

# Establecimiento e implantación de sistemas de producción más limpia en la extracción minera de la parte alta de la provincia de El Oro (Ecuador)

EXTRACCIÓN

03

(Ecuador)

del material mineralizado y clasificado

CIANURACIÓN

05

Wilton Eduardo Romero Black

aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos

FUNDICIÓN Y REFINACIÓN

07

Tesis Doctoral

de fusión o separación de metales

negociación y venta del material metálico

FASE

08

DORE Y COMERCIALIZACIÓN

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

- EXPLORACIÓN
- EXPLOTACIÓN
- BENEFICIO
- FUNDICIÓN
- COMERCIALIZACIÓN

2023





# **Establecimiento e implantación de sistemas de producción más limpia en la extracción minera en la parte alta de la provincia de El Oro (Ecuador)**

## **Wilton Eduardo Romero Black**

---

### **Tesis Doctoral 2023**



Firmado electrónicamente por:  
WILTON EDUARDO  
ROMERO BLACK

Directores:

Juan Arturo Santaballa López  
Moisés Canle López

Firmado por Juan  
Arturo Santaballa  
López el día  
18/09/2023 con un

Tutor:

Moisés Canle López

Firmado por  
CANLE LOPEZ  
MOISES -  
\*\*\*8760\*\*

**Programa oficial de doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Dr. D. Juan Arturo Santaballa López y Dr. D. Moisés Canle López en su calidad de directores de la Tesis Doctoral titulada “*Establecimiento e implantación de sistemas de producción más limpia en la extracción minera de la parte alta de la provincia de El Oro (Ecuador)*”,

**CERTIFICAN:**

Que la Tesis Doctoral adjunta titulada “Establecimiento e implantación de sistemas de producción más limpia en la extracción minera en la parte alta de la provincia de El Oro – Ecuador” presentada por Don Wilton Eduardo Romero Black con CI: 0703296251, para optar al grado de Doctor en Ciencia y Tecnología Ambiental, ha sido realizada bajo su dirección en el Departamento de Química.

Considerando que se ha concluido, autorizan su presentación en la Universidade da Coruña para que pueda ser evaluada por el tribunal que corresponda.

Y para que así conste donde proceda, firman la presente autorización en A Coruña a 21 de julio de 2023.

Firmado por  
Moisés Canle  
López el día  
13/09/2023

Fdo.: Moisés Canle López

Firmado por Juan  
Arturo Santaballa  
López el día  
13/09/2023 con un

Juan Arturo Santaballa López



## **AGRADECIMIENTO**

**A mis padres Manuel y Norma, a mis hijos Sebastián, Anita y Victoria mi razón de ser**

**Al Lcdo. Yiovanny Pontón (+) que, mediante su gestión permitió poder hacer realidad la respectiva investigación.**

**Al GAD's Cantonal Portovelo periodo de gestión 2014-2019 por el apoyo para el desarrollo de la investigación en las plantas de beneficio.**

**A los hermanos Pontón, por permitir realizar la investigación en la planta de beneficio de las cuales son dueños.**

**A mis tutores Arturo y Moisés, por su buena predisposición en mi formación como investigador en mi proceso de formación.**





# CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>Abreviaturas</b> .....	xiii
<b>Resumen</b> .....	1
<b>Resumo</b> .....	2
<b>Summary</b> .....	3
<b>1. Introducción</b> .....	5
1.1. Referencias .....	12
<b>2. Antecedentes y estado del arte</b> .....	15
2.1. La minería.....	19
2.1.1. Tipos de extracción en minería .....	20
2.1.2. La minería en Ecuador .....	20
2.1.2.1. La minería en la provincia de El Oro.....	22
2.1.2.2. Producción minera local.....	24
2.1.2.3. La minería en la parte alta de la provincia de El Oro.....	25
2.1.2.4. Plantas de beneficio.....	27
2.1.2.5. Plantas de beneficio El PACHE.....	31
2.1.2.6. Legislación.....	31
2.2. Minería y contaminación.....	33
2.2.1. Tratados, acuerdos y programas internacionales relacionados con la protección del medio ambiente.....	35
2.2.2. Minería y contaminación en las plantas de beneficio El Pache .....	36
2.2.3. Minerales contaminantes en la minería.....	38
2.2.3.1. Residuos de la extracción.....	38
2.2.3.2. Residuos del tratamiento.....	39
2.3. Los sistemas de Producción más Limpia.....	41
2.3.1. Desarrollo sostenible.....	41
2.3.2. ¿Qué son los sistemas de Producción más Limpia?.....	42
2.3.3. Principios y herramientas de la Producción más Limpia .....	43
2.3.4. Ventajas de la Producción más Limpia .....	45
2.3.5. Marco legal de la Producción más Limpia en Ecuador.....	46

2.3.6.	Casos de aplicación de la Producción más Limpia .....	46
2.4.	Referencias .....	49
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>59</b>
3.1.	Introducción .....	63
3.2.	Aplicación de las fases y las actividades.....	65
3.2.1.	FASE 1. Planeación y organización .....	65
3.2.2.	FASE 2. Diagnóstico inicial .....	70
3.2.3.	FASE 3. Evaluación.....	77
3.2.4.	FASE 4. Estudios de factibilidad.....	82
3.2.5.	FASE 5. Implantación .....	86
3.2.6.	Beneficios al implementar PmL .....	87
3.3.	Referencias .....	89
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>95</b>
4.1.	Datos generales de la planta de beneficio .....	99
4.2.	Aplicación del modelo de “PmL” en la planta de beneficio “El Puma” .....	99
4.2.1.	Fase 1. Planeación y organización.....	99
4.2.1.1.	Actividad 1. Obtención del compromiso de la empresa .....	99
4.2.1.2.	Actividad 2. Organizar el equipo de “PmL” .....	99
4.2.1.3.	Actividad 3. Establecer objetivos e indicadores de “PmL” .....	101
4.2.1.4.	Actividad 4. Identificar barreras y facilidades .....	102
4.2.2.	Fase 2. Diagnóstico inicial.....	104
4.2.2.1.	Actividad 5. Definir el enfoque del diagnóstico. ....	104
4.2.2.2.	Actividad 6. Entradas y salidas .....	105
4.2.2.3.	Actividad 7. Desarrollar diagramas de flujo de procesos .....	105
4.2.3.	Fase 3. Evaluación .....	111
4.2.3.1.	Actividad 8. Balance de masa y energía .....	111
4.2.3.2.	Actividad 9. Evaluar las causas de generación de residuos, ineficiencia energética o consumo excesivo de agua.....	114
4.2.3.3.	Actividad 10. Alternativas de “PmL” .....	115
4.2.3.4.	Actividad 11. Identificar alternativas viables de “PmL” y establecer objetivos e indicadores.....	116
4.2.4.	Fase 4. Estudios de factibilidad .....	121
4.2.4.1.	Actividad 12. Evaluación preliminar .....	122

4.2.4.2. Actividad 13. Evaluación técnica.....	122
4.2.4.3. Actividad 14. Evaluación ambiental .....	129
4.2.4.4. Actividad 15. Evaluación económica.....	131
4.2.4.5. Actividad 16. Selección de alternativas de “PmL” .....	145
4.2.5. Fase 5. Implantación .....	146
4.2.5.1. Actividad 17. Preparación del plan de “PmL” .....	148
4.2.5.2. Actividad 18. Implementar alternativas de PmL.....	149
4.2.5.3. Actividad 19. Monitorear el progreso de la PmL.....	149
4.2.5.4. Actividad 20. “Sostener el PmL”.....	151
4.3. Beneficios de implementar “PmL” .....	151
4.4. Consideraciones finales .....	152
4.5. Referencias.....	155
<b>Conclusiones</b> .....	159
<b>Anexos</b> .....	163



## Lista de tablas

Tabla 2.1. Matriz descriptiva de las formaciones geológicas.....	26
Tabla 2.2. Niveles de producción de oro en Portovelo período 2014 – 2019* .....	37
Tabla 2.3. Recuperación de oro por cianuración u otros. Período 2014 – 2019*.....	37
Tabla 2.4. Ingreso total en dólares por venta de oro al año* .....	37
Tabla 3.1. Fases de un programa de “PML” .....	64
Tabla 3.2. Ejemplo de un programa para el desarrollo de “PmL”.....	67
Tabla 3.3. Registro de miembros del ecoequipo .....	68
Tabla 3.4. Ejemplo de obstáculos y soluciones en la implementación de un programa “PmL” .....	70
Tabla 3.5. Consideraciones y priorización .....	71
Tabla 3.6. Evaluación global .....	73
Tabla 3.7. Evaluación de opciones sin ponderación.....	85
Tabla 4.1. Información general de la planta de beneficio “El Puma” .....	100
Tabla 4.2. Ecoequipo de la planta de beneficio “El Puma”.....	101
Tabla 4.3. Objetivos e indicadores de “PmL” en la planta de beneficio “El Puma” .....	102
Tabla 4.4. Barreras y soluciones en la planta de beneficio “El Puma” .....	103
Tabla 4.5. Enfoque del diagnóstico de la planta de beneficio “El Puma”.....	104
Tabla 4.6. Información general de entradas de la planta de beneficio “El Puma” .....	106
Tabla 4.7. Ingresos por venta anual de residuos de la planta de beneficio “El Puma” .....	106
Tabla. 4.8. Balance de masa y energía del proceso de beneficio .....	112
Tabla 4.9. Evaluación global de costos de planta de beneficio “El Puma”.....	113
Tabla 4.10. Alternativas de “PmL .....	116
Tabla 4.11. Identificación de alternativas concretas (planta de beneficio “El Puma”) .....	117
Tabla 4.12. Resultado análisis mediante ICP-MS del material residual en plant.....	118
Tabla 4.13. Evaluación preliminar de la planta de beneficio “El Puma” .....	121
Tabla 4.14. Evaluación técnica de la tolva a ser incorporada a las máquinas trituradoras. 122	
Tabla 4.15. Evaluación técnica del mantenimiento y mejora de motores y bombas.....	123
Tabla 4.16. Evaluación técnica de recubrir y soldar partes en los molinos.....	124
Tabla 4.17. Evaluación técnica de la reestructuración de los canales de circulación de aguas y arenas a las cisternas de sedimentación.....	125
Tabla 4.18. Evaluación técnica del mejoramiento del sistema de bombeo de material sedimentado a los tanques de cianuración.....	125

Tabla 4.19. Evaluación técnica de la reestructuración de la chimenea de gases en el proceso de fundición y refinación.....	126
Tabla 4.20. Evaluación técnica del almacenamiento y/o reutilización o venta de material procesado para flotación.....	127
Tabla 4.21. Evaluación técnica de la recirculación de agua en el proceso de molienda ....	127
Tabla 4.22. Evaluación técnica de la reutilización de aguas en los procesos de cianuración y desorción.....	128
Tabla 4.23. Evaluación técnica de la separación de las rocas (cuarzo) para procesarlas al término del lote de material a procesar.....	129
Tabla 4.24. Costos (\$) de la elaboración de la tolva para incorporar a las máquinas trituradoras.....	131
Tabla 4.25. Costos de recubrir y soldar partes en los molinos .....	133
Tabla 4.26. Costos de la reestructuración de los canales de circulación de aguas y arenas a las cisternas de sedimentación.....	133
Tabla 4.27. Costos (\$) del mejoramiento del sistema de bombeo de material sedimentado a los tanques de cianuración.....	135
Tabla 4.28. Costos (\$) de la reestructuración de la chimenea de gases, etapa de fundición .....	136
Tabla 4.29. Costos (\$) del almacenamiento, reutilización o venta de material procesado para flotación.....	137
Tabla 4.30. Costos (\$) de la recirculación de agua en el proceso de molienda.....	138
Tabla 4.31. Costos (\$) de la reutilización de aguas en los procesos de cianuración y desorción.....	139
Tabla 4.32. Depreciación de las mejoras implementadas.....	142
Tabla 4.33. Ingresos anuales por refinación de oro y plata (años 2020 y 2021) .....	142
Tabla 4.34. Estado de resultado de la planta de beneficio “El Puma” .....	143
Tabla 4.35. Análisis de rentabilidad – “PmL” .....	144
Tabla 4.36. Selección de alternativas .....	144
Tabla 4.37. Plan de “PmL” – planta de beneficio “El Puma” .....	147

