseño factorial, asimétrico y fraccionario; (ver anexo A1)

Significancia: 0,05      Factores: 3      Réplicas: 1  
 Corridas base: 18      Total de corridas: 13

En la figura presentada a continuación, se observa un resumen del análisis ANOVA, donde se puede apreciar que los factores más significativos son el operario y el tamaño de mineral, aunque la interacción tamaño de material – humedad y solamente humedad no están lejos del valor crítico. Por lo cual se concluye que los factores elegidos son responsables directos de la merma de mineral en la operación de chancado.

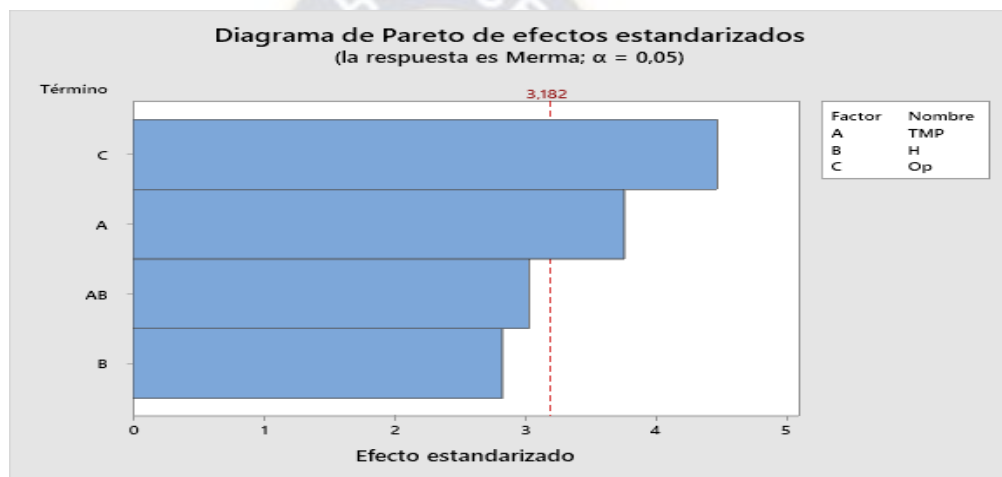


Figura 21 Análisis estadístico del diseño factorial, para la reducción de merma. Fuente. Elaboración propia en base a MINITAB (Trial)



Figura 22 Análisis de niveles, para la reducción de merma de mineral. Fuente. Elaboración propia en base a MINITAB (Trial).

Se aprecia de la figura anterior, que los niveles óptimos de operación para chancado son: Tamaño de materia prima 30 cm, Humedad 18 % y Operario que debe estar atento a su trabajo.

El análisis realizado es frío, respecto a la técnica, especialmente para el factor tamaño de materia prima, ya que esta no puede ser específicamente de 30 cm pues eso encarecería el producto, por lo cual se recomienda en lo posible ese tamaño, pero no es de carácter restrictivo para la operación de chancado. Respecto al factor humedad, se aprecia que, con la disminución de la misma, se puede reducir la merma. Respecto al operario se observa que si este, está atento a su labor la merma reduce significativamente, debido a que el operario evita fuga de mineral.

Un análisis idéntico se recomienda para la operación de molienda y otro similar para mejorar la recuperación de agua.

#### **4.3.1.6. Identificación del periodo de aplicación de la propuesta**

Se debe crear un cronograma de generación de residuos. Esto para identificar la etapa crítica de la propuesta, donde se deben asignar recursos, espacios para acopio, transporte para su expendio y en el caso de no lograr la venta, transporte para la disposición final.

Para obtener un proyecto con un buen nivel de aplicación de economía circular, se debe indicar en dicho cronograma cuanto tiempo dura ese residuo en ser reciclado, reutilizado, o valorizado, de esta manera se mide el impacto que tendrá cada actividad y ver si hay medidas que se pueden tomar para reducir el mismo (ver anexo A1), o bien cambiar el producto a utilizar por uno que tenga un ciclo de vida más aprovechable.

Este análisis contempla su implementación en un año de operación de la empresa, aplicando un plan de medidas para mitigar la generación de los residuos y manejar adecuadamente los mismos durante la operación de la propuesta.

Para el análisis se supondrá un año de funcionamiento de la empresa bajo el modelo propuesto en los anteriores acápites.

Tabla 21. Cronograma del periodo de aplicación de la propuesta.

Residuo	Actividad	tiempo en meses											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Merma de mineral	Tiempo de generación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tiempo de expendio	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tiempo de reciclado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tiempo de rehúso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tiempo de reducción al máximo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Emisión de vapor de agua	Tiempo de generación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tiempo de expendio	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tiempo de reciclado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tiempo de rehúso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente. Elaboración propia.

Del cronograma se puede observar que la generación de los residuos por la naturaleza del proceso es muy complicado de poder eliminar, ya que solo se puede optimizar a un mínimo de generación, el cual no podrá ser rebasado en el caso de la merma de mineral y para el caso del vapor emitido este no será posible de reducir porque el proceso demanda la separación de un cantidad estricta de humedad del mineral para poder obtenerse el producto deseado, con lo cual los tiempos de aplicación para la propuesta son de año redondo a lo largo de la vida útil de la empresa.

**4.3.1.7. Metodología de ejecución y control del proyecto**

Esta etapa propone la forma de ejecución de la metodología y su respectivo control. Se hace una idealización que el director del proyecto debe asumir y controlar toda la metodología ligada al cronograma generado y a los roles definidos, de tal manera que no se recarguen sobre una sola persona.

Para tener un porcentaje de cumplimiento aceptable, las medidas planteadas tienen que ser aplicables sin generar conflictos o resistencia dentro de la ejecución de la obra. Para llevar dicho control, se propone la tabla mostrada a continuación, donde se ejemplifica las actividades según el residuo.



Tabla 22. Control para fines de demostración de la propuesta.

Residuo	Posible producto	Acción	¿Se cumplió?	Porcentaje de Cumplimiento	Responsable
Merma de mineral	Yeso agrícola	Expendio	Si	100	Ventas
	Yeso para enmienda de suelos	Expendio	Parcialmente	20	Ventas
	Yeso como carga o aditivo	Expendio	Parcialmente	10	Ventas
	Transporte a relleno sanitario	Disposición final	No	0	Jefe de Medioambiente
Emisión de vapor de agua	Agua tipo Burton	Expendio	Parcialmente	15	Ventas
	Agua de recreación	Expendio	Si	100	Jefe de Planta
	Agua de limpieza y riego	Expendio	Si	100	Jefe de Planta
	Agua para ganado	Expendio	Si	100	Ventas

Fuente. Elaboración propia.

En caso de obtener una calificación muy baja, se debe tomar como aprendizaje los puntos en los cuales se fallaron, para en un futuro proyecto mejorar las medidas o bien garantizar el cumplimiento de las mismas durante el proceso. Excepto para el transporte a relleno sanitario que deberá ser 0 en el mejor de los casos. Esta evaluación se debe realizar en diferentes etapas del proyecto.

Debe haber mínimo dos evaluaciones por gestión, de esta manera se pueden realizar acciones necesarias para mejorar el porcentaje de cumplimiento mediante acciones correctivas.

#### 4.4. EVALUACIÓN FINANCIERA DE DATOS

Bajo el hecho de que la empresa ya consolidada obtiene beneficio del total de ventas por un valor de alrededor de 361 375,00 Bs por mes, se muestra que, si se expende el subproducto esperado del residuo de mineral como yeso agrícola y el beneficio sustantivo de la recuperación de agua, la rentabilidad estaría asegurada, además de la mejora del impacto ambiental.

**4.4.1. Rédito por el producto del residuo de mineral**

Asumiendo la venta total del residuo de mineral como yeso agrícola se obtendría el siguiente flujo económico en función a un mes.

$$I_{M_0} = 26 \frac{tM_0 \ 280,00Bs}{mes \ 1tM_0} = 7\ 280,00 \frac{Bs}{mes}$$

Nótese que este monto actualmente, es el que la empresa pierde por la merma como tal.