## Lista de figuras

Figura 2.1. Mapa político de la provincia de El Oro .....	22
Figura 2.2. Mapa Minero de la provincia de El Oro.....	23
Figura 2.3. Ubicación de los cantones Portovelo y Zaruma al sur de Ecuador .....	24
Figura 2.4. Material de mina (cuarzo .....	27
Figura 2.5. Trituradora de piedra.....	27
Figura 2.6. Estructura interna del molino .....	28
Figura 2.7. Salida del material procesado.....	28
Figura 2.8. Canales de transporte de material .....	28
Figura 2.9. Tanques de sedimentación .....	28
Figura 2.10. Transporte de material sedimentado .....	29
Figura 2.11. Bomba neumática para transporte de material sedimentado.....	29
Figura 2.12. Tanques de cianuración.....	30
Figura 2.13. Cianuración de material útil.....	30
Figura 2.14. Tanque de desorción .....	30
Figura 2.15. Celdas electrolíticas .....	30
Figura 2.16. Área de fundición y refinación.....	31
Figura 2.17. Residuos de la extracción minera Fuente. Relavera el Tablón .....	39
Figura 2.18. Proceso de flotación .....	39
Figura 2.19. Lixiviación de residuos .....	40
Figura 2.20. Proceso de fundición de metales .....	41
Figura 2.21. Ciclo de Producción más Limpia .....	43
Figura 3.1. Esquema general de un diagrama de flujo de una operación unitaria.....	74
Figura 3.2. Flujograma cualitativo de Planta de beneficio .....	75
Figura 3.3. Alternativas para la prevención de la contaminación .....	80
Figura 4.1. Relavera de la planta “El Puma” .....	107
Figura 4.2. Relavera comunitaria “El Tablón” .....	107
Figura 4.3. Flujograma cualitativo general de la planta de beneficio “El Puma” .....	107
Figura 4.4. Flujograma cualitativo del proceso de beneficio (planta de beneficio “El Puma”. .....	108
Figura 4.5. Análisis de cabeza del material cianurado .....	110
Figura 4.6. Máquina antes de la mejora.....	131
Figura 4.7. Máquina trituradora mejorada.....	131

Figura 4.8. Molino antes de la mejora .....	132
Figura 4.9. Molino mejorado .....	132
Figura 4.10 Canales antes de la mejora. ....	134
Figura 4.11. Canales mejorados .....	134
Figura 4.12. Transporte de material útil a cianuración antes de la mejora.....	134
Figura 4.13. Transporte de material útil aplicada la mejora.....	135
Figura 4.15. Recirculación de agua para el proceso de los molinos.....	138
Figura 4.16. Depósito de material cianurado en relave con recubrimiento de geomembrana en el interior.....	140
Figura 4.17. Tanque de absorción con geomembrana.....	140
Figura. 4.19. Material separado para trituración aplicando la mejora.....	141



## Abreviaturas

BCE	Banco Central del Ecuador
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPL	Centro de producción más limpia del Ecuador
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Calentamiento Global
CNCPML	Centro Nacional de Control de Producción más Limpia
CNPMLTA	Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales
CONEP	Consejo Nacional de la Empresa Privada
DMA	Drenaje ácido de mina
EDTA	Ácido etilendiamintetraacético
EPA	Environmental protection agency – Agencia de Protección Ambiental
ETD	Equipo temporal de diagnóstico
ICP-MS	Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente
GLP	Gas licuado de petróleo
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
MICIP	Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad
OCP	Operaciones unitarias críticas
OMS	Organización mundial de la salud
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OU	Operaciones Unitarias
PIB	Producto Interno Bruto
PML	Producción más Limpia
PMIRS	Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ROA	Retorno Sobre la Inversión
TIR	Tasa interna de retorno
TMAR	Tasa mínima aceptable de retorno
TPM	Total Preventive Maintenance

TULSMA      Texto Único de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente  
VAN          Valor anual neto

## Resumen

La extracción tradicional de oro y plata, una de las actividades más antiguas del ser humano, está asociada a un nefasto impacto medioambiental. Una alternativa para que el proceso de beneficio se convierta en una actividad más sostenible es la aplicación de la herramienta de Producción más Limpia, que persigue minimizar el uso de recursos naturales no renovables, la generación de contaminantes y los riesgos laborales. PmL se aplicó en la planta de beneficio El Puma, sobre todas las etapas del proceso, utilizando la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, apoyándose en el método de las 5M (Máquina, Método, Mano de obra, Medio ambiente y Materia prima). La actuación sobre diversa maquinaria implicó una mejora en la eficiencia energética y una menor siniestralidad laboral. La reutilización del agua ha implicado su empleo más sostenible, mientras que la potencial reutilización de los relaves convierte este residuo en un recurso. PmL ha implicado una mejora promedio del 12% en eficiencia y en productividad. Por su parte, desde el punto de vista del ingreso operativo se ha producido un incremento del 32.64%, con la previsión de un incremento mayor al 10% en años sucesivos.

## **Resumo**

A extracción tradicional de ouro e prata, unha das actividades máis antigas do ser humano, está asociada a un nefasto impacto ambiental. Unha alternativa para que o proceso de beneficio convértase nunha actividade máis sostible é a aplicación da ferramenta de Produción máis Limpa, que persegue minimizar o uso de recursos naturais non renovables, a xeración de contaminantes e os riscos laborais. PmL aplicouse na planta de beneficio El Puma, sobre todas as etapas do proceso, utilizando a metodoloxía proposta pola Organización das Nacións Unidas para o Desenvolvemento Industrial, apoiándose no método das 5M (Máquina, Método, Man de obra, Medio ambiente e Materia prima). A actuación sobre diversa maquinaria implicou unha mellora na eficiencia enerxética e unha menor sinistralidade laboral. A reutilización da auga implicou o seu emprego máis sostible, mentres que a potencial reutilización dos relaves converte este residuo nun recurso. PmL implicou unha mellora media do 12% en eficiencia e en produtividade. Pola súa banda, desde o punto de vista do ingreso operativo produciuse un incremento do 32.64%, coa previsión dun incremento maior ao 10% en anos sucesivos.

## **Summary**

Mining is one of the oldest activities of the human being, specifically the extraction of gold, using traditional processes, is associated with a disastrous environmental impact. An alternative for the benefit process to become a more sustainable activity is the application of the Cleaner Production tool, which seeks to minimize the use of non-renewable natural resources, the generation of pollutants and occupational risks. The application of the PmL tool was carried out at the El Puma plant using the United Nations Industrial Development Organization methodology based on the 5M method: Machine, Medium, Method, Material, Workforce. It was necessary to act on all stages of the process. The action on various machinery implied an improvement in energy efficiency as well as a lower occupational accident rate. The reuse of water has implied a more sustainable use of this resource and the potential reuse of tailings turns this residue into a resource. PmL has implied an average improvement of 12% in efficiency and productivity. On the other hand, from the point of view of operating income, there has been an increase of 32.64%, with the forecast of an increase of more than 10% in successive years.



# **1. Introducción**





El consumo excesivo de recursos ante el aumento progresivo poblacional y del sector industrial en la transformación de bienes y servicios, han provocado la disminución de materias primas, así como también el aumento progresivo de la contaminación ambiental.

Esta expansión descomunal, sin fronteras, en busca de materias primas nuevas, o ya existentes – cuál es el caso de la minería–, ha provocado efectos positivos como, por ejemplo, la existencia y/o creación de productos nuevos o derivados, innovación tecnológica para la producción de nuevos productos, así como también para la exploración y explotación de los mismos, el desarrollo económico y productivo de las sociedades, aspectos que han logrado potenciar a los países desarrollados y en vías de desarrollo.

La minería es una actividad laboral altamente lucrativa, que consiste en el proceso de explotación de un yacimiento con el fin de extraer diversos minerales (Herrera H, 2006). La actividad minera ha evolucionado sustancialmente durante el tiempo, de la explotación y extracción de metales preciosos de forma rústica y artesanal hasta el empleo de tecnologías avanzadas para obtener minerales, lo que ha permitido el desarrollo económico e industrial de las naciones; esta actividad ha provocado que las industrias exploren nuevos yacimientos a nivel local, nacional e internacional cuya finalidad es obtener materias primas que permitan seguir en el mercado.

Como actividad económica, la minería no es nociva, pero si invasiva, se da tal calificativo a los procesos previos al iniciar la actividad (explotación), y se convierte en nociva al emplear productos químicos en el proceso (beneficio) en la obtención de los metales (oro y plata) y posteriormente comercializarlos. El proceso de beneficio comprende básicamente: molienda, cianuración, desorción, fundición y refinación. Como resultado del proceso productivo se generan residuos sólidos y líquidos que habitualmente no son tratados adecuadamente y, en muchos de los casos, depositados en lugares que no están acondicionados, lo que provoca problemas de contaminación ambiental en el entorno; entendiendo por contaminación la presencia de cualquier agente químico, físico o biológico en lugares, formas y concentraciones que se encuentran en el ambiente, tales que sean nocivos para la salud, seguridad o bienestar del ecosistema (CEPAL - Naciones Unidas, 2005). En este caso, la contaminación generada por la minería es antropogénica, siendo uno de los principales problemas, en el ámbito medioambiental, la generación de residuos en la etapa de cianuración.

La actividad minera genera ingresos al Estado, así como también fuentes de trabajo sea local, nacional e internacional, permitiendo reducir la tasa de desempleo y mejorando la calidad de vida de las sociedades y la comunidad. Según el (Banco Central del Ecuador, 2021), la extracción minera genera al Ecuador ingresos considerables con la comercialización de sus minerales, lo que se puede verificar en los informes que emite el Banco Central del Ecuador hasta el primer trimestre del 2021 y que representa 226.8 millones de dólares el resultado de esta actividad extractiva y que forma parte del producto interno bruto.

La explotación minera y el proceso de beneficio en la extracción de metales preciosos como el oro (Au) y la plata (Ag), es la principal actividad económica de los cantones Piñas, Portovelo y Zaruma de la parte alta de la provincia de El Oro (República de El Ecuador), que desde los años 70 ha promovido el desarrollo y progreso de dichos cantones y la provincia.

Las plantas de beneficio, en muchos de los casos, laboran las 24 horas del día durante los 7 días de la semana con un total de 350 días laborables al año, lo que implica limitaciones a la hora de realizar mantenimientos correctivos y preventivos a la maquinaria, equipos, motores e instalaciones, generando desperdicios e ineficiencias productivas en el proceso de beneficio; así como también el limitado manejo de sus residuos sólidos y líquidos, lo que genera inconvenientes en el cumplimiento del plan de manejo ambiental de la empresa; así como también la limitada o poca gestión de los residuos sólidos, ya que el proceso de beneficio genera miles de toneladas de relaves con presencia de los insumos químicos utilizados para el procesamiento, los mismos que, en el mejor de los casos, se depositan en diferentes lugares como relleno (relavera comunitaria).

En el caso del agua residual, las plantas de beneficio producen efluentes cianurados con nivel altos de concentración de cianuro de sodio (350 a 1500 mg/L), los mismos que, sin ningún control en muchas de las veces, son descargados a las cuencas hídricas generando nefastos impactos ambientales a los ecosistemas.

La contaminación debida a las plantas de beneficio no solo se circunscribe a los efluentes cianurados, debe considerar la contaminación asociada a la cantidad de sólidos totales combinados con la presencia de metales disueltos tales como el cadmio, el arsénico, el antimonio y el manganeso; ello sin minusvalorar la contribución de otros metales tales como el hierro, el mercurio y el plomo, elementos de reconocida elevada toxicidad debida a su bioacumulación tanto en la biota como en el ser humano (Gaviria C & Meza S, 2006).

Por parte de diversas organizaciones internacionales (OMS, EPA, OPS) se reclama y urge a la racionalización en la utilización del cianuro en los efluentes mineros, de modo que su concentración, en cianuro total, no sea superior a 1 mg/L (Bernaola F, 2018). Cabe señalar que el valor máximo admisible, de cianuro total para el agua potable, por la norma técnica ecuatoriana INEN 1:108:2011 es que no supere 0,07 mg/L. Para (Salazar Ll, 2015), (Castillon H, 2015), expresan que entre las diversas alternativas que se han propuesto para el tratamiento de aguas cianuradas cabe mencionar: la precipitación química, la absorción de membrana gaseosa, el uso de metabisulfito de sodio, el empleo de peróxido de hidrógeno, el tratamiento térmico asistido por microondas, la electrodeposición de latón con EDTA por electrodiálisis (Mego E, 2016).