**4.4.2. Beneficio por el agua recuperada**

Este beneficio será considerado de manera sustantiva, es decir considerando además del ingreso económico, también el beneficio ambiental y social que genera obtener agua de una fuente alternativa como lo es el agua de roca.

El flujo económico está basado en un mes y con la tarifa máxima industrial.

$$I_{W_0} = 176 \frac{m^3H_2O \ 40,00Bs}{mes \ 1m^3H_2O} = 7\ 040,00 \frac{Bs}{mes}$$

Este valor monetario del residuo, que, si bien no es contemplado en la empresa en la actualidad, es importante en torno a su aplicabilidad, porque el agua es un recurso muypreciado para el ser humano.

**4.4.3. Beneficio integral por los productos obtenidos de los residuos**

El beneficio integral es la suma de los dos anteriores, englobando a los productos y los beneficios ambientales y sociales descritos en el primer capítulo.

$$I_0 = I_{M_0} + I_{W_0} \quad I_0 = 7\ 280,00 \frac{Bs}{mes} + 7\ 040,00 \frac{Bs}{mes} \quad I_0 = 14\ 320,00 \frac{Bs}{mes}$$

Este análisis es solamente demostrativo y preliminar, ya que no se contempla los costos y gastos que conlleva su implementación, lo que en el próximo acápite se indagará bajo.

La siguiente tabla muestra valores considerando un 100 % de ventas de los subproductos posibles obtenidos de los residuos, es decir yeso agrícola y agua de roca.

Tabla 23. Venta de los residuos como subproductos.

<b>Residuo</b>	<b>Materia</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario en Bs por tonelada de mineral y por metro cubico de agua</b>	<b>Asumiendo la venta del 100 % del stock en Bs/año</b>
Merma de mineral	26	t/mes	280,00	87 360,00
Emisión de vapor de agua	176	m <sup>3</sup> /mes	40,00	84 480,00
<b>total</b>				<b>171 840,00</b>

Fuente. Elaboración propia.

Como dato adicional para la propuesta, se presenta el porcentaje generado por venta de los residuos en base a la venta neta de la empresa por el yeso beta.

Tabla 24. Porcentaje de ventas del residuo comparado con el yeso.

<b>Ventas totales de Yeso en la empresa en Bs/mes</b>	<b>% de ventas subproductos a base de residuos respecto a la venta total de yeso</b>
361 375,00	3,96

Fuente. Elaboración propia.

#### **4.5. ASIGNACIÓN DE RECURSOS**

Los recursos económicos deben asignarse para lograr cumplir las metas; esta inversión debe llevarse a cabo para compra de herramientas, maquinaria y edificaciones o infraestructura para realizar el acopio del residuo y su pretratamiento, además de poder tener un centro de stock temporal. Respecto a gastos administrativos, se hará empleo del valor propio de la empresa Bs 15 300,00. En base a lo descrito se tiene la siguiente necesidad de recursos:

Tabla 25. Memoria de requerimientos.

Residuo	Recursos	descripción	cantidad	unidad	Costo unitario en Bs	costo directo en Bs
Merma de mineral	maquinaria	tolva de almacenamiento de 15 t	2	u	2 500,00	5 000,00
		dosificador de ensacado	2	u	1 250,00	2 500,00
	infraestructura	tinglado de 10 m <sup>2</sup>	1	u	4 200,00	4 200,00

Residuo	Recursos	descripción	cantidad	unidad	Costo unitario en Bs	costo directo en Bs
Emisión de vapor de agua	maquinaria	intercambiador de calor de flujo cruzado tipo radiador para convección natural	2	u	3 800,00	7 600,00
		Bomba de acero inoxidable de 2 HP	2	u	4 500,00	9 000,00
	infraestructura	Piscina de almacenamiento de 200 m <sup>3</sup>	1	estructura	2 400,00	2 400,00

Residuo	Recursos	descripción	cantidad	unidad	Costo unitario en Bs	costo directo en Bs
Merma de mineral	Mano de obra	operario	2	op	2 500,00	60 000,00
	transporte	combustible	50	l	3,74	2 244,00
	herramientas	Pala	2	u	60,00	120,00
		Carretilla	1	u	500,00	500,00
		Cepillo de limpieza	2	u	30,00	60,00
Residuo	Recursos	descripción	cantidad	unidad	Costo unitario en Bs	costo directo en Bs
Emisión de vapor de agua	Mano de obra	operario	1	op	2 500,00	30 000,00
	transporte	combustible	80	l	3,74	3 590,40
	herramientas	Kit de terrajas	1	kit	3500	3500
		Tubería de PVC de 1 in para agua caliente	6	barras (1 barra = 6 m)	80,00	480,00

Fuente. Elaboración propia en base a costos y presupuestos (ACP-2000, 2023).

En base a los activos de la tabla anterior se emplean los siguientes datos para el cálculo de depreciación.

Esta propuesta está planteada de tal manera que la asignación de recursos no conlleve mucha planificación, y se pueda efectivizar rápidamente, todo en busca de una mejora del manejo de los residuos y su reducción hasta cero.

Tabla 26. Datos para depreciación.

Residuo	vida útil en año	costo de mantenimiento en Bs/año	valor de salvamento
Merma de mineral	30	2750	500
	20	2625	250
	30	2710	420
Residuo	vida útil en año	costo de mantenimiento en Bs/año	valor de salvamento
Emisión de vapor de agua	15	2880	152
	20	2950	450
	30	2620	0

Fuente. Elaboración propia.

En la tabla 26 se emplea como valor de salvamento el precio en el cual el activo será vendido como chatarra al final de la vida útil de cada uno, contemplando solamente el valor principalmente del metal empleado en su construcción. También se aprecia que el costo de mantenimiento estará sumando un valor del 5 % del costo del activo nuevo, este porcentaje contempla: materiales y herramientas empleadas, transporte del personal mecánico a la planta, sustancias lubricantes y sobre ello la mano de obra empleada en el momento en que la maquinaria o equipo falle.

En la siguiente tabla se aprecia el cálculo de la depreciación por el método de la línea recta.

Tabla 27. Depreciación - método de la línea recta

Residuo	descripción	concepto	Periodo en años					
			0	1	2	3	4	5
Merma de mineral	tolva de almacenamiento de 15 t	Depreciación anual		Bs900,00	Bs900,00	Bs900,00	Bs900,00	Bs900,00
		valor en libros	5 000,00	Bs4 100,00	Bs3 200,00	Bs2 300,00	Bs1 400,00	Bs500,00
	dosificador de ensacado	Depreciación anual		Bs450,00	Bs450,00	Bs450,00	Bs450,00	Bs450,00
		valor en libros	2 500,00	Bs2 050,00	Bs1 600,00	Bs1 150,00	Bs700,00	Bs250,00
	tinglado de 10 m <sup>2</sup>	Depreciación anual		Bs756,00	Bs756,00	Bs756,00	Bs756,00	Bs756,00
		valor en libros	4 200,00	Bs3 444,00	Bs2 688,00	Bs1 932,00	Bs1 176,00	Bs420,00

Fuente. Elaboración propia

Tabla 27. Depreciación - método de la línea recta (Continuación)

Residuo	descripción	concepto	Periodo en años					
			0	1	2	3	4	5
Emisión de vapor de agua	intercambiador de calor de flujo cruzado tipo radiador para convección natural	Depreciación anual		Bs1 489,60	Bs1 489,60	Bs1 489,60	Bs1 489,60	Bs1 489,60
		valor en libros	7 600,00	Bs6 110,40	Bs4 620,80	Bs3 131,20	Bs1 641,60	Bs152,00
	Bomba de acero inoxidable de 2 HP	Depreciación anual		Bs1 710,00	Bs1 710,00	Bs1 710,00	Bs1 710,00	Bs1 710,00
		valor en libros	9 000,00	Bs7 290,00	Bs5 580,00	Bs3 870,00	Bs2 160,00	Bs450,00
	Piscina de almacenamiento de 200 m <sup>3</sup>	Depreciación anual		Bs480,00	Bs480,00	Bs480,00	Bs480,00	Bs480,00
		valor en libros	2 400,00	Bs1 920,00	Bs1 440,00	Bs960,00	Bs480,00	Bs0,00
	Depreciación anual total			Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60

Fuente. Elaboración propia

#### 4.6. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD

La capacidad que tiene la empresa para aprovechar los recursos a implementar y generar ganancias, estarán satisfechas cuando los ingresos sean lo necesariamente apreciables, es decir para no provocar pérdida en comparación a los gastos que son necesarios para llevar a cabo la propuesta. Tal situación se resume en el cálculo del punto de equilibrio para el flujo de efectivo, en base solamente a los residuos de la molienda (mineral) y calcinado de mineral (agua de piedra).

##### 4.6.1. Datos de la empresa MhalexTec

Previo a establecer el flujo de caja se extrajo datos necesarios para cubrir el requerimiento de dicho análisis, a partir de datos históricos de la empresa MhalexTec. Una vez implementada la propuesta, se inicia el acopio de los residuos y al final del periodo de prueba se dispondrá de la cantidad estimada para la venta.

Cabe recalcar que, si bien los residuos pueden ser empleados en diversas actividades, estas serán como si fueran una sola y así se contemplará el ingreso total, para realizar un balance económico más simple y entendible, expresado por año y en bolivianos según muestran las siguientes tablas.

Tabla 28. Datos base para el flujo de caja.

Concepto	Magnitud	Unidad
Tiempo de análisis del proyecto	5	año
Capacidad Máxima de Producción para Merma de Mineral "Mm"	312	t/año
Capacidad Máxima de Producción para Emisión de Vapor "Ev"	2112	m <sup>3</sup> /año
Capacidad Utilizada para años 1 - 2	X	
Capacidad Utilizada para años 3 - 4	Y	
Capacidad Utilizada para año 5	Z	
Precio Unitario por Venta de Merma de Mineral	280,00	Bs/t
Precio Unitario por Venta de Agua	40,00	Bs/m <sup>3</sup>
Tasa de Inflación anual - Bolivia a junio de 2024	3,84%	
Inversión Inicial en activos fijos	30 700,00	Bs
Salario mínimo nacional 2024	2 500,00	Bs/mes
Costo de Mano de obra anual	90 000,00	Bs/año
Incremento anual al salario mínimo en Bolivia 2024	5,85%	
Costo de mantenimiento anual	16 535,00	Bs/año
Incremento de costo de mantenimiento para años 2 - 3	2%	
Incremento de costo de mantenimiento para años 4 - 5	3%	
Gasto administrativo anual	15 300,00	Bs/año
Incremento de gasto administrativo	4%	
Gasto por ventas anual	5 834,40	Bs/año
Incremento de gasto por ventas	6%	
Impuesto a las utilidades de las empresas - IUE	25%	
Impuesto al Valor Agregado - IVA 13%	2%	
Impuesto a las transacciones - IT 3%	1%	
Tasa mínima de descuento	12,67%	

Fuente. Elaboración propia en base a datos de la empresa MhalexTec.

Primero se calculará el punto de equilibrio, para de esa manera obtener una línea base de los porcentajes de producción necesarios para no incurrir en pérdidas.

Tabla 29. Flujo de caja para el punto de equilibrio.

Cálculos de Producción						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Capacidad utilizada		80%	80%	83%	83%	100%
Producción merma de mineral		249	249	260	260	311
Producción emisión de vapor		1 684	1 684	1 760	1 760	2 108

Cálculos de Ingresos						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Precio Unitario merma de mineral		Bs280,00	Bs290,75	Bs301,92	Bs313,51	Bs325,55
Ingresos merma de mineral		Bs69 664,29	Bs72 339,39	Bs78 486,22	Bs81 500,09	Bs101 392,80
Precio Unitario emisión de vapor		Bs40,00	Bs41,54	Bs43,13	Bs44,79	Bs46,51
Ingresos emisión de vapor		Bs67 367,66	Bs69 954,58	Bs75 898,76	Bs78 813,27	Bs98 050,18
ingreso total		Bs137 031,95	Bs142 293,97	Bs154 384,98	Bs160 313,36	Bs199 442,98

Flujos de Efectivo Relevantes del Proyecto						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
<b>INGRESOS</b>	Bs0,00	Bs137 031,95	Bs142 293,97	Bs154 384,98	Bs160 313,36	Bs199 442,98
Ventas		Bs137 031,95	Bs142 293,97	Bs154 384,98	Bs160 313,36	Bs199 442,98
<b>EGRESOS</b>	Bs30 700,00	Bs133 455,00	Bs140 012,76	Bs146 930,63	Bs154 401,01	Bs162 282,05
Inversión Inicial	Bs30 700,00					
Mano de Obra		Bs90 000,00	Bs95 265,00	Bs100 838,00	Bs106 737,03	Bs112 981,14
Mantenimiento		Bs16 535,00	Bs16 865,70	Bs17 203,01	Bs17 719,10	Bs18 250,68
Gasto Administrativo		Bs15 300,00	Bs15 912,00	Bs16 548,48	Bs17 210,42	Bs17 898,84
Gasto por ventas		Bs5 834,40	Bs6 184,46	Bs6 555,53	Bs6 948,86	Bs7 365,80
Depreciación		Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60
Flujo de efectivo antes de impuestos	-Bs30 700,00	Bs3 576,95	Bs2 281,21	Bs7 454,35	Bs5 912,35	Bs37 160,93
- Impuestos		Bs5 005,19	Bs4 839,12	Bs6 495,14	Bs6 287,49	Bs15 273,52
+ Depreciación		Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60
+ Valor de rescate						Bs1 772,00
<b>FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	-Bs30 700,00	Bs4 357,35	Bs3 227,69	Bs6 744,81	Bs5 410,46	Bs29 445,01
periodos	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Recuperación de la Inversión		Bs4 357,35	Bs7 585,04	Bs14 329,85	Bs19 740,31	Bs49 185,32
VAN	Bs0,00	punto de equilibrio***				
TIR	12,67%	***Calculado mediante la herramienta SOLVER				

Fuente. Elaboración propia en base a datos de la empresa MhalexTec.

En resumen, la implementación de principios de residuo cero en el proceso de recuperación del mineral residual de yeso y agua del proceso de calcinación del mineral de yeso implica la adopción de medidas proactivas para minimizar la generación de residuos y promover la economía circular, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la eficiencia en la gestión de recursos como se intenta demostrar a continuación.



Tabla 30. Flujo de caja para la propuesta.

Cálculos de Producción						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Capacidad utilizada		80%	80%	90%	90%	100%
Producción merma de mineral		250	250	281	281	312
Producción emisión de vapor		1 690	1 690	1 901	1 901	2 112

Cálculos de Ingresos						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Precio Unitario merma de mineral		Bs280,00	Bs290,75	Bs301,92	Bs313,51	Bs325,55
Ingresos merma de mineral		Bs69 888,00	Bs72 571,70	Bs84 778,26	Bs88 033,74	Bs101 571,38
Precio Unitario emisión de vapor		Bs40,00	Bs41,54	Bs43,13	Bs44,79	Bs46,51
Ingresos emisión de vapor		Bs67 584,00	Bs70 179,23	Bs81 983,37	Bs85 131,53	Bs98 222,87
ingreso total		Bs137 472,00	Bs142 750,92	Bs166 761,63	Bs173 165,28	Bs199 794,25