En un marco más amplio, aunque naturalmente aplicable a la minería, como respuesta a la creciente y preocupante contaminación, y en la búsqueda de que las actividades del ser humano fueran sostenibles (Herrera H, 2008) (Intriago L, 2011) (Garzón-Rivera & Gutiérrez-González, 2016), la Organización de las Naciones Unidas y la Oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente “PNUMA” y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) establecen en 1989 el concepto de producción más limpia “PmL” para que el sector industrial las adopte e implemente (ONUUDI).

PmL es definida como *“estrategia ambiental preventiva, integrada en los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos humanos y ambientales”*.

Esta herramienta tiene como enfoque la gestión, el reciclaje y la reutilización de los desperdicios resultantes del proceso productivo, así como también, el control de la calidad ambiental, la prevención de la contaminación, la seguridad y la salud en el trabajo, el entrenamiento y la motivación de los trabajadores y el control de pérdidas (Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles de Bolivia, 2005). (Zuluaga-Ortíz & Padilla-Acosta) La idea central es que una producción más limpia puede lograrse previniendo y/o reduciendo la generación del residuo en el origen, lo que de forma práctica implica optimización de los procesos y recursos, disminución tanto del riesgo ambiental para la salud como de los accidentes laborales, ahorros económicos de materias primas, agua y energía, ahorros en la gestión y tratamiento de las corrientes residuales, mejora de la imagen pública de la empresa,

aumento de la calidad del producto, reducción de productos fuera de especificaciones, racionamiento de la estructura del trabajo, superación de hábitos rutinarios y replanteamiento de procesos y procedimientos, igualmente facilita el cumplimiento de los requisitos ambientales de la empresa y permite su desarrollo sostenible. La implementación de los sistemas de producción más limpia implica un aumento de la eficiencia industrial, lo que redundará en una mejora de la rentabilidad y competitividad, a la vez que protege al trabajador, al medio ambiente y al consumidor, sin olvidar que contribuye a desarrollar una cultura de protección medioambiental.

La filosofía de los sistemas de producción más limpia casa perfectamente con lo establecido por la Constitución de la República del Ecuador, que en su Título II, respecto a Derechos, capítulo segundo, derechos del Buen Vivir, sección primera, agua y alimentación, en su artículo 12 establece: *“El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable, el agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescindible, inembargable y esencial para la vida”*. Por su parte, la en la sección segunda, Ambiente Sano, en su artículo 14: *“Se reconoce el derecho a la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kausay. “Se declara de interés público la preservación del ambiente, a conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”*. Finalmente, en la misma sección en su artículo 5 determina que: *“El estado promoverá, en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”*

Teniendo en cuenta lo anterior, los métodos de trabajo habituales en las plantas de beneficio en la parte alta de la provincia de El Oro (Ecuador), así como de los problemas que adolecen, se plantea como pregunta de investigación lo siguiente:

¿Es posible la aplicación de los sistemas de producción más limpia a la extracción minera, de forma que dicha actividad sea más sostenible y, así, reducir su impacto ambiental?

Con el fin de dar respuesta a dicha pregunta se han establecido los siguientes objetivos en la investigación correspondiente a esta tesis doctoral. Como objetivo general se fija la optimización de los recursos empleados en la extracción minera, mediante la aplicación de sistemas de producción más limpia para reducir el impacto ambiental generados por las

concesionarias mineras en la parte alta de la provincia de El Oro (Ecuador); mientras que los objetivos específicos son:

1. Identificar qué técnicas de producción más limpia se adaptan al proceso de extracción minera.
2. Implementar una metodología de producción limpia en el sector minero de la parte alta de la provincia de El Oro (Ecuador).
3. Establecer un desarrollo sostenible del sector minero.

La memoria de esta tesis doctoral se estructura de la siguiente manera. A este capítulo introductorio de la razón de esta investigación y de los objetivos planteados le sigue la descripción del estado del arte relacionado con la minería. Junto a ello se presentan los aspectos legales basados en los tratados y acuerdos internacionales en materia ambiental; así mismo, se hace referencia a la minería en Ecuador: el tipo de minería, los parámetros ambientales establecidos por las entidades de control ecuatorianas del aire, agua y suelo. Se incluyen, también, aspectos relacionando minería y contaminación, para finalizar con lo relativo a los sistemas de producción más limpia (PmL). Ya en el capítulo III se presenta todo en lo referente a la metodología de producción más limpia, establecida por ONUDI y PNUMA. Por su parte, el capítulo IV presenta los resultados y la discusión correspondiente a la implementación de la herramienta PmL en la planta de beneficio El Puma. La memoria finaliza con las correspondientes conclusiones de la investigación realizada y se cierra con diferentes anexos que completan la información presentada en los otros capítulos.

Finalmente cabe resaltar que nunca se ha aplicado la herramienta PmL en el ámbito de las plantas de beneficio, sirve, pues, esta investigación para abrir el camino de modo que una actividad milenaria de forma generalizada, no solo en la parte alta de la provincia de El Oro, se oriente y asiente en la dirección de la sostenibilidad.

## 1.1. Referencias

- Banco Central del Ecuador. (2021). Banco Central del Ecuador. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero072021.pdf>
- Bernaola F, R. I. (2018). Tioúrea como alternativa ambiental al uso del Cianuro: comparación termoquímica computacional y experimental de lixiviación. Universidad Continental, Facultad de Ingeniería. Huancayo: Repositorio Universidad Continental. Recuperado 23 de 07 de 2023, de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5028/2/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Bernaola\\_Flores\\_2018.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5028/2/IV_FIN_107_TE_Bernaola_Flores_2018.pdf)
- Castillon H, F. A. (2015). Dosificación de cloro y peroxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas cianuradas en minera Laytaruma S.A. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, Lima - Perú. Recuperado 23 de 07 de 2023, de [https://web.archive.org/web/20180505005132id\\_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3963/1/castillon\\_hf.pdf](https://web.archive.org/web/20180505005132id_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3963/1/castillon_hf.pdf)
- Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles de Bolivia. (2005). Guía técnica general de Producción más Limpia (Vol. 1). La Paz , Bolivia. Recuperado 23 de 07 de 2023, de [http://www.tecnologiaslimpias.cl/bolivia/docs/GUIA\\_PML.pdf](http://www.tecnologiaslimpias.cl/bolivia/docs/GUIA_PML.pdf)
- CEPAL - Naciones Unidas. (2005). Naciones Unidas. (N. Unidas, Editor) Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>
- Garzón-Rivera, L. A., & Gutiérrez-González, A. M. (2016). Estrategias de producción más limpia para el proceso de cromado en la empresa ZINC Ltda. Universidad Libre, Facultad de Ingeniería. Bogotá: Repositorio unilibre. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9491/TRABAJO%20DE%20GRADO%20ESTRATEGIAS%20DE%20PRODUCCI%C3%93N%20MAS%20LIMPIA%20PARA%20EL%20PROCESO%20DE%20CROMADO%20EN%20LA%20EMPRESA%20ZI.pdf>
- Gaviria C, A., & Meza S, L. (2006). Analysis of alternatives for the degradation of the cyanide in liquids and solids efluentes of the country of segovia, antioquia and in the ore dressing mill of the mineros nacionales, country of Marmato, Caldas. DYNA, 73(149), 31-44. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614904>
- Herrera H, J. (2006). Introducción a los fundamentos de la tecnología minera. Universidad Técnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Madrid: Repositorio Universidad Técnica de Madrid. Recuperado 23 de 07 de 2023, de [https://oa.upm.es/10433/1/Introd-Fundamentos-Tecn-Minera\\_20110927.pdf](https://oa.upm.es/10433/1/Introd-Fundamentos-Tecn-Minera_20110927.pdf)

- Herrera H, J. (2008). La protección medioambiental en minería y el desarrollo minero sostenible. Tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela técnica superior de ingenieros en minas, Madrid. Recuperado 23 de 07 de 2023, de [https://d1wqtxtslxzle7.cloudfront.net/38028215/MEDIO\\_AMBIENTE\\_EN\\_MINERIA-libre.pdf?1435605179=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa\\_proteccion\\_medioambiental\\_en\\_Mineria.pdf&Expires=169014](https://d1wqtxtslxzle7.cloudfront.net/38028215/MEDIO_AMBIENTE_EN_MINERIA-libre.pdf?1435605179=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa_proteccion_medioambiental_en_Mineria.pdf&Expires=169014)
- Intriago L, M. (2011). Implementación de un programa de producción más limpia (PML) en la empresa metalmeccánica ESACERO S.A. Universidad Internacional SEK, Ciencias Ambientales. Quito: Dspace. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/181/1/Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20programa%20de%20producci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20limpia.pdf>
- Mego E, E. (2016). Evaluación de la oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de minera coimolache. Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Post grado - Ciencia. Cajamarca - Perú: Repositorio Univesidad de Cajamarca. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1301/TESIS%20MAESTRIA%20ENRIQUE%20MEGO%20Rev.3%20%28LDE%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ONUUDI. (s.f.). Manual PmL - Introducción a la Producción más Limpia. Recuperado 23 de 07 de 2023, de [https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook_0.pdf)
- Salazar Ll, K. G. (2015). Rediseño del sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia Santiago de Calpi, Cantón Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba: Dspace-epoch. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/4740/1/96T00318%20UDCTFC.pdf>
- Zuluaga-Ortíz, R. A., & Padilla-Acosta, L. R. (s.f.). Propuesta de un programa de producción más limpia como herramienta para la gestión ambiental en el restaurante. Universidad Tecnológica de Bolívar, Ingenierías. Cartagena: Dspace. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/963/0074736.pdf?sequence=1&isAllowed=y>





## **2. Antecedentes y estado del arte**



2. Antecedentes y estado del arte.....	15
2.1. La minería .....	19
2.1.1. Tipos de extracción en minería.....	20
2.1.2. La minería en Ecuador.....	20
2.1.2.1. La minería en la provincia de El Oro.....	22
2.1.2.2. Producción minera local.....	24
2.1.2.3. La minería en la parte alta de la provincia de El Oro.....	25
2.1.2.4. Plantas de beneficio.....	27
2.1.2.5. Plantas de beneficio El PACHE.....	31
2.1.2.6. Legislación .....	31
2.2. Minería y contaminación.....	33
2.2.1. Tratados, acuerdos y programas internacionales relacionados con la protección del medio ambiente.....	355
2.2.2. Minería y contaminación en las plantas de beneficio El Pache.....	36
2.2.3. Minerales contaminantes en la minería .....	38
2.2.3.1. Residuos de la extracción.....	38
2.2.3.2. Residuos del tratamiento .....	39
2.3. Los sistemas de Producción más Limpia .....	41
2.3.1. Desarrollo sostenible .....	41
2.3.2. ¿Qué son los sistemas de Producción más Limpia? .....	42
2.3.3. Principios y herramientas de la Producción más Limpia.....	43
2.3.4. Ventajas de la Producción más Limpia .....	45
2.3.5. Marco legal de la Producción más Limpia en Ecuador .....	46
2.3.6. Casos de aplicación de la Producción más Limpia.....	46
2.4. Referencias .....	49



## **2.1.La minería**

Desde los comienzos de la humanidad se han utilizado los recursos naturales con el objetivo de preparar herramientas, lo que ayudó a la caza y a la pesca; de la misma forma se utilizaban materiales para preservar la vida de los habitantes. A través de la historia “La minería es una de las actividades económicas más antigua de la humanidad” (Marinho Amorin & Reis Rochael, 2019). El análisis de diversas herramientas ha llevado a la conclusión de que la minería comenzó en el Neolítico, Marinho & Reis lo sitúan sobre el 5.000 A.C. consistiendo en la explotación, extracción, aprovechamiento selectivo de minerales y otros materiales metálicos y no metálicos para su comercialización (Vera, 2022)

Recientemente, las actividades mineras han incrementado el grado de inversión y desarrollo de la explotación y venta; de tal forma que ha evolucionado convirtiéndose en el motor de desarrollo de las ciudades, regiones y países a nivel mundial. (Massa-Sánchez et al., 2018) indican que la minería juega un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo económico de las naciones.

(Motta-Pascuas et al., 2018) señalan que la aplicación de las malas prácticas mineras, así como también el desconocimiento de los controles ambientales y de riesgos laborales, son los elementos principalmente relacionados con una alta tasa de accidentabilidad y muerte en la ejecución de las labores mineras. La actividad minera implica grandes riesgos para las personas que se dedican a esta actividad, a la vez que es inequívocamente reconocida como fuente de contaminación medioambiental.