Flujos de Efectivo Relevantes del Proyecto						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
<b>INGRESOS</b>	Bs0,00	Bs137 472,00	Bs142 750,92	Bs166 761,63	Bs173 165,28	Bs199 794,25
Ventas		Bs137 472,00	Bs142 750,92	Bs166 761,63	Bs173 165,28	Bs199 794,25
<b>EGRESOS</b>	Bs30 700,00	Bs133 455,00	Bs140 012,76	Bs146 930,63	Bs154 401,01	Bs162 282,05
Inversión Inicial	Bs30 700,00					
Mano de Obra		Bs90 000,00	Bs95 265,00	Bs100 838,00	Bs106 737,03	Bs112 981,14
Mantenimiento		Bs16 535,00	Bs16 865,70	Bs17 203,01	Bs17 719,10	Bs18 250,68
Gasto Administrativo		Bs15 300,00	Bs15 912,00	Bs16 548,48	Bs17 210,42	Bs17 898,84
Gasto por ventas		Bs5 834,40	Bs6 184,46	Bs6 555,53	Bs6 948,86	Bs7 365,80
Depreciación		Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60
Flujo de efectivo antes de impuestos	-Bs30 700,00	Bs4 017,00	Bs2 738,16	Bs19 831,00	Bs18 764,26	Bs37 512,20
- Impuestos		Bs5 128,41	Bs4 967,07	Bs9 960,60	Bs9 886,02	Bs15 371,88
+ Depreciación		Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60	Bs5 785,60
+ Valor de rescate						Bs1 772,00
<b>FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	-Bs30 700,00	Bs4 674,19	Bs3 556,69	Bs15 656,00	Bs14 663,84	Bs29 697,92
periodos	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Recuperación de la Inversión		Bs4 674,19	Bs8 230,88	Bs23 886,89	Bs38 550,73	Bs68 248,65
VAN	Bs12 652,05					
TIR	24%					
PR	3,74	año	mes			
		3	9			

beneficios	Bs0,00	Bs137 472,00	Bs142 750,92	Bs166 761,63	Bs173 165,28	Bs199 794,25
costos	Bs30 700,00	Bs138 583,41	Bs144 979,83	Bs156 891,23	Bs164 287,04	Bs177 653,93
VAN Beneficios	Bs568 549,33					
VAN Costos	Bs577 387,43					
RBC	0,98					

Fuente. Elaboración propia en base a datos de la empresa MhalexTec.

#### **4.6.2. Análisis de rentabilidad**

Aplicando las definiciones de periodo de recuperación, Valor actual neto, Tasa interna de retorno y relación beneficio costo se establecerá si la propuesta es viable para su ejecución.

De los resultados obtenidos en el flujo de caja, el análisis de rentabilidad se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 31. Análisis de rentabilidad.

<b>VAN</b>	<b>Bs 12 652,05</b>
<b>TIR</b>	<b>24 %</b>
<b>PR</b>	<b>3,74</b>
<b>RBC</b>	<b>0,98</b>

Fuente. Elaboración propia en base al flujo de caja para la propuesta.

Se aprecia que, con una producción y venta de los residuos de 80 % para el primer y segundo periodo; 90 % para el tercer y cuarto periodo además de 100 % para el quinto periodo, se tendría un atractivo escenario para la implementación.

De los resultados del punto de equilibrio se observa que si la producción y venta de los sub productos de los residuos de 80 % para el primer y segundo periodo; 83 % para el tercer y cuarto periodo y 100 % para el quinto periodo, se tendría un escenario sin pérdidas, pero también sin ganancias.

Si bien una meta es mejorar la rentabilidad de la empresa, se debe recordar que, para la economía circular y la logística verde, no es imprescindible obtener ganancias, sino más bien aportar con un compromiso social empresarial e impactar de manera positiva al medio, ya que es imperativo mejorara cualquier tipo de propuesta y tornarla sostenible en el tiempo, amigable con el medio y finalmente, si existe la posibilidad recién ahí generar rentabilidad.

#### **4.7. EVALUACIÓN AMBIENTAL**

La evaluación ambiental está sujeta a los beneficios implícitos que tiene la aplicación de lineamientos de economía circular y logística verde, para poder implementar principios de residuo cero de manera técnica y administrativa, considerando aspectos relativos a la

protección del medio ambiente en los sectores de molienda y calcinación de la planta MhalexTec, estrictamente hablando en la generación de residuos en los sectores mencionados de la empresa.

#### **4.7.1. Identificación de aspectos ambientales**

En el contexto de la propuesta presentada en la tesis, se abordan diversos aspectos ambientales relacionados con la implementación de principios de residuo cero, en base a lineamientos de economía circular y logística verde en la empresa MhalexTec; a continuación, se destacan los siguientes.

##### **4.7.1.1. Generación de residuos**

Se busca reducir la generación de residuos a través de la implementación de principios de residuo cero, promoviendo la reutilización, reciclaje y reincorporación de los residuos al proceso productivo y a otros posterior a su venta como yeso agrícola o carga aditiva.

##### **4.7.1.2. Eficiencia en el uso de recursos**

La economía circular se enfoca en maximizar la eficiencia en el uso de recursos, fomentando la optimización de uso de la materia prima y la minimización de residuos en el proceso de producción, mejorando la operación de conminución respecto a los factores analizados en el diseño experimental planteado.

##### **4.7.1.3. Promoción de prácticas sostenibles**

La aplicación de principios de residuo cero y economía circular promueve una práctica sostenible en el sector productivo de yeso, incentivando la adopción de estrategias que minimicen el impacto ambiental y fomenten la responsabilidad ambiental de la empresa.

En resumen, los aspectos ambientales abordados en esta propuesta se centran en la reducción de residuos, la eficiencia en el uso de recursos, la generación de productos

sostenibles y la medición del desempeño ambiental como parte de un enfoque integral hacia la sostenibilidad empresarial.

#### **4.7.1.4. Impacto ambiental positivo**

La propuesta busca generar un impacto ambiental positivo al desarrollar nuevos productos a partir de residuos, como el yeso agrícola, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la reducción de la huella ecológica de la empresa.

#### **4.7.1.5. Medición de indicadores ambientales**

Se destaca la importancia de medir y monitorear periódicamente indicadores ambientales, específicamente hablando, los que tienen que ver con la contaminación del aire por partículas suspendidas, para evaluar el desempeño ambiental de la empresa y garantizar la implementación efectiva de la práctica sostenible.

#### **4.7.2. Beneficios ambientales**

La implementación de principios de residuo cero, en base a lineamientos de economía circular y logística verde en la empresa productora de yeso beta MhalexTec conlleva una serie de beneficios ambientales significativos. A continuación, se detallan los siguientes beneficios ambientales derivados de esta propuesta.

##### **4.7.2.1. Reducción de residuos**

La adopción de prácticas de residuo cero en base a lineamientos de economía circular permite reducir la generación de residuos en el proceso de producción de yeso, contribuyendo a disminuir la contaminación ambiental y la acumulación de desechos, en cantidades anuales se evitaría llevar a disposición final 312 t de merma de mineral y se puede aprovechar 2106 m<sup>3</sup> agua para diversas aplicaciones.

#### **4.7.2.2. Reutilización de materiales**

La reutilización de residuos como materia prima para la producción actual y de nuevos productos, como el yeso agrícola, promueve la economía circular y evita la extracción de nuevos recursos naturales, reduciendo así la presión sobre el medio ambiente .

#### **4.7.2.3. Optimización de recursos**

La optimización en el uso de recursos naturales y la minimización de residuos a través de la economía circular y la logística verde generan beneficios ambientales al reducir la sobreexplotación de recursos y la generación de impactos negativos en los ecosistemas, además de minimizar el transporte que conlleva dicha explotación.

#### **4.7.2.4. Mejora de la gestión de residuos**

La implementación de principios de residuo cero y la reincorporación de residuos al proceso productivo contribuyen a la gestión eficiente de residuos, evitando su acumulación en vertederos y reduciendo el impacto ambiental asociado a su disposición final.

#### **4.7.2.5. Promoción de sostenibilidad**

La adopción de prácticas sostenibles en la producción industrial, como las propuestas en la tesis, fomenta la sostenibilidad ambiental al reducir la huella ecológica de la empresa y contribuir a la conservación de los recursos naturales.

En resumen, la implementación de principios de residuo cero, economía circular y logística verde en la empresa productora de yeso beta MhalexTec no solo busca mejorar la rentabilidad y eficiencia del proceso productivo, sino que también conlleva importantes beneficios ambientales al promover la reducción de residuos, la reutilización de materiales y la optimización de recursos, contribuyendo así a un desarrollo más sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental.