Numerosos estudios han evidenciado la considerable contaminación ambiental que se produce en el territorio cercano al área de explotación y extracción; por ejemplo, en la extracción de carbón, o de hierro, esta actividad es fuente de preocupación como fuente de contaminación del aire, suelo, acústica y del agua (Shi & He, 2012).

(Pérez O & Betancur V, 2016) manifiestan que “la maldición de los recursos naturales” es un claro ejemplo de lo que se aprecia hoy en los países de América Latina, no solo los problemas asociados a la realización de actividades de extracción minera, sino también las disputas y conflictos territoriales por apropiarse y defender las zonas ricas en metal aurífero.

### **2.1.1. Tipos de extracción en minería**

En lo que se refiere a la extracción se pueden encontrar las siguientes modalidades:

➤ **Subterránea**

Se basa en la excavación bajo tierra, donde la maquinaria debe ser de un tamaño mucho menor para ingresar a los túneles que se forman para realizar la extracción.

➤ **Cielo abierto**

El material es extraído de la superficie del suelo; la extracción se realiza a nivel de la tierra con máquinas de transporte.

➤ **Por disolución**

Técnica muy poco conocida que consiste que preparar una serie de pozos a diferentes niveles en los que se inyecta agua a muy alta temperatura conteniendo algunos gases, provocando la disolución de elementos minerales ubicados en las paredes y en el fondo del pozo, que al mezclarse con el agua son drenados a otros pozos para su posterior extracción a la superficie.

### **2.1.2. La minería en Ecuador**

La minería en América Latina tiene una larga historia, iniciada desde la época colonial, lo que la convirtió en uno de los trabajos más duros y difíciles. Los españoles llegaron en 1594 trayendo esclavos negros para trabajar en las llamadas mitas; las mitas fueron designadas para trabajar en las minas extrayendo minerales preciosos; siendo los obrajes y las encomiendas las principales fuentes de explotación de minerales, textiles y esclavos (Pérez-Sáenz, 1985)

La mina se dedica principalmente a la extracción de minerales o metales preciosos tales como el oro. El oro y la plata fueron dos minerales que gozaron de mayor apogeo para los conquistadores por el valor que poseían dichos metales. Muchos españoles llegaron a esta tierra con la ambición de enriquecerse a toda costa, decidiendo investigar y redescubrir algunos lugares donde abundaba el oro; así, en 1549 fundaron la villa de Zaruma, de la que se extrajo oro hasta finales del siglo XVIII (Cortázar, 2005).

El oro y la plata se extraían principalmente de los ríos, así como de túneles en las rocas (Medina A. , 2015). Los sitios notables incluyen Nambija, Zaruma y Río Santa Bárbara en el siglo XVI. Un caso a resaltar es el procesamiento del platino por parte de las culturas

precolombinas en los lavaderos de los ríos de la provincia de Esmeraldas, ya que este metal fue descubierto por el mundo occidental a principios del siglo XVIII. Después de la conquista española se redescubrieron conocidos sitios de explotación y se establecieron asentamientos humanos en sus inmediaciones; se sabe que los españoles estuvieron en Nambija y que fundaron la villa de Zaruma en 1549 (Caiza, 2013), de la que se extrajo oro hasta finales del siglo XVIII (Cortázar, 2005)

El 1897 la empresa SADCO (Southern American Development Company) solicita al estado el control de los principales depósitos de Zaruma, hasta 1950; en los 53 años de permanencia, SADCO recuperó unos 3.5 millones de onzas de oro y 17 millones de onzas de plata, con su centro de operaciones en la ciudad de Portovelo (Castillo, 2018). En 1950 SADCO pasó el control de la mina a la compañía CIMA, la que luego se la entregó al estado ecuatoriano, quien no pudo ocuparse de su administración, siendo abandonada en 1992. Desde 1984 se abrieron en la zona cientos de pequeñas minas, la mayoría de las cuales recoge material con herramientas rudimentarias, equipos simples y largas jornadas de arduo trabajo; a menudo trabajan grupos informales y se reparten las ganancias del oro que hayan encontrado (González, 2011)

Las minas de Nambija fueron abandonadas por los españoles al igual que la ciudad Zamora de los Alcaldes; posteriormente, fueron redescubiertas en 1980 por colonos de la provincia, quienes iniciaron su rápida explotación con tecnología de los años 50 y que, debido a la codicia, causaron el caos que hasta la actualidad impera en la zona.

En Ecuador la minería alcanza su apogeo a partir de las primeras comunidades establecidas en los diferentes puntos del territorio ecuatoriano, quienes son los impulsores de los actuales avances mineros en el país (López Fabra, 2014)

La minería se acrecentó en el siglo XX, porque esta actividad generó un gran interés en las grandes empresas extranjeras, lo que encabezó el nacimiento de fenómenos tales como: el mejoramiento e innovación tecnológica tanto para la exploración como para la explotación, exploración de nuevos yacimientos e interés por la extracción de nuevos minerales, aplicación de técnicas para la extracción de los metales preciosos, así como también la introducción de procesos convencionales (artesanal) para la obtención de los metales preciosos, fenómenos que marcaron en la historia del capitalismo mundial.

El sector minero ha cobrado importancia en el contexto de la economía ecuatoriana, por lo que el gobierno nacional ha realizado una serie de modificaciones al marco legal con el fin de establecer reglas para la aplicación de la Ley Minería (Ministerio del Ambiente, 2018) y sus leyes conexas, cuyo principal interés es: aumentar la productividad del sector minero, promover la participación de los actores mineros en el territorio nacional, reducir el impacto ambiental y social de la actividad minera y aumentar el nivel de modernización, investigación y desarrollo tecnológico del sector minero (Gaona & Vargas, 2022)



**Figura 2.1. Mapa político de la provincia de El Oro**

**Fuente: MAE**

**Tomado del Plan de Desarrollo del Cantón Portovelo** (GAD's del cantón Portovelo, 2014-2019)

### **2.1.2.1. La minería en la provincia de El Oro**

La provincia de El Oro (fig. 2.1.), conocida también como la provincia bananera, se encuentra ubicada al suroeste de Ecuador forma parte de la región litoral con extensión territorial de 5791,85 km<sup>2</sup>, cuya extensión representa el 2.15% del territorio nacional, cuenta aproximadamente con 715.751 habitantes, según la proyección al 2020 del último censo de población y vivienda del 2010 realizado por el INEC (Ollague et al., 2019).

De acuerdo a (León & Chaca, 2020)



“El Oro posee gran diversidad y riqueza natural, cultural, arqueológica, ecológica, paisajística y gastronómica que se debe aprovechar y poner en valor; debido a que tiene varias zonas: montañosa, bosque húmedo, bosque seco, costa y archipiélago. La provincia se divide en 14 cantones tales como: Arenillas, Atahualpa, Balsas, Chilla, El Guabo, Huaquillas, Las Lajas, Machala, Marcabelí, Pasaje, Piñas, Portovelo, Santa Rosa y Zaruma. El sector productivo es favorecido por las excelentes condiciones climáticas y ecológicas de la llanura occidental, la provincia tiene un alto potencial productivo destacando los cultivos de: banano, cacao, arroz, café, caña de azúcar, maíz, cítricos, frutales y hortalizas; en cuanto a la producción pecuaria encontramos ganadería bovina de leche y carne; avicultura, porcicultura y cunicultura”.

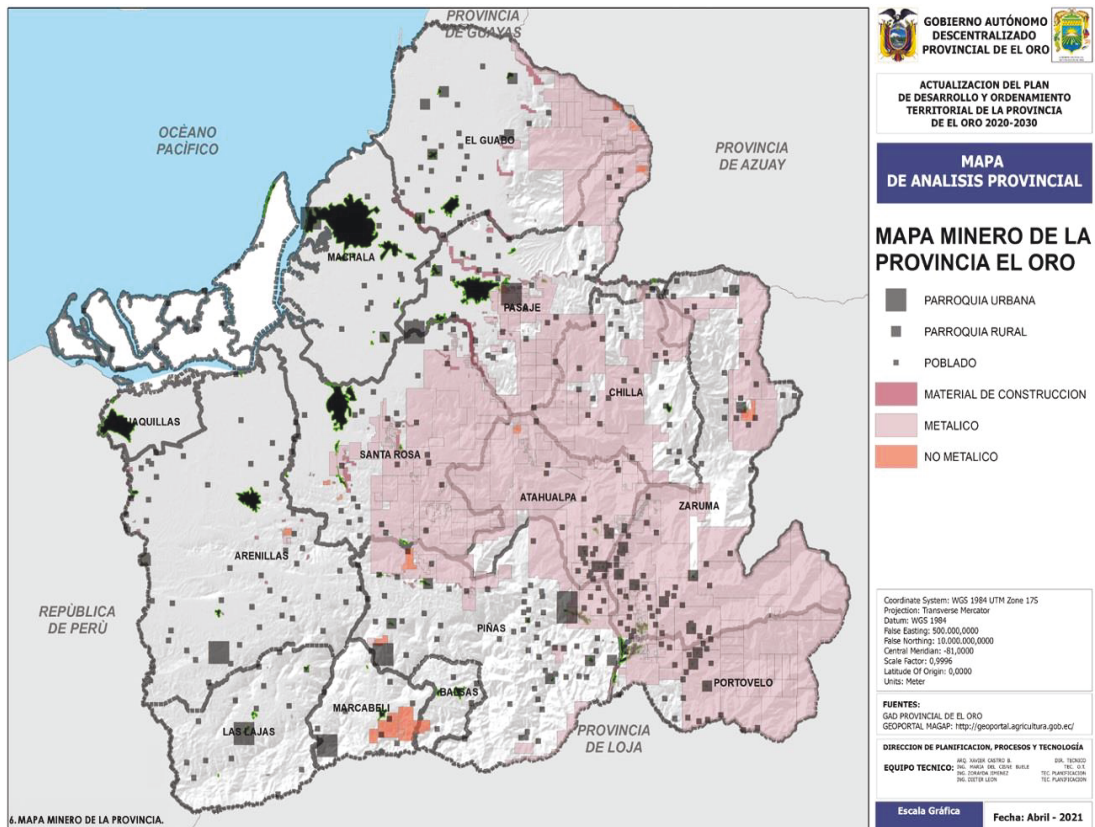


Figura 2.2. Mapa Minero de la provincia de El Oro

Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de El Oro 2020-2025

Elaborado por: (Dirección de planificación del Gobierno Autónomo Provincial de El Oro, 2021)

La provincia también tiene un alto potencial acuícola a través del cultivo de camarón y tilapia que, junto con la pesca artesanal, y la recolección de mariscos, son una importante actividad económica; la minería es otra actividad económica importante, siendo el oro, la plata y los materiales pétreos los principales yacimientos (fig. 2.2).

#### 2.1.2.2. Producción minera local

La provincia posee una gran historia minera ya que zonas como Santa Rosa, Portovelo y Zaruma se han convertido en referentes en el mapa de Ecuador, caracterizándose por su riqueza en mineral aurífero. La explotación de oro se ha localizado tradicionalmente en la faja de Zaruma y Portovelo (fig. 2.3.), extendiéndose actualmente a otras zonas de la provincia como los cantones de: Santa Rosa (zona Birón, Valle Hermoso), El Guabo (zona de San Miguel de Brasil), Piñas, Atahualpa (Ayapamba) y Portovelo; este último es el cantón de la provincia de El Oro, alberga la mina más grande de Sudamérica y probablemente del mundo (Vilela-Pincay et al., 2020) (SEDPGYM-ECUADOR, 2013)



Figura 2.3. Ubicación de los cantones Portovelo y Zaruma al sur de Ecuador

Fuente: Lely Ladines 2003 (Loayza T & Carrión M, 2017)

### **2.1.2.3. La minería en la parte alta de la provincia de El Oro**

La provincia de El Oro está formada por tres zonas: la llanura costanera o parte baja, la parte alta y el archipiélago de Jambelí, la segunda, denominada El Altiplano Orense, se encuentra enclavada en la cordillera de los Andes, es una zona de volcanismo antiguo, las cordilleras se presentan con superficies onduladas y está constituida por los sectores de Saracay, Balsas, Marcabelí, Piñas, Atahualpa, Portovelo, Zaruma hasta las cordilleras de la hoya Puyango o Zaruma (Carrión et al., 2023). La zona de Zaruma – Portovelo, es uno de los cinco distritos mineros del país, el de mayor antigüedad e importancia; de este distrito, específicamente Portovelo, el imperio de los Incas abastecía del brillante metal, para las ofrendas y monumentos, a las ciudades importantes del Imperio, lo que da una idea de cuán importante es esta ciudad en la historia minera del país (GAD's del cantón Portovelo, 2020). La franja minera de Portovelo (GAD's del cantón Portovelo, 2021), como asiento minero se remonta al año de 1549 cuando fue creado por los españoles como campamento para la explotación de las minas; estuvo poblado por aborígenes que se dedicaban a la extracción de oro del río amarillo, y se tienen referencias que al sector se lo llamó Curipamba o Pampa de Oro. La actividad minera es y será la principal base económica del cantón, ya que es el medio de sustento de las personas que lo habitan, incluyendo otras que vienen a acceder a las actividades mineras de otras provincias, incluso de la república del Perú (Ministerio de Energías y Minas, 2020)

Portovelo se encuentra ubicado al Suroeste del Ecuador, en la parte alta de la Provincia de El Oro (fig. 2.3.), por su ubicación geográfica tiene una irregular topografía siendo parte de la región costa o litoral.