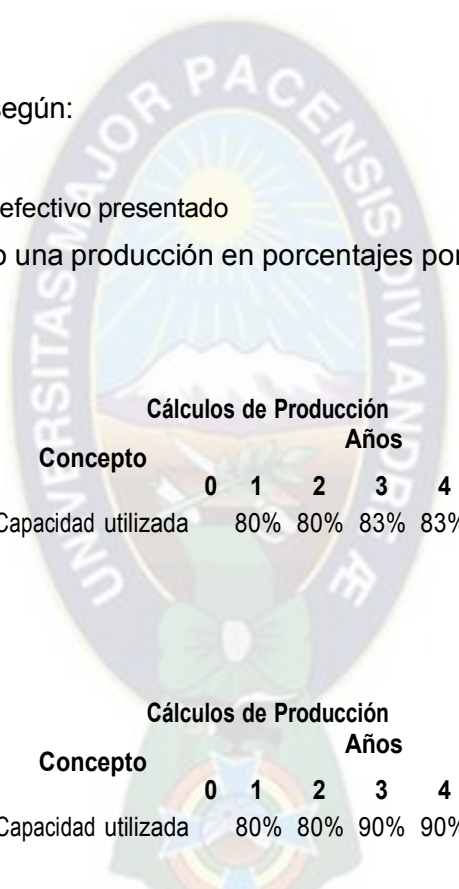
#### 4.8. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Dada la hipótesis: “Con la propuesta y la alternativa de producción de yeso agrícola, enmienda de suelos, carga aditiva y obtención de agua de roca con fines de riego, esparcimiento y para consumo de animales, en base a lineamientos de Economía Circular y Logística Verde entonces se podría mejorar la rentabilidad de la industria de yeso beta MhalexTec, si se emplea principios de residuo cero en sus secciones de molienda y calcinación de mineral”

Lo cual queda validado según:

- i) Por el Flujo de efectivo presentado

Se aprecia que aplicando una producción en porcentajes por encima del punto de equilibrio dado por:



Cálculos de Producción						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Capacidad utilizada		80%	80%	83%	83%	100%

Y para la propuesta:

Cálculos de Producción						
Concepto	Años					
	0	1	2	3	4	5
Capacidad utilizada		80%	80%	90%	90%	100%

Se llegará a obtener benéfico, mostrado mediante los indicadores financieros:

Periodo de recuperación	3,74 años
Valor Actual Neto - VAN	Bs 12 652,05
Tasa Interna de Retorno - TIR	24 %
Relación Beneficio Costo - RBC	0,98

Que, si bien no es una ganancia elevada, no existirá pérdida y, además, el beneficio sustantivo es la segunda forma de validar.

ii) Por análisis ambiental

Ambientalmente y gracias a los lineamientos de economía circular y logística verde se llega a implementar principios de residuo cero, demostrado principalmente con la reducción de disponer el residuo de manera final, es decir llevándola a relleno sanitario, en las siguientes cantidades para el mineral:

$$312 \frac{t}{año}$$

Y el aprovechamiento de agua de roca en la siguiente cantidad:

$$2112 \frac{m^3}{año}$$

Lo que demuestra que la hipótesis planteada será cumplida.

#### **4.9. RESUMEN DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA**

El proyecto de implementación de principios de residuo cero en base a economía circular y logística verde en la empresa productora de yeso MhalexTec, tiene impacto significativo en:

Reducción de residuos. Se logra disminuir la generación de residuos durante el proceso de producción de yeso, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental al evitar la acumulación de desechos y la contaminación ambiental.

Eficiencia en el uso de recursos. Se optimiza el uso de materias primas y se minimiza la generación de residuos, lo que conlleva a una mayor eficiencia en el proceso productivo y a una reducción de la presión sobre los recursos naturales, a través del diseño experimental planteado.

Generación de productos sostenibles. Se promueve la generación de nuevos productos a partir de residuos, como el yeso agrícola, lo que contribuye a la economía circular y a la reducción de la extracción de nuevos recursos naturales; además la obtención de agua de roca como un paliativo a la escases del líquido vital.

Beneficios ambientales. La implementación de prácticas sostenibles conlleva a una gestión más eficiente de los residuos, evitando su acumulación en vertederos y reduciendo el impacto ambiental asociado a su disposición final.

Finalmente, la adopción de principios de residuo cero en la empresa productora de yeso MhalexTec, no solo mejora la rentabilidad y eficiencia del proceso productivo, sino que también tiene importantes beneficios ambientales al promover la reducción de residuos, la reutilización de materiales y la optimización de recursos, contribuyendo así a un desarrollo más sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental.





**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## **5.1. CONCLUSIONES**

Al aplicar principios de residuo cero en las secciones de molienda primaria y calcinación de mineral en la industria de yeso beta MhalexTec, según el análisis de rentabilidad se aprecia que existe un beneficio expresado como Valor Actual Neto de Bs 12 652,05 al contemplar un escenario el cual está por encima del punto de equilibrio con producción y ventas del 80 %, 90 % y 100 %; además es pertinente recalcar que no son los ingresos lo importante para los lineamientos de Economía Circular y Logística Verde, sino más bien los efectos de sostenibilidad y amigabilidad analizados en el acápite anterior; lo que conllevaría a la implementación de esta propuesta de residuo cero.

### **Sobre la situación actual del proceso de producción de yeso beta**

Se aprecia que la producción es realizada de dos maneras, la tradicional y la mecanizada, y que esta crece en función al sector de la construcción, ya que es base fundamental de la misma.

### **Sobre los residuos aprovechables para mejorar la productividad de yeso beta**

Se ha establecido dos residuos principales, el que se genera del pretratamiento de la materia prima y el que sale de la calcinación del mineral. El primero es 26 toneladas por mes de mineral residual y el segundo es 176 metros cúbicos por mes de vapor de agua, considerando en el acápite correspondiente los porcentajes de pérdida correspondientes.

### **Sobre la solución en base a lineamientos de economía circular y logística verde**

Se aprecia que, si se reduce la merma de mineral de hecho mejora la rentabilidad de la empresa, debido a que se valoriza residuos.

Lastimosamente existe actualmente alrededor de un 2% de pérdida respecto al mineral, que por situación de la propia naturaleza del proceso es bastante complicado eliminar dicha pérdida, aun que se pretende optimizarla y así mejorar la capacidad de producción de la empresa, según el diseño experimental planteado, donde se aprecia que para el residuo

mineral se puede reducir su producción si se implementa la siguiente combinación de factores en la trabajabilidad del proceso. Tamaño de materia prima, alrededor de los 30 cm, Humedad alrededor del 18 % y el factor Operario que debe estar atento a su trabajo, para evitar fugas y meteorización de la materia prima.

La metodología empleada respecto a la economía circular y logística verde muestra una secuencia guiada de pasos que permitirán ir reduciendo los residuos hasta un punto en que estos ya no lo sean más, sino más bien productos ofertarles y demandados.

**Sobre la evaluación de la rentabilidad de aplicar principios de residuo cero, mediante indicadores de gestión financiera.**

Al realizar la evaluación de rentabilidad y considerando el escenario planteado de ventas de los residuos se aprecia los siguientes resultados:

Periodo de recuperación	3,74 años
Valor Actual Neto - VAN	Bs 12 652,05
Tasa Interna de Retorno - TIR	24 %
Relación Beneficio Costo - RBC	0,98

Se aprecia que, para la propuesta, la rentabilidad si bien es relativamente baja, en comparación a los ingresos por la venta de yeso mensual, alrededor del 3,96%, considerando que lo que se está ofertando son mermas y residuos natos del proceso, además que de manera objetiva se está aplicando principios de residuo cero. Se concluye que la propuesta es efectiva.

Finalmente, la propuesta de producción de yeso agrícola, enmienda de suelos, carga aditiva y obtención de agua de roca para fines de riego, esparcimiento y para consumo de animales, aplicando lineamientos de Economía Circular y Logística Verde mejora la rentabilidad de la industria de yeso beta MhalexTec, al emplear principios de residuo cero en sus secciones de molienda y calcinación de mineral.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Entorno a la recolección de datos, se debe poner prioridad en aumentar la cantidad de los mismos o talvez aplicar simulación de Montecarlo para ampliar la colección.

Es de suma importancia prever el dimensionamiento de las instalaciones para una implementación optima de la propuesta, que son temas de construcción civil y mecánica además de eléctrica. Contexto que queda fuera del cuerpo de la presente tesis.

Ahondar en la posibilidad de optimizar los procesos de la empresa para reducir de primera mano los residuos, en el caso del mineral ya que el vapor de agua emitido, se entiende que es propio del mismo y no se puede reducir, pero si mejorar su recolección.