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de Portovelo (2014-2019) existen 3 tipos de suelo: arcilloso, rocoso y arenoso; predomina el suelo arcilloso (90%), exceptuando la zona minera cuyo suelo es rocoso (2%) y en las riberas de los ríos existen suelos arenosos (8%). El Cantón cuenta con vetas polimetálicas de oro, plata y zinc; posee canteras de material de base y sub-base en todo el cantón, cubriendo un área de acción promedio de 15 kilómetros cuadrados.

Los recursos minerales disponibles que se encuentran en la parte alta, y en el caso del Cantón Portovelo se destaca por su volumen el oro, seguido por la plata y el cobre. Las proporciones de mineral que se vienen explotando con respecto al volumen de yacimientos

explotable están en el intervalo del 13% al 33%, lo que significa que existen enormes reservas de este mineral aun por explotar. En el Cantón existen 37 concesiones mineras, y en la actualidad funcionan 90 plantas de beneficio ubicadas en el Pache, vía al Pindo principalmente.

La franja minera de Zaruma, conocida también como Villa Real de San Antonio del Cerro de Oro de Zaruma adquirió gran relevancia por su riqueza aurífera, razón por la cual el rey de España, Felipe II le otorgó el 17 de octubre del 1593 el título “Villa de San Antonio del Zerro de Oro de Zaruma” (Villa Real de San Antonio del Cerro de Oro de Zaruma).

El 29 de noviembre de 1882, Zaruma conjuntamente con los cantones de Machala y Santa Rosa proclaman la creación de una nueva provincia que se llamaría El Oro, en honor a la riqueza aurífera, de la cual es la capital hasta 1884; el 23 de abril del mismo año, con la Nueva Ley de División Territorial se reconoce la creación de la provincia de El Oro, pero con su capital en Machala (fig. 2.1.).

La mayor parte de su superficie de Zaruma está constituida por rioloticas andinas y lavas piroplásticas, estas formaciones corresponden al 54,5% de su superficie. Como se indica en la tabla 2.1, la mayor parte del territorio se encuentra bajo algún tipo de derecho minero; el 67,53% corresponden a 163 concesiones mineras que extraen recursos metálicos como el oro.

**Tabla 2.1. Matriz descriptiva de las formaciones geológicas**

<b>FORMACIÓN</b>	<b>LITOLOGÍA</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>%</b>
Volcánicos	Andesitas a riolitas, piroclastos	22764,7	34.93 %
Pisayambo	Gabro, diorita	889,9	1.37%
Unidad La Victoria	Branito gnéisico peralumónico	41,7	0.06%
	Granodiorita, diorita, pérfido	5913,8	9.08%
Volcánicos Saraguro	Lavas andesíticas, a riolíticas, piroclastos	35534,8	54.54%
	Sin información	14,1	0.02%
Total		65159,1	100.00%

**Fuente. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca**





**Figura 2.4. Material de mina  
(cuarzo)**



**Figura 2.5. Trituradora de piedra**

#### **2.1.2.4. Plantas de beneficio**

Son empresas constituidas para el procesamiento del material de mina (cuarzo) y obtener como resultado la extracción de metales (oro y plata). El proceso de beneficio comprende de los siguientes procesos.

##### ✓ Molienda

El proceso de molienda comprende desde la recepción del material de mina (fig. 2.4.), los mismos que son ubicados en el espacio asignado (lote o servicio) para cada molino. Cada área de recepción cuenta con una máquina trituradora (fig. 2.5.), para triturar la piedra que no pueda procesar el molino, el mismo que se encuentra junto al ingreso de material de mina para su procesamiento. El procesamiento del material de mina es realizado por un operador que, mediante la ayuda de herramientas manuales (lampas), alimenta el molino y, en caso de que durante el procesamiento se encuentre con una piedra que el molino no pueda procesar, el operador enciende la máquina trituradora y coloca manualmente (levantamiento a peso) la piedra para su trituración, triturado que luego se vuelve a depositar en el molino.



**Figura 2.6. Estructura interna del molino**



**Figura 2.7. Salida del material procesado**

La figura 2.6. representa la estructura interna del molino, el cual cuenta con aspersores para agua que choca en las paredes del molino generando caudal suficiente para que el material procesado, en forma de arena, fluya por los conductos de salida (fig. 2.7).



**Figura 2.8. Canales de transporte de material**



**Figura 2.9. Tanques de sedimentación**





**Figura 2.10. Transporte de material sedimentado**



**Figura 2.11. Bomba neumática para transporte de material sedimentado**

Los conductos de salida (fig. 2.8.) se conectan a los canales (fig. 2.9.), los cuales habilitan el transporte del material procesado a los tanques de sedimentación (fig. 2.11.). El material sedimentado es transportado mediante una bomba neumática ((fig. 2.11.) a los tanques de cianuración (figs. 2.12. y 2.13.).

#### ✓ Desorción

Una vez concluido el proceso de cianuración, el carbón activo cargado (preñado) de los metales preciosos oro y plata, es transportado y almacenado en los tanques de desorción (fig. 2.14) para su procesamiento, que mediante electrolisis (fig. 2.15) lleva a la obtención de los metales en forma de lana metálica.



**Figura 2.12. Tanques de cianuración**



**Figura 2.13. Cianuración de material útil**



**Figura 2.14. Tanque de desorción**



**Figura 2.15. Celdas electrolíticas**

El material obtenido por electrolisis es sometido a fundición con la finalidad de pasarlo de estado sólido a líquido y, así, poder separar las impurezas (escorias) que contienen los metales preciosos. El propósito de la refinación es aumentar y garantizar la pureza de los metales preciosos (fig. 2.16)





**Figura 2.16. Área de fundición y refinación**

#### **2.1.2.5. Plantas de beneficio El PACHE**

Tal como se indicó previamente, en el sector existen aproximadamente 90 plantas pequeñas de tratamiento de minerales, que se dedican gran esfuerzo a la recuperación de oro (Au), y eventualmente de plata (Ag), mediante procesos que en gran parte son manejados con tecnología de muy bajo rendimiento, generando aproximadamente más de 400.000 toneladas de residuos o relaves mineros por año (Cáceres, 2001). Estas plantas de beneficio en su mayoría se encuentran al borde de los ríos cuya morfología limita de espacios adecuados para la construcción de relaveras técnicamente diseñadas, obligan a la acumulación parcial y temporal de dichos desechos, que sucesivamente son vertidos a los ríos por el socavamiento debido a la temporada invernal, convirtiéndose en fuente de contaminación con metales pesados, sólidos en suspensión y reactivos químicos (Medina J., 2017).

#### **2.1.2.6. Legislación**

La relevancia económica y medioambiental de esta actividad es tal que en todos los países se encuentra regulada por el Estado, no siendo Ecuador una excepción.

De acuerdo al Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, en su suplemento 517 del 29 de enero del 2009 con modificación del 24 de noviembre del 2011 y que actualmente se encuentra vigente, se expide la Ley de Minería, donde consta en su Capítulo VII. De las Fases de la actividad (Ministerio del Ambiente, 2009)

“Artículo 27. Fases de la actividad minera.

Para la aplicación de la siguiente Ley, se describen las fases de la actividad minera y éstas son:

➤ Prospección.

Es la etapa inicial la cual consiste en buscar zonas mineralizadas.

➤ Exploración.

Consiste en determinar el tamaño y la forma del yacimiento, así como la cantidad y calidad del mineral disponible; éstas pueden ser iniciales o avanzadas, ya que también incluyen la evaluación económica del yacimiento, su viabilidad técnica y su plan de explotación (Torres, 2015)

➤ Explotación.

Incluye todas las operaciones técnicas, trabajos y actividades mineras encaminadas a la preparación y desarrollo del yacimiento, así como la extracción y el transporte de minerales (Herrera, 2017)

➤ Beneficio

Consiste en el tratamiento de los minerales resultantes de la explotación, mediante la aplicación de procesos físicos, químicos y/o metalúrgicos destinados a mejorar su contenido útil (Viteri, 2021)

➤ Fundición

Es el proceso de fusión de los minerales concentrados o precipitados para separar el producto metálico a obtener de los metales acompañantes (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

➤ Refinación

Es cuyo proceso destinado a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza.

➤ Comercialización

Es la compraventa de minerales o la celebración de otros contratos que tengan por objeto la negociación del cualquier producto resultante de la actividad minera.

➤ Cierre de minas.

Este paso ocurre al término de la actividad minera y el desmantelamiento de las instalaciones utilizadas en cualquiera de las fases referidas previamente, si no fueren de interés público, incluyendo la reparación ambiental de acuerdo al plan de cierre debidamente aprobado por la autoridad ambiental competente (pág. 7)

En relación a las plantas de beneficio, fundición y refinamiento la Ley de Minería, de Ecuador en su art. 45. Autorización para la instalación y operación de plantas, establece:

“El Ministerio Sectorial podrá autorizar la instalación y operación de plantas de beneficio, fundición o refinación a cualquier persona natural o jurídica, nacional o extranjera, pública, mixta o privada, comunitarias y de auto gestión, que lo solicite de conformidad con lo establecido en la presente ley y su reglamento general. No será requisito ser titular de una concesión minera para presentar dicha solicitud”.

Para la pequeña minería el estado autorizará el funcionamiento de plantas de beneficio de minerales, constituidas exclusivamente por trituración y molienda, con una capacidad instalada de 10 toneladas diarias y plantas de beneficio que incluyan trituración, molienda, flotación y/o cianuración con una capacidad mínima de 50 toneladas diarias.

Por lo que respecta a los derechos de concesionario minero se ha legislado según sigue.

Art. 46. Derechos del concesionario minero para la instalación de plantas.

“Los titulares de concesiones mineras pueden instalar y operar plantas de beneficio, fundición y refinación, al amparo de sus concesiones, sin necesidad de solicitar la autorización prevista en el artículo anterior, siempre que dichas plantas se destinen a tratar los minerales de las mismas. El tratamiento de minerales ajenos a la concesión requerirá la autorización respectiva”

## **2.2. Minería y contaminación**

Los materiales como oro, plata, cobre, hierro, carbón, petróleo, ... son importantes para el desarrollo y algunas necesidades del ser humano, pero su obtención no es sustentable, debido a que es una actividad basada en la extracción de recursos no renovables, dejando así consecuencias al medio ambiente (Angarita & Gómez, 2023)

Las actividades mineras comprenden diversas etapas, cada una implica impactos ambientales particulares. En un sentido amplio, estas etapas son: prospección y exploración de yacimientos, desarrollo y preparación de minas, explotación de minas, tratamiento de los minerales obtenidos en instalaciones respectivas con el objetivo de obtener productos comercializables (Sánchez et al., 2019)

Todas estas etapas tienen impactos ambientales negativos, como daños a la tierra, liberación de productos tóxicos, drenaje ácido de minas, polvo, ruido, desechos de roca y relaves, emanación de gases producidos por la fundición y refinación de los metales, ello además de efectos negativos sobre la salud y la seguridad de los trabajadores.

Las actividades mineras han provocado y provocan fuertes impactos ambientales, debido a la destrucción de los suelos naturales y a la formación de nuevos suelos, los cuales presentan notables limitaciones, dificultando el desarrollo de la vegetación, ello sin considerar la contaminación por relaves en las fuentes de agua ni los elevados niveles de plomo y azufre que se permanecen en el aire (Vilela-Pincay et al., 2020) (La Rotta & Torres, 2017)

Aunque las operaciones mineras cubren áreas relativamente pequeñas, su impacto ambiental puede ser muy grande; la contaminación por metales ocurre como resultado del drenaje ácido de mina (DMA) y la erosión de relaves (Oviedo-Anchundia et al., 2017)

El oro representa solo 0.004 g/ton de la corteza terrestre, siendo uno de los elementos más buscados, con una producción mundial anual aproximadamente de 2500 toneladas. Los métodos actuales de extracción de oro en los países en desarrollo causan problemas considerables, que van desde la deforestación hasta la contaminación por arsénico, cianuro y mercurio (Curtis & Mousavi, 2014). La actividad minera causa constante deterioro del medio ambiente en diferentes niveles, y aunque muchos de ellos han sido minimizados, quedan otros que bastante notorios a los que urge poner remedio.

En el anexo 1 se reproduce en parte, la normativa ambiental establecida por el Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador en relación al control y prevención de la contaminación (aire, agua y suelo).

### **2.2.1. Tratados, acuerdos y programas internacionales relacionados con la protección del medio ambiente**

De forma muy concisa se citan diferentes instrumentos de dimensión internacional relacionados con la protección del medio ambiente.

✓ Convención RAMSAR 1971

Su misión es la conservación y el uso racional de los humedales a través de la acción local, nacional y a través de la cooperación global para contribuir al logro del desarrollo sostenible a nivel internacional (Izquierdo et al., 2016)

✓ Declaración de Estocolmo 1972

Emitido por la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada del 5 al 16 de junio de 1972 en Estocolmo, Suecia (López, 2019) donde por primera vez se discuten temas ambientales, se enfatiza su valor para el ser humano y otros organismos vivos, y se promueven 27 principios acordados por más de 100 países participantes.

✓ Protocolo de Montreal 1987

Da lugar a la creación de protocolos cuya finalidad es el cuidar la capa de ozono mediante la reducción de la producción y el consumo de diversas sustancias que manifiestamente provocan su agotamiento (Martínez et al., 2019)

✓ Convención sobre biodiversidad biológica 1992

Es un tratado universal jurídicamente vinculante con tres objetivos principales: la conservación de la biodiversidad, la implementación sostenible de sus elementos y la cooperación justa y equitativa en los beneficios derivados de la implementación de los recursos energéticos (Bretón, 2018)

✓ Convención de Cambio Climático 1992

Una convención con el objetivo de fortalecer la conciencia pública a escala mundial sobre los inconvenientes asociados con el calentamiento global (Aviléz et al., 2016)

✓ Cumbre de la Tierra Río de Janeiro 1992

Las Naciones Unidas promueven esta conferencia sobre el medio ambiente y el desarrollo, celebrada en Río de Janeiro-Brasil, cuyo logro es el equilibrio justo entre las necesidades económicas, sociales y ambientales (Pie & Rodríguez, 2022)

En la cumbre se aclara el concepto de desarrollo sostenible como:

“Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible; tienen derecho a la vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.”

✓ Protocolo de Kioto 1997

Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Calentamiento Global (CMNUCC), y un acuerdo universal que tiene como objetivo minimizar las emisiones de siete gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático: ozono troposférico (O<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Ortiz, 2019) y los otros gases industriales fluorados tales como los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos, el hexafluoruro de azufre y el trifluoruro de nitrógeno (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), 2022)

✓ Convención de Johannesburgo 2002

Cumbre para que el planeta evolucione hacia un futuro sostenible, donde las personas satisfagan con éxito sus necesidades sin afectar el medio ambiente; el desarrollo sostenible es un llamado a un enfoque diferente del desarrollo y a un tipo diferente de cooperación global (Molina, 2018)

✓ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2011.

Este programa actúa como catalizador, facilitador, educador para promover el uso racional y el desarrollo sostenible del medio ambiente en todo el mundo (Rosales, 2020); su mandato es brindar liderazgo, promover esfuerzos conjuntos para proteger el medio ambiente, alentar, informar y capacitar a las naciones y a los pueblos para mejorar la historia sin comprometerla para las futuras generaciones (Calispa, 2018)

### **2.2.2. Minería y contaminación en las plantas de beneficio El Pache**

El beneficio constituye el enlace tecnológico entre la extracción o arranque de materias primas (minerales) y su transformación en materiales de uso industrial; las técnicas empleadas sirven para concentrar el fino material valioso después de separarlo del material estéril que lo compone (Valencia & Aguilar, 2021). La amplia variedad de materias primas y las grandes diferencias entre los depósitos de mineral requieren una amplia gama de técnicas de beneficio, desde simples procesos de clasificación y lavado de arena y grava,

hasta sofisticadas técnicas de enriquecimiento de metales finamente intercalados (Gobierno de México, 2017)

Los problemas generados a raíz de la explotación y extracción de metales preciosos como oro y plata principalmente han repercutido en el medioambiente del Distrito Minero Portovelo – Zaruma – Minas Nuevas.

**Tabla 2.2. Niveles de producción de oro en Portovelo período 2014 – 2019\***

<b>MOLIENDA Y CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA</b>	
Número de unidades de molienda	150
Toneladas diarias por unidad de molienda	10
Toneladas procesadas día (molienda)	1500
Oro recuperado (gramos) por tonelada	10
Producción oro (kg) / día	15
Producción anual de oro (kg)	5475
Ingreso anual (\$) por venta de oro (\$58,00 g/oro -04/22-)	317.550.000

\* Fuente. Plan de desarrollo del Cantón Portovelo (2014-2019)

**Tabla 2.3. Recuperación de oro por cianuración u otros. Período 2014 – 2019\***

Toneladas cianuradas/mes	40.000
Oro recuperado (gramos) por toneladas de arenas	5,50
Producción mensual de oro (toneladas)	0,220
Producción oro /año anual (toneladas)	2.640
Ingreso anual (\$) por venta de oro (\$58,00 g/oro -04/22-)	153.120.000

\* Fuente. Plan de Desarrollo Cantón Portovelo (2014-2019)

**Tabla 2.4. Ingreso total en dólares por venta de oro al año\***

Proceso de molienda y concentración gravimétrica	317.550.000
Proceso de cianuración u otros	153.120.000
Ingreso total a anual	470.670.000

\* Fuente. Plan de Desarrollo Cantón Portovelo (2014-2019)

Las características de procesamiento y la contaminación por metales pesados en su mayoría, han afectado a las fuentes naturales de agua, en cuyos cauces existen poblaciones, las cuales se encuentran ubicadas a las orillas de los ríos de la cuenca hidrográfica Puyango – Tumbes de Ecuador y Perú (Vilela-Pincay et al., 2020)

En el distrito minero Zaruma–Portovelo, existen 109 plantas de beneficio, de las cuales en torno de 90 son consideradas de pequeña producción. Como se muestra en la tabla 2.2, se puede estimar la explotación intensiva de minerales, preferentemente oro; teniendo en cuenta que los relaves resultantes del procesamiento gravimétrico son trasladados a concentradoras para su procesamiento por cianuración y extraer el máximo beneficio del mineral extraído; en las tablas 2.3. y 2.4. es posible valorar lo beneficioso que es el proceso de cianuración.

En los últimos años, la industria minera ha experimentado un gran auge, gracias a los grandes beneficios recibidos, el gobierno ha creado mecanismos para la reactivación económica de esta actividad, reformando sus leyes y reglamentos que benefician a quienes realizan estas actividades; así mismo, en el marco de estas leyes, también se establece que dicha actividad debe seguir, cuidar y proteger el medio ambiente, cuyo fin es hacerlo sustentable y sostenible en el tiempo, respetando las normas ambientales para el buen vivir, para las generaciones presentes y futuras (Rodríguez et al., 2020)

### **2.2.3. Minerales contaminantes en la minería**

En la mayoría de las operaciones mineras hay una serie de procesos que conducen a la concentración de un producto más o menos comercializable; los residuos mineros se caracterizan por los procesos en los que se generan (Vera, 2022).

#### **2.2.3.1. Residuos de la extracción.**

Se puede incluir el suelo vegetal, los terrenos de recubrimiento, la roca estéril y el mineral de baja ley (fig. 2.17). Salvo los últimos, los demás se tratan simplemente de materiales inertes cuya principal problemática es el gran volumen generado, que precisa grandes escombreras para su disposición en las proximidades del yacimiento (Díaz Álvarez, 2013).





**Figura 2.17. Residuos de la extracción minera**

**Fuente. Relavera el Tablón**



**Figura 2.18. Proceso de flotación**

**Fuente. Planta de beneficio Zambrano**

Los minerales de baja ley, también se acopian en escombreras próximas al yacimiento de forma separada a los anteriores ante la previsión de su posterior recuperación (Herrera & Ortiz, 2006)

### **2.2.3.2. Residuos del tratamiento.**

Pueden ser de diversos tipos, variando con el tratamiento sometido a los materiales.

- **Flotación.** Proceso que genera lodos residuales, constituido por una suspensión acuosa de la mena triturada (fig. 2.18), a la que se le ha extraído el componente

mineral de interés mediante un proceso de flotación diferencial; contiene también los residuos de los reactivos empleados en el proceso de tratamiento (Amador-Díaz et al., 2015)



**Figura 2.19. Lixiviación de residuos**

**Fuente: Minería y Contaminación del agua**  
**Autor: Jorge Oyarzún M**

- **Lixiviación.** Genera residuos constituidos por la MENA triturada y tratada, a la que se le ha extraído el componente de interés mediante disolución con un agente lixivante, que puede ser ácido sulfúrico (en el caso de Cu) o cianuro sódico (en el caso de Au y Ag) (fig. 2.19).
- **Fundición.** Genera residuos constituidos por escorias vítreas (generalmente de composición silicatada y de alta estabilidad que son depositadas en escombreras), “polvos de humo” (material particulado con contenido de metales pesados, resultante de la depuración de las emisiones atmosféricas) y lodos o barros de similar composición (Garcés Millas, 2017) (fig. 2.20).



**Figura 2.20. Proceso de fundición de metales**

**Fuente: Gold Recovery**

- **Refino electrolítico.** Genera residuos como los lodos electrolíticos (con alto contenido en metales que pueden ser procesados posteriormente para su recuperación).

Los metales contaminantes que comúnmente se generan por la extracción de metales preciosos son: bario, cadmio, cromo, níquel, arsénico, zinc, mercurio; la cantidad de los mismo depende del tipo de suelos (Gobierno La Rioja, 2007)

## **2.3. Los sistemas de Producción más Limpia**

### **2.3.1. Desarrollo sostenible**

Es lo que permite satisfacer las necesidades de hoy sin poner en peligro los recursos para las generaciones futuras (Severiche Sierra et al., 2016). Por eso, la noción de desarrollo, los paradigmas relacionados con el tema reflejan la necesidad humana de relacionarse social, natural y productivamente, teniendo en cuenta que esta visión plantea, desde el punto de vista de la economía, el desarrollo social y la preocupación por el medio ambiente, tanto a nivel

local, regional, nacional como mundial (Castro Escobar, 2015) (Vergara Tamayo & Ortíz Motta, 2016)

### **2.3.2. ¿Qué son los sistemas de Producción más Limpia?**

Producción Limpia, o Producción más Limpia (PmL), son conceptos relacionados con el desarrollo sostenible y la ecoeficiencia. La Producción Limpia surge desde la ingeniería de procesos como resultado de los procesos de mejoramiento continuo, de control de la calidad y de reingeniería en la década de los ochenta; consiste en la revisión de las operaciones y procesos unitarios que forman parte de una actividad productiva o de servicios, ello con miras a encontrar las diversas posibilidades de mejoramiento u optimización en el uso de los recursos (Varela Rojas, 2003) (Fajardo Fonseca, 2017)

El concepto de Producción más Limpia fue introducido por la Oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1989. La producción más limpia (PML) es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva que integra procesos, productos y servicios para incrementar, sobre estos, la eficiencia y reducir el riesgo para el ser humano y el medio ambiente (Secretaría Distrital de Ambiente, 2019), y que puede ser aplicada a procesos usados en cualquier tipo de industria, a los mismos productos y a distintos servicios ofrecidos a la sociedad (PNUMA) (Varela Rojas, 2003)

La producción más limpia permite:

- El ahorro de materias primas, agua y energía.
- La eliminación, reducción y/o sustitución de materias primas peligrosas.
- La reducción de cantidad y peligrosidad de los residuos y las emisiones contaminantes.
- La reducción de los impactos ambientales durante el ciclo de vida de un producto, desde la obtención de las materias primas hasta el residuo final.
- La incorporación de criterios medioambientales en el diseño y la distribución de los servicios.