Se debe ver mercados alternativos para los productos a base de los residuos, para ampliar la oferta de los mismos. Y talvez hacer nacer una demanda sobre las propuestas.

Es importante realzar la pertinencia del tema respecto los beneficios ambientales netos que trae consigo la propuesta, además de la exploración y desarrollo de nuevos productos; tópicos de ingeniería ambiental e ingeniería química.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ©IBNORCA. (2013). *NB - 1220004*. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.
- ACP-2000. (2023). *Arquitectura y Construcción*. Obtenido de <https://www.insucons.com/analisis-precio-unitario>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Episteme.
- Arrarte Fernandez, S. R., Pérez Garcia, J. L., & Riojas Concha, M. S. (2022). *Modelo ProLab: Ecocicloplast, un proyecto eco sostenible basado en la producción de madera plástica aplicando la economía circular en Lima Norte*. Surco: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Baca Urbina, G. (2015). *Evaluación de proyectos*. McGRAW-HILL.
- Calco Bolivia . (9 de 5 de 2023). *Yeso agrícola*. Obtenido de Calco: [http://web.calco-bolivia.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=154](http://web.calco-bolivia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=154)
- Cangrejo Castro, N. (2020). *Integración de Economía Circular en la industria química colombiana: Propuesta de un sistema de indicadores de desempeño ambiental para medir la circularidad en empresas del sector*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Carpenter, J., Harrison, G., & List, J. (2005). *Field experiments in economics*. Amsterdam: Elsevier.
- Cortés García, F. (2020). *La economía circular*. Santiago: Universidad Autónoma de Chile.
- De Farias Santana, D. M. (2008). *Estudo de obtenção de água do processo de desidratação da gipsita na produção de gesso*. PERNAMBUCO: Universidade Federal.
- De la Cuesta González, M. (2020). *La economía circular*. Madrid: La Factoría De Ediciones.
- De Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M. (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas.
- Decreto Supremo N° 2954*. (2016). Obtenido de Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia: <http://gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/buscar/755>
- Dei, D. (2002). *La tesis*. prometeo.
- Díaz Martínez, A. M. (2016). *Programa basura cero en la universidad de sonora*. HERMOSILLO, SONORA: Universidad De Sonora.
- Dizdar, A., Prenner, H., Isildar, Y., Disdar, E., & Queiruga, D. (2010). *Logística verde*. Union Europea.
- Equipo técnico del CPTS. (2007). Empresa y medio ambiente: producción más limpia, productividad y ambientes sanos. *Revista Virtual REDESMA*, 99 - 122.

- Espaliat Canu, M. (2017). *Economía circular y sostenibilidad*. CreateSpace.
- Fassio, A., Pascual, L., & Suárez, F. (2012). *Introducción a la Metodología de la Investigación aplicada al Saber Administrativo*. Cooperativas.
- Figuroa Montaña, A. (2013). *Introducción a la metodología experimental*. PEARSON.
- George, M. (2012). *Lean Six Sigma*. McGraw-Hill.
- Gómez Olachica, M. (2022). *Estado del Arte de la Iniciativa Basura Cero y su Aplicación en la Población Actual Nacional e Internacional*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Gonzales Rocabado, A. (2019). *La basura, un problema creciente en Bolivia*. Obtenido de Universidad Católica Boliviana: <https://www.iisec.ucb.edu.bo/publicacion/la-basura-un-problema-creciente-en-bolivia>
- Guillen Viñas, J. (2013). *Nuevas aplicaciones de recursos yesíferos, desarrollo, caracterización y reciclado*. Madrid: Universidad Politécnica De Madrid.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. México: McGRAW-HILL.
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2016). *Análisis y diseño de experimentos*. McGRAW-HILL.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGRAW-HILL.
- INE. (8 de 13 de 2023). *INDICE DE COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de INE: <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/construccion/indice-de-costo-de-la-construccion-cuadros-estadisticos/>
- Katz, M. (2016). *Tecnología química en industrias de procesos*. MDC MACHINE.
- Kirk, & Othmer. (2012). *Encyclopedia of chemical technology*. Limusa .
- Lobato Gago, I. (2017). *Economía circular*. Tagus.
- Marks. (2014). *Standard Handbook for Mechanical Engineers*. McGraw-Hill.
- Meyers, F., & Stephens, M. (2014). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. PEARSON.
- Miranda Montaña, H. M. (2017). *Diseño y construcción de horno rotatorio tipo marmita horizontal para la producción de yeso beta*. La Paz: Universidad Mayor De San Andrés.
- Moncada, Y. (1 de 4 de 2019). *5 principios del movimiento Basura Cero (Zero Waste)*. Obtenido de Gestipolis: <https://www.gestipolis.com/5-principios-del-movimiento-basura-cero-zero-waste/>

- Mondino, M., & Crisafulli, L. (2021). *La economía circular y la resiliencia de las ciudades*. Buenos aires: Avina.
- Montanero Fernández, J. (2018). *Análisis Multivariante*. Electrónica: Pedro Cid, S.A.
- Montgomery, D. (1999). *Diseño y análisis de experimentos*. LIMUSA.
- Morán Delgado, G., & Alvarado Cervantes, D. (2011). *Métodos de investigación*. Pearson.
- Moto Chagala, A. G. (2020). *Aplicación de la economía circular: el impacto de la logística verde en las emisiones de co2*. VERACRUZ: Universidad Veracruzana.
- Muller, P., & Fontrodona, J. (2021). *Economía circular Una revolución en marcha*. Barcelona.
- Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Pearson.
- Naciones Unidas. (14 de 7 de 2021). *Tesaurus UNBIS*. Obtenido de Biblioteca de las Naciones Unidas: <https://metadata.un.org/thesaurus/?lang=es>
- Naciones Unidas. (2023). *Cómo la ONU apoya los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bolivia*. Obtenido de Naciones Unidas Bolivia: <https://bolivia.un.org/es/sdgs>
- Nava Chacin, J., & Abreu Quintero, Y. (2015). Logística Verde y Economía Circular. *International Journal of Good Conscience*, 10(3), 80 - 91.
- Ñaupas Paitán, H. (2013). *Metodología de la investigación*. Ediciones de la U.
- ONU. (13 de 8 de 2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Obtenido de NACIONES UNIDAS: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- Perry, R., Green, D., & Maloney, J. (2013). *Manual del ingeniero químico*. McGraw-Hill.
- Qué es la economía circular*. (1 de 1 de 2021). Obtenido de MeH: <https://residuosmorlo.com/medio-ambiente/que-es-la-economia-circular/>
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag Puelma, J. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGRAW-HILL.
- SENARECOM. (Diciembre de 2023). *SENARECOM*. Obtenido de SENARECOM: [https://www.senarecom.gob.bo/institucion\\_mae.php](https://www.senarecom.gob.bo/institucion_mae.php)
- Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, C. (13 de 8 de 2023). *SEMAPA*. Obtenido de ESTRUCTURA TARIFARIA: <http://www.semapa.gob.bo/estructura-tarifaria>
- Sevilla Arias, A., & Francisco López, J. (1 de 3 de 2020). *Rentabilidad*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/rentabilidad.html>
- Tamayo, M. (2013). *El proceso de la investigación científica*. LIMUSA,.



- Tecnología Natural*. (2 de 2 de 2022). Obtenido de SEIPASA:  
<https://www.seipasa.com/es/blog/agricultura-de-residuo-cero-la-tercera-via-que-se-consolida/>
- Terán Mita , T. Á. (2023). APLICACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES DE EFICIENCIA EN EL MARCO DE LA CIRCULARIDAD: UNA APROXIMACIÓN AL SECTOR PRODUCTIVO INDUSTRIAL DE LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y EL ALTO. *Revista Industrial 4.0*.
- Triola, M. (2019). *Estadística*. México: PEARSON.
- Universidad Camilo José Cela . (25 de 1 de 2022). *Logística verde: sostenibilidad y tendencias*. Obtenido de Blog de CC de Transporte y Logística:  
<https://blogs.ucjc.edu/cc-transporte-logistica/2022/01/logistica-verde-sostenibilidad-y-tendencias/>
- Vian Ortuño, A. (2016). *Introducción a la química industrial* . Reverte.
- Vidarte Rodríguez, A. (2020). Basura Cero. Gestión de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Iberoamericana de las ciencias*, 9(18), 35 - 56.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.23913/ricsh.v9i18.217>
- Villegas Villegas, R. E. (2021). *Diseño de la producción de mezclas asfálticas modificadas con residuos plásticos mediante la metodología idov de seis sigma, incorporando los lineamientos de economía circular*. Universidad De Costa Rica.
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2018). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. PEARSON.
- Xavier, E. (2012). *Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Diaz De Santos.