La producción más limpia se ha convertido en una estrategia preventiva que las organizaciones pueden aplicar potencialmente en sus procesos de fabricación, con el objetivo de minimizar residuos y las emisiones en origen, reducir los riesgos para la salud humana y el ambiente, y aumentar progresivamente la productividad y competitividad de las empresas

(Cubillos-Vargas et al., 2015); tal como se indicó previamente su principio básico es aumentar paulatinamente la eficiencia global del proceso, previniendo las pérdidas de materiales y energéticas (Labarca, 2014)

### 2.3.3. Principios y herramientas de la Producción más Limpia

Las industrias convierten sus materias primas en productos terminados para su venta como meta principal; la producción de emisiones y residuos, como resultado de su proceso productivo, tiene su origen en el deficiente aprovechamiento de la materia prima, lo que representa costos adicionales del proceso productivo; estos residuos o despilfarros originan impactos económicos asociados a los costos del tratamiento y disposición final de los mismos, reducirlos tiene un impacto económico importante (Loayza-Pérez & Silva-Meza, 2013) (Baca U et al., 2014)

Esta herramienta permite el manejo y gestión adecuada de los residuos y contaminantes, considerándolos como oportunidades de mejora y de prevención de la contaminación antes de recurrir a medidas de reducción de la contaminación que a largo plazo generan costos de producción altos y limitada protección al ambiente (Tapia Brito & Beltrán Dávalos, 2018).

Ante lo descrito la herramienta PmL hace énfasis en los siguientes aspectos (fig. 2.21.):

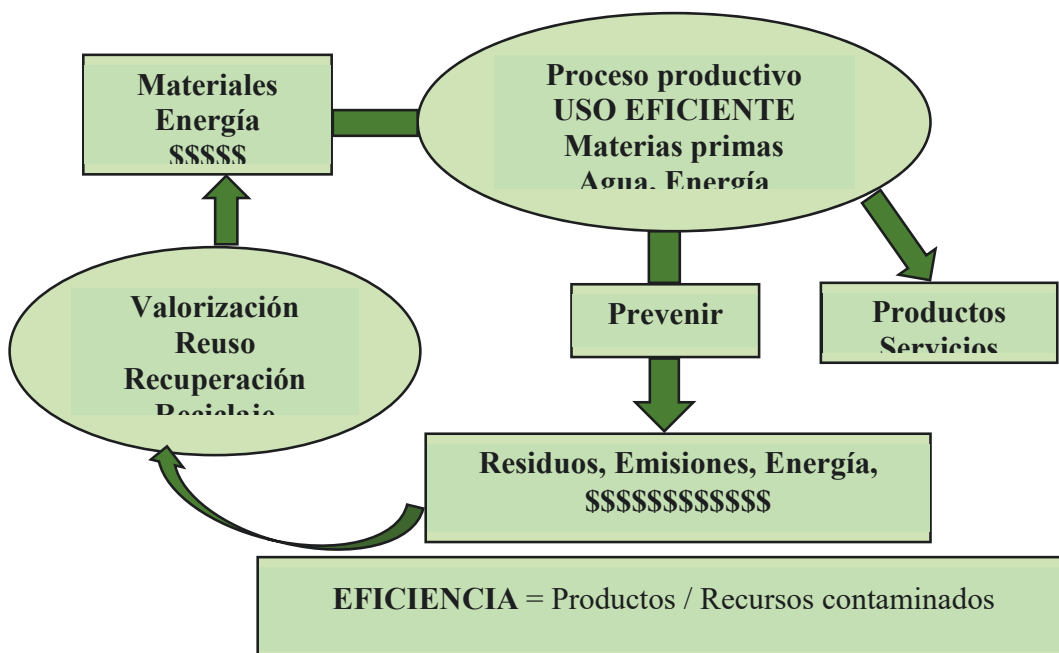


Figura 2.21. Ciclo de Producción más Limpia

Fuente: Consejo Nacional de Producción más Limpia - Chile

- Prevención de la contaminación, es una actividad permanente que no se limita a la implementación de algunas de las medidas identificadas como beneficiosas para la empresa; sino que implica la revisión constante de sus prácticas administrativas y operativas en un proceso de mejora continua (Galván Rico & Reyes Gil, 2009).
- Reutilización y reciclado, se refiere al aprovechamiento de los residuos sólidos; se utiliza para obtener materias primas útiles para su incorporación directa al proceso de producción o consumo con el fin de obtener nuevos productos (Quispe Palomino & Quispe Huisa, 2021)
- Tratamiento o control de la contaminación, son las medidas de protección ambiental más comunes, busca el control de la contaminación de materiales, agua y aire para reducir las emisiones y efluentes a niveles aceptables (Acevedo Peralta et al., 2017)
- Disposición final, para reducir la contaminación ambiental por la disposición final de los desechos; es importante conocer los procesos de descomposición y lixiviación, así como considerar las posibles consecuencias de una disposición final inadecuada (Kiss Kofalusi & Encarnación Aguilar, 2006)

La aplicación de los principios de precaución relacionados (P+L) tiene dos beneficios: primero es económico, porque puede utilizar los recursos (materias primas, agua y energía) de manera eficiente, reduciendo así el costo de recolección, transporte, procesamiento y disposición final de los residuos; en segundo lugar, desde un punto de vista medio ambiental, reducir la contaminación (Gamarra Ortiz & Rosales Loredo, 2018). El control ambiental basado en un sistema de gestión tiene como resultado el aprovechamiento de las materias primas y de la energía empleada de forma integral, además de aprovechar al máximo la tecnología utilizada, identificando oportunidades de mejora en todos sus campos (Sánchez et al., 2019).

El enfoque de la aplicación de la herramienta PmL, está orientada a la gestión, reciclaje y reúso de los desperdicios generados resultantes del proceso productivo; así como también en su control mediante lo siguiente:

- Control de Calidad Ambiental, de acuerdo a la Subsecretaría de Calidad Ambiental, busca mejorar la calidad de vida de la población, mediante el control de la calidad del agua, el clima, el aire y el suelo para que sean sanos y productivos; para ello es



necesario partir de la prevención y el control y prevenir el deterioro de los ecosistemas a través de una gestión descentralizada y participativa de la gestión ambiental (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022).

- Prevención de la contaminación, en la herramienta PmL se identifican las oportunidades de prevención de la contaminación mediante: reducción en el origen, reciclaje y valorización (aprovechamiento de residuos) (González-Díaz et al., 2018)
- Seguridad y salud del trabajo, ayuda a prevenir lesiones, enfermedades y discapacidades, mejorando las condiciones de trabajo y empleo, beneficiando así la salud de los trabajadores (Benavides et al., 2018)
- Entrenamiento y motivación de los trabajadores, también denominado capacitación, es una experiencia de aprendizaje que requiere un cambio relativamente permanente en un individuo para mejorar su desempeño en el trabajo; la motivación por otro lado es la voluntad de un individuo de esforzarse por alcanzar las metas organizacionales, siempre que esta capacidad de trabajo satisfaga sus necesidades (Silva Romero & Espinoza Polo, 2018)
- Control de pérdidas, Hornngren lo define como desperdicio normal a la primera y lo expresa como “un resultado inherente de un proceso de producción en condiciones eficientes de producción” (Marin, 2006)

De lo anterior se sigue que la producción más limpia puede lograrse previniendo y/o reduciendo la generación del residuo en el origen.

#### **2.3.4. Ventajas de la Producción más Limpia**

La materialización de los métodos de producción más limpia presenta las siguientes ventajas:

- Disminución del riesgo ambiental para la salud y de accidentes laborales.
- Ahorros económicos de materias primas, agua y energía.
- Ahorros en la gestión y tratamiento de las corrientes residuales.
- Mejora de la imagen pública de la empresa.
- Aumento de la calidad del producto.
- Reducción de productos fuera de especificaciones.
- Racionamiento de la estructura de trabajo.

- Superación de hábitos rutinarios y replanteamiento de procesos y procedimientos.
- Optimización de los procesos y de los recursos.
- Facilita el cumplimiento de los requisitos ambientales de la empresa y permite su desarrollo sostenible.

Se debe tomar en cuenta que además de los sistemas de tratamiento al final de línea, la prevención en origen de la contaminación puede aplicarse en las diferentes etapas del proceso productivo de la mayoría de los procesos industriales (Altadill Colominas et al., 2009); de acuerdo a (Bernal Figueroa et al., 2016) estas actividades abarcan la minimización del uso de recursos, la mejora de la eficiencia ecológica y la reducción de la fuente con el fin de mejorar la protección del medio ambiente y reducir los riesgos (Glavic & Lukman, 2007)

### **2.3.5. Marco legal de la Producción más Limpia en Ecuador**

En Ecuador el Ministerio del Medio Ambiente bajo su estructura organizacional, en la dirección Nacional de Control y Prevención de la Contaminación se encuentra como una de sus funciones la Gestión de la Producción más Limpia (Ministerio del Ambiente, 2018). El Proceso de Producción más Limpia, en el Ministerio, tiene respaldo legal en la constitución estatal, en la Ley de Gestión Ambiental; en la Ley de Ciencia y Tecnología y, en especial, se sustenta en los principios emitidos en la Cumbre de Río 1992 para lograr el desarrollo sostenible (Chimborazo Villar & Ojeda de Larco, 2015)

El Centro de Producción más Limpia del Ecuador –CEPL– es una corporación sin fines de lucro, legalmente constituida en enero del 2000 bajo convenio del Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad-MICIP, que tiene como objetivo, introducir y consolidar el concepto de producción más limpia en las empresas, proporcionando asistencia técnica a las empresas para que produzcan la mínima cantidad posible de residuos contaminantes (Ministerio del Ambiente, 2000) (Zamora & Coronel, 2015)

### **2.3.6. Casos de aplicación de la Producción más Limpia**

Se toma de como referencia el caso de estudio desarrollado por (De Oliveira et al., 2019) en la cual aplican el PmL en la industria textil, proponen un enfoque ambientalista mediante



la optimización de los recursos, procesos, productos y servicios, mejorando la eficacia y eficiencia disminuyendo los riesgos laborales, así como al medio ambiente; los análisis de las alternativas dan como resultado la introducción de tecnología de punta reemplazando a la obsoleta, cuyo impacto ambiental se resume con la reducción de 76623 Tn/mes de algodón utilizando aire comprimido para su funcionamiento, mejorando su productividad con menos algodón y la eficiencia energética del nuevo proceso, reduciendo los costes de producción y el impacto ambiental. La aplicación de la herramienta PmL ha tenido lugar en la industria pesquera (Paredes, 2014). Se identifica este sector como el más sensible en cuanto a generación de residuos contaminantes para el medio ambiente marino y costero. Mediante la aplicación del PmL se plantean alternativas para reducir el impacto ambiental generado, consiguiendo la recuperación de compuestos presentes en los efluentes, los cuales son aprovechados y reintroducidos al proceso principal, logrando mejorar la productividad, el desempeño ambiental y mejorando la imagen empresarial de las partes interesadas con productos de calidad.

La aplicación de la herramienta PmL ha tenido lugar en la industria pesquera (Paredes, 2014). Se identifica este sector como el más sensible en cuanto a generación de residuos contaminantes para el medio ambiente marino y costero. Mediante la aplicación del PmL se plantean alternativas para reducir el impacto ambiental generado por el vertido de residuos sólidos y líquidos al mar afectando directamente al ecosistema marino, con la implementación de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales se logra recuperar un 95% de sólidos y grasas presentes en las aguas de bombeo consiguiendo la recuperación de compuestos presentes en los efluentes mediante procesos fisicoquímicos de coagulación, floculación y deshidratación, logrando un incremento de la productividad del 4% de la producción total de harina de pescado pudiendo recuperar la inversión en tres años aproximadamente.

Otro caso de aplicación sistemas de producción más limpia elaborado por (Gutiérrez et al., 2009) se desarrolló en el sector alimenticio. La correspondiente empresa elabora, transforma, prepara, conserva y envasa productos para el consumo humano. Se determinó que los residuos orgánicos no eran tratados adecuadamente y sin plan de disposición de los mismos; al implementar el PmL se propone desarrollar un plan de manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) y el establecimiento de alternativas para el aprovechamiento de los residuos

orgánicos destinados para lombricultura y reducción en la fuente, logrando reducir 7260 kg o 20.22 m<sup>3</sup> mensuales de residuos orgánicos de piña; así como también el ahorro 35920 pesos mensuales, pago de tarifa por recolección; se reduce en promedio de 710.4 kg o 13.1. m<sup>3</sup> mensuales de residuos reciclables con destino al relleno sanitario recaudando un promedio de 141100 pesos por venta de los mismos. Del total de residuos mensuales que generaba la empresa se produce 24.4 kg de residuos ordinarios destinados al relleno sanitario, logrando al término de la implementación de la herramienta PmL y la aplicación PMIRS réditos económicos de 176920 pesos mensuales de promedio.