## ANEXOS

## ANEXO A1

## DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA RECOLECCIÓN DE MERMA DE LA CHANCADORA

HOJA DE TRABAJO 1

## Diseño factorial de múltiples niveles

## Resumen del diseño

Factores: 3 Réplicas: 1  
 Corridas base: 18 Total de corridas: 18  
 Bloques base: 1 Total de bloques: 1

Número de niveles: 3; 3; 2

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	TMP	H	Op
1	17	1	1	1	40	22	Atento
2	11	2	1	1	30	22	Atento
3	16	3	1	1	40	20	Distraido
4	8	4	1	1	30	18	Distraido
5	2	5	1	1	20	18	Distraido
6	12	6	1	1	30	22	Distraido
7	6	7	1	1	20	22	Distraido
8	13	8	1	1	40	18	Atento
9	4	9	1	1	20	20	Distraido
10	15	10	1	1	40	20	Atento
11	5	11	1	1	20	22	Atento
12	18	12	1	1	40	22	Distraido
13	7	13	1	1	30	18	Atento
14	9	14	1	1	30	20	Atento
15	10	15	1	1	30	20	Distraido
16	1	16	1	1	20	18	Atento
17	14	17	1	1	40	18	Distraido
18	3	18	1	1	20	20	Atento

HOJA DE TRABAJO 2

## Diseño óptimo: TMP; H; Op

Diseño factorial seleccionado de acuerdo con D-optimalidad

Número de puntos del diseño candidatos: 18

Número de puntos del diseño en el diseño óptimo: 13

Términos del modelo: A; B; C

Se generó el diseño inicial mediante el método secuencial

Se mejoró el diseño inicial mediante el método del intercambio

El número de puntos del diseño intercambiados es 1

### Diseño óptimo

Número de fila de los puntos del diseño seleccionado: 1; 3; 6; 14; 5; 4; 7; 8; 18; 3; 2; 16;

1

Número de la condición:	4,51554
D-optimalidad (determinante de XTX):	456840
A-optimalidad (rastros de inv(XTX)):	0,840544
G-optimalidad (apalancamiento prom./apalancamiento máx.):	0,815500
V-optimalidad (apalancamiento promedio):	0,461538
Apalancamiento máximo:	0,565957

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	TMP	H	Op
1	17	1	1	1	40	22	Atento
2	16	3	1	1	40	20	Distraído
3	12	6	1	1	30	22	Distraído
4	9	14	1	1	30	20	Atento
5	2	5	1	1	20	18	Distraído
6	8	4	1	1	30	18	Distraído
7	6	7	1	1	20	22	Distraído
8	13	8	1	1	40	18	Atento
9	3	18	1	1	20	20	Atento
10	16	3	1	1	40	20	Distraído
11	11	2	1	1	30	22	Atento
12	1	16	1	1	20	18	Atento
13	17	1	1	1	40	22	Atento

HOJA DE TRABAJO 2

## Regresión factorial general: c vs. TMP; H; Op

No se pueden estimar los siguientes términos y se eliminaron:

TMP\*Op; H\*Op; TMP\*H\*Op

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
TMP	3	20; 30; 40
H	3	18; 20; 22
Op	2	Atento; Distraído

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	TMP	H	Op	Merma
1	17	1	1	1	40	22	Atento	50,444
2	16	3	1	1	40	20	Distraido	48,998
3	12	6	1	1	30	22	Distraido	48,945
4	9	14	1	1	30	20	Atento	45,934
5	2	5	1	1	20	18	Distraido	52,515
6	8	4	1	1	30	18	Distraido	45,980
7	6	7	1	1	20	22	Distraido	51,614
8	13	8	1	1	40	18	Atento	43,485
9	3	18	1	1	20	20	Atento	46,430
10	16	3	1	1	40	20	Distraido	47,756
11	11	2	1	1	30	22	Atento	43,960
12	1	16	1	1	20	18	Atento	49,256
13	17	1	1	1	40	22	Atento	49,000

**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	88,8962	9,8774	11,59	0,034
Lineal	5	50,7436	10,1487	11,91	0,034
TMP	2	22,3156	11,1578	13,09	0,033
H	2	13,0248	6,5124	7,64	0,066
Op	1	16,9917	16,9917	19,94	0,021
Interacciones de 2 términos	4	28,3914	7,0979	8,33	0,056
TMP*H	4	28,3914	7,0979	8,33	0,056
Error	3	2,5570	0,8523		
Falta de ajuste	1	0,7444	0,7444	0,82	0,460
Error puro	2	1,8126	0,9063		
Total	12	91,4533			

**Resumen del modelo**

R-cuad. R-cuad.

S	R-cuad. (ajustado)	(pred)
0,923226	97,20%	88,82% *

**Coefficientes**

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	47,882	0,276	173,36	0,000	
TMP					
20	1,761	0,394	4,47	0,021	1,62
30	-1,760	0,394	-4,47	0,021	1,62
H					
18	-1,099	0,394	-2,79	0,068	1,62
20	-0,282	0,404	-0,70	0,536	1,71

Op					
Atento	-2,061	0,462	-4,46	0,021	3,23
TMP*H					
20 18	2,341	0,531	4,41	0,022	1,88
20 20	-0,870	0,675	-1,29	0,288	3,20
30 18	-1,104	0,703	-1,57	0,214	3,48
30 20	2,154	0,675	3,19	0,050	3,70

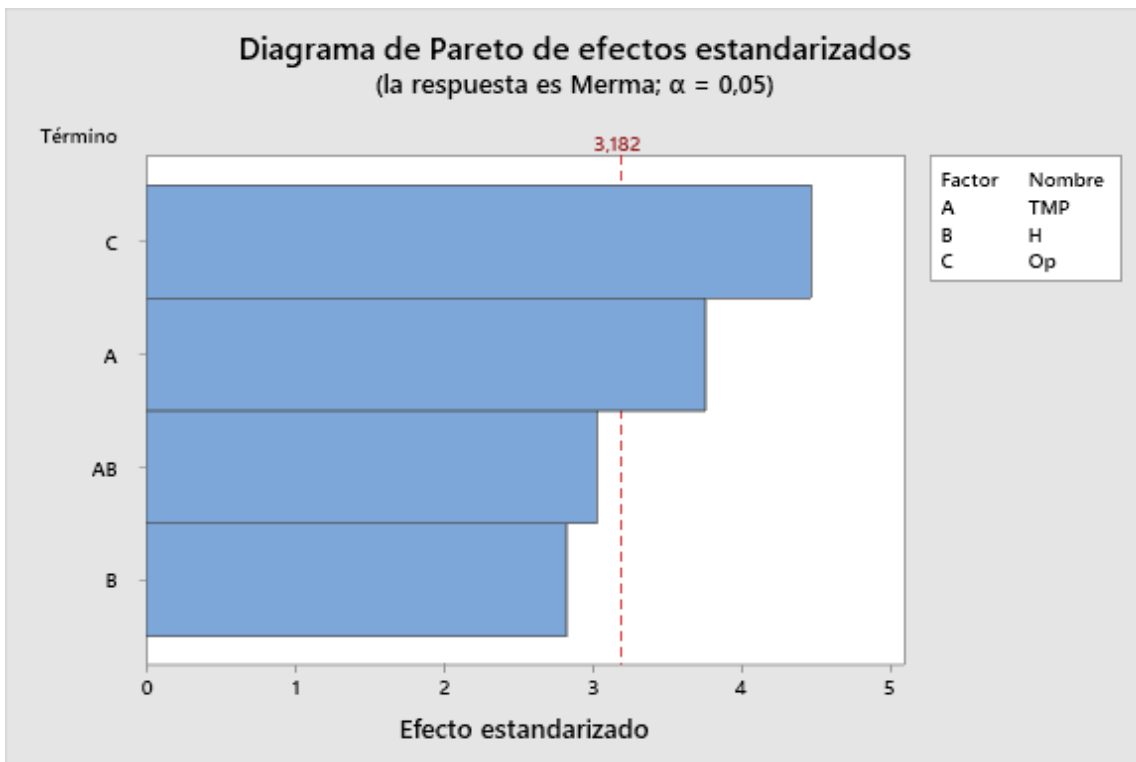
**Ecuación de regresión**

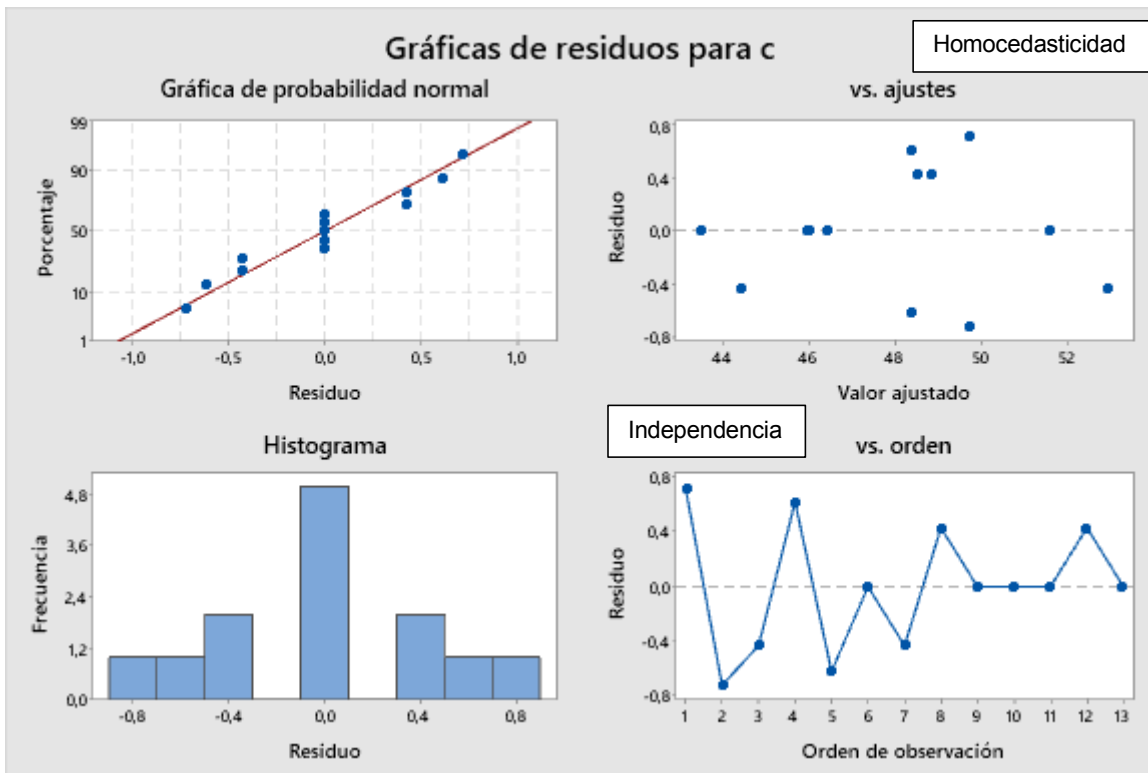
$$c = 47,882 + 1,761 \text{ TMP}_{20} - 1,760 \text{ TMP}_{30} - 0,000 \text{ TMP}_{40} - 1,099 \text{ H}_{18} - 0,282 \text{ H}_{20} + 1,380 \text{ H}_{22} - 2,061 \text{ Op}_{\text{Atento}} + 2,061 \text{ Op}_{\text{Distraído}} + 2,341 \text{ TMP*H}_{20 \ 18} - 0,870 \text{ TMP*H}_{20} - 1,471 \text{ TMP*H}_{20 \ 22} - 1,104 \text{ TMP*H}_{30 \ 18} + 2,154 \text{ TMP*H}_{30 \ 20} - 1,050 \text{ TMP*H}_{30 \ 22} - 1,237 \text{ TMP*H}_{40 \ 18} - 1,284 \text{ TMP*H}_{40 \ 20} + 2,521 \text{ TMP*H}_{40 \ 22}$$

**Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes**

Obs	c	Ajuste	Resid	Resid est.
4	45,934	45,934	-0,000	* X
6	45,980	45,980	-0,000	* X
7	51,614	51,614	-0,000	* X
8	43,485	43,485	-0,000	* X
9	46,430	46,430	-0,000	* X

X poco común X





**AUTOR:** HUTCH MIKE MIRANDA MONTAÑO  
**CORREO ELECTRÓNICO:** [mhalex13one@gmail.com](mailto:mhalex13one@gmail.com)  
**NÚMERO DE CELULAR:** 78785057



2024-TTES-1179-D-1

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS  
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2652/2024  
La Paz, 29 de agosto de 2024**

**VISTOS:**

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **26 de agosto de 2024**, por **HUTCH MIKE MIRANDA MONTAÑO** con **C.I. N° 4932868 LP**, con número de trámite **DA 1532/2024**, señala la pretensión de inscripción de la Tesis de Post-grado titulada: **"PROPUESTA DE PRINCIPIOS DE RESIDUO CERO, EN BASE A LINEAMIENTOS DE ECONOMÍA CIRCULAR Y LOGÍSTICA VERDE EN LA SECCIÓN DE MOLINERÍA PRIMARIA Y CALCINACIÓN DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE YESO BETA MHALEXTEC"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

**CONSIDERANDO:**

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe"*



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, N° 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Miramí,  
Telfs.: 2115000  
2116276 - 2116251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijano,  
N° 29, Edif. Bicentenario,  
Telfs.: 312052 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, N° 131,  
entre 16 de Julio y Antezana,  
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2540  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Uta, Piso 2, Of. 5B,  
Zona 16 de Julio,  
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Oruro  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
casi esq. Urinagallada,  
Zona Parque Bolívar,  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calles Ciro Trigo y Avenida  
Edif. Santa Clara, N° 245,  
Telf.: 72015286

Oficina - Sucre  
Calle 6 de Octubre, N° 5807,  
entre Ayacucho  
y Junín, Galería Central,  
Of. 14,  
Telf.: 67291288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas N° 240,  
Primer Piso, Of. 17,  
Telf.: 72078190





fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

**POR TANTO:**

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

**RESUELVE:**

**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Tesis de Post-grado titulada: **"PROPUESTA DE PRINCIPIOS DE RESIDUO CERO, EN BASE A LINEAMIENTOS DE ECONOMÍA CIRCULAR Y LOGÍSTICA VERDE EN LA SECCIÓN DE MOLINERÍA PRIMARIA Y CALCINACIÓN DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE YESO BETA MHALEXTEC"** a favor del autor y titular: **HUTCH MIKE MIRANDA MONTAÑO** con **C.I. N° 4932868 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/lm

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI  
**CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO**  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS**  
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



uPtj4Mj9Hj28L

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB [www.senapi.gob.bo/verificacion](http://www.senapi.gob.bo/verificacion) Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, N° 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani,  
Telfs: 2115700  
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijano,  
N° 29, Edif. Bicentenario,  
Telfs: 3121952 - 72042836

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, N° 737,  
entre 16 de Julio y Antezana,  
Telfs: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2540  
Edif. Multicentro El Cebo  
Lda. Piso 2, Of. 5B,  
Zona 16 de Julio,  
Telfs: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
casi esq. Urmisagoitia,  
Zona Parque Bolívar,  
Telf: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calles Ciro Trigo y Avenida  
Edif. Santa Clara, N° 243,  
Telf: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, N° 5837,  
entre Apoachó  
y Aunih. Galería Central,  
Of. 14,  
Telf: 62201288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas N° 242,  
Primer Piso, Of. 17,  
Telf: 72016160

[www.senapi.gob.bo](http://www.senapi.gob.bo)