## 2.4. Referencias

- Acevedo Peralta, A., Leos Rodríguez, J., Figueroa Viramontes, U., & Romo Lozano, J. (2017). Política ambiental: uso y manejo del estiércol en la comarca Lagunera. *Acta Universitaria*, 27(4), 3-12. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1270>
- Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA). (2022). EPA, we-digital. Recuperado 13 de 04 de 2023, de EPA: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>
- Altadill Colominas, R., Andrés Payán, A., Bruno, A., Bruno, J., Nacales Rojas, A., Cortés Lucas, A., . . . Soliva Torrentó, M. (2009). *Reciclaje de Residuos Industriales: Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora* (2 ed.). (X. Elías, Ed.) <https://doi.org/Depósito legal: M. 58.298-2008>
- Amador-Díaz, A., Véliz-Lorenzo, E., & Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones . *CENIC*, 46, 1-10. Recuperado 05 de 05 de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>
- Angarita, G., & Gómez, L. (2023). La minería y su impacto económico y ambiental: desarrollo de los pasivos ambientales mineros en Colombia. *Espacios*, 44(2), 16-29. <https://doi.org/10.48082/espacios-a23v44n02p02>
- Aviléz, J., Bazalar, J., Azadeño, D., & Miranda, J. (2016). Perú, cambio climático y enfermedades no transmisibles: Dónde estamos y a dónde vamos. *Simposio*, 33(1), 143-148. <https://doi.org/10.17843/rpmpesp.2016.331.2016>
- Baca U, G., Cruz V, M., Cristóbal V, M., Baca C, G., Gutiérrez M, J., Pacheco E, A., . . . Obregón S, M. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. México: PATRIA. Recuperado 30 de 03 de 2023, de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=eNLhBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Las+industrias+convierten+sus+materias+primas+en+productos+terminados+para+su+venta+como+meta+principal%3B+la+producci%C3%B3n+de+emisiones+y+residuos+como+resultado+de+su+proceso+pro>
- Benavides, F., Delclós, J., & Serra, C. (2018). Estado de bienestar y salud pública: el papel de la salud laboral. *Gaceta Sanitaria*, 32(4), 377-380. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.07.007>
- Bernal Figueroa, A., Beltrán Parada, C., & Márquez Máquez, A. (2016). Producción más Limpia: una revisión de aspectos generales. *I+3: Investigación & Innovación & Ingeniería*, 3(2), 66-84. <https://doi.org/10.24267/issn.2346-2329>
- Bretón, J. (2018). Biodiversidad y gestión de espacios y recursos naturales. *Études Caribéennes*, 41. <https://doi.org/10.4000/estudios del caribe.12995>
- Cáceres, G. (2001). Impacto Ambiental de la minería del Oro. *Metalúrgica*(22), 19-28. Recuperado 26 de 03 de 2023, de

<https://es.scribd.com/document/463926926/IMPACTO-AMBIENTAL-DE-LA-MINERIA-DEL-ORO>

- Caiza, C. (2013). Club ensayos. Recuperado 23 de 03 de 2023, de Club ensayos: <https://www.clubensayos.com/Negocios/La-Miner%C3%ADa-en-el-Ecuador/508252.html>
- Calispa, E. (10 de 2018). Políticas públicas de cambio climático en Ecuador: Un análisis crítico de ideas, políticas y discurso. DELOS. Recuperado 20 de 03 de 2023, de <https://www.eumed.net/rev/delos/32/evelyn.html>
- Carrión, P., Ramos, V., Ladines, G., Dominguez, M., & Berrezueta, E. (2023). La ruta de El Oro y el patrimonio geológico-minero en Zaruma-Portovelo (Ecuador). IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero Utrillas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Zaruma. Recuperado 29 de 03 de 2023, de <https://docplayer.es/49422372-La-ruta-de-el-oro-y-el-patrimonio-geologico-minero-en-zaruma-portovelo-ecuador.html>
- Castillo, J. (2018). Sanción pecunaria excesiva que se le aplica a la minería ilegal de producción artesanal, contradiciendo el principio de proporcionalidad. Universidad Nacional de Loja, Carrera de derecho. Loja: dspace. Recuperado 29 de 03 de 2023, de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21175/1/Jimmy%20Javier%20Castillo%20Hurtado.pdf>
- Castro Escobar, E. (2015). Panorama regional del desarrollo sostenible en américa latina. Luna Azul(40). <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.13>
- Chimborazo Villar, D., & Ojeda de Larco, M. (2015). Propuesta para la creación de un fonde de garatía por daños ambientales en las actividades industriales riesgosas para el ambiente. Universidad Central del Ecuador, Jurisprudencia, Ciencias Políticas y Sociales . Quito: Dspace. Recuperado 30 de 03 de 202, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5978>
- Cortázar, M. (2005). El Oro de Portovelo. Portovelo, El Oro, Ecuador. Recuperado 17 de 10 de 2021.
- Cubillos-Vargas, J., González-Moreno, Y., Ruíz-Sánchez, A., Vélez-Riaño, M., & Paredes-Cuervo, D. (2015). Estrategias de producción más limpia para el adecuado manejo y reducción en el origen de residuos peligrosos: Caso de estudio industrias litográficas y tintorerías. *Scientia Et Technica*, 20(4), 396-405. Recuperado 29 de 03 de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84946834011.pdf>
- Curtis, R., & Mousavi, A. (2014). Gold Mining: Is It Worth Its Weight. *Environmental Forensics*, 15(4), 293-295. <https://doi.org/10.1080/15275922.2014.950776>
- De Oliveira, G., Ferreira, J., Silva, P., De Olveira, A., & Cezar, W. (2019). Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development

- goals. *Journal of cleaner production*, 228, 1514-1525.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.334>
- Díaz Álvarez, J. (2013). Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad minera en el municipio de Marmato - Caldas. Tesis en desarrollo sostenible y medio ambiente, Universidad de Manizales, Postgrado, Manizales. Recuperado 29 de 03 de 2023, de <https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/730/Tesis%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dirección de planificación del Gobierno Autónomo Provincial de El Oro. (2021). GAD's El Oro. Recuperado 05 de 05 de 2023, de GAD's El Oro: <https://datos.eloro.gob.ec/PDF%20PDYOT/PDYOT%20PROVINCIAL%20EL%20ORO.pdf>
- Fajardo Fonseca, H. (2017). La producción más limpia como estrategia ambiental en el marco del desarrollo sostenible. *Ingeniería, matemáticas y ciencias de la información*, 4(8), 47-59. <https://doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a32>
- GAD's del cantón Portovelo. (2014-2019). Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Portovelo. Recuperado 05 de 05 de 2022, de Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Portovelo: [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000930001\\_PDyOT%202014-2019\\_15-03-2015\\_23-32-58.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000930001_PDyOT%202014-2019_15-03-2015_23-32-58.pdf)
- GAD's del cantón Portovelo. (2020). Portovelo GAD Municipal. Recuperado 29 de 03 de 2023, de Portovelo GAD Municipal: <https://www.portovelo.gob.ec/historia/>
- GAD's del cantón Portovelo. (2021). GAD's Portovelo. Recuperado 05 de 05 de 2022, de GAD's Portovelo: <https://www.portovelo.gob.ec/portovelo-se-apresta-a-celebrar-41-anos-de-cantonizacion-xli/>
- Galván Rico, L., & Reyes Gil, R. (2009). Algunas herramientas para la prevención, control y mitigación de la contaminación ambiental. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 13(53), 287-294. Recuperado 14 de 04 de 2023, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212009000400003](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212009000400003)
- Gamarra Ortiz, J. B., & Rosales Loredó, C. (2018). Evaluación del impacto ambiental del lactosuero generado en la línea de producción de quesos de la planta de lácteos Huacariz alternativas de mitigación Cajamarca - Perú - 2016. Tesis doctoral, Universidad de Cajamarca, Ciencia, Cajamarca. Recuperado 30 de 03 de 2023, de <http://190.116.36.86/bitstream/handle/20.500.14074/2126/Evaluaci%3%b3n%20de%20impacto%20ambiental%20del%20lactosuero%20generado%20en%20la%20l%3%adnea%20de%20producci%3%b3n%20de%20quesos%20de%20l.pdf?>
- Gaona, G., & Vargas, N. (2022). La actividad minera y su aporte al desarrollo local del cantón Zaruma, provincia de El Oro periodo 2014-2018. Tesis, Universidad de

- Guayaquil, Ciencias Económicas. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51628>
- Garcés Millas, I. (2017). Manejo ambiental de los residuos mineros. Tesis, Universidad de Antofagasta, Ingeniería Química y Procesos de minerales, Antofagasta-Chile. Recuperado 05 de 05 de 2022, de [https://www.researchgate.net/publication/352573742\\_Manejo\\_Ambiental\\_de\\_Residuos\\_Mineros#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/352573742_Manejo_Ambiental_de_Residuos_Mineros#fullTextFileContent)
- Glavic, P., & Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*(15), 1875-1885. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.12.006>
- Gobierno de México. (2017). Beneficio y transformación de minerales. Informe, Servicio Geológico Mexicano, Servicio Geológico Mexicano. Recuperado 05 de 05 de 2022, de [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html)
- Gobierno La Rioja. (2007). [www.larioja.org](http://www.larioja.org). Recuperado 05 de 05 de 2022, de [www.larioja.org: https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/calidad-aire/red-biomonitorizacion-metales-pesados-rioja/salud-metales-pesados](https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/calidad-aire/red-biomonitorizacion-metales-pesados-rioja/salud-metales-pesados)
- González, M. (2011). Diseño de una planta de beneficio aurífero que permita la mitigación del efecto contaminante del impacto ambiental. Tesis, Universidad de Guayaquil, Ingeniería Industrial. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4016>
- González-Díaz, Y., Gómez-Real, P., & Matos-Llorente, A. (2018). Diagnóstico ambiental preliminar y oportunidades de prevención de la contaminación en la empresa de productos cárnicos de Holguín. *Cuba. Tecnología Química*, 38(1), 182-194. Recuperado 14 de 04 de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852018000100014&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852018000100014&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Gutiérrez, S., Gil, J., & Álvarez, C. (2009). Implementación de un plan integral de residuos sólidos generados en el proceso de producción en una industria alimenticia de salsas y conservas de piña. *P+L*, 4(2), 30-43. Recuperado 14 de 04 de 2023, de <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/548>
- Herrera, J. (2017). *Introducción a la minería* (Digital ed., Vol. 1). (J. Herrera Herbert, Ed.) Madrid, España. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.63396>.
- Herrera, J., & Ortiz, F. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto* (Vol. 1). Madrid, Madrid, España. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.10675>

- Izquierdo, A., Foguet, J., & Grau, R. (2016). Hidroecosistemas de la Puna y Altos de Argentina. *Acta Geológica Lilloana*, 28(2), 390-402. Recuperado 20 de 03 de 2023, de <http://www.scielo.org.ar/pdf/agli/v28n2/v28n2a03.pdf>
- Kiss Kofalusi, G., & Encarnación Aguilar, G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta ecológica*(79), 39-51. Recuperado 15 de 04 de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907903.pdf>
- La Rotta, Á., & Torres, M. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso Potosí en Bogotá. *SAÚDE DEBATE*, 41(112), 77--91. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>
- Labarca, A. (2014). Consejo Nacional de Producción Limpia, Digital. Recuperado 19 de 03 de 2019, de Consejo Nacional de Producción Limpia: <http://www.cpl.cl/MTD/biblioteca.php?id=37>
- León, E., & Chaca, R. (2020). Plan de desarrollo turístico de la parroquia San Roque, cantón Piñas, provincia de El Oro. Tesis, Universidad del Azuay, Facultad de filosofía, letras y ciencias de la educación, Cuenca. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10405>
- Loayza T, G., & Carrión M, P. (2017). DOCPLAYER. Recuperado 05 de 07 de 2023, de DOCPLAYER: <https://docplayer.es/42499557-Desarrollo-de-una-metodologia-para-la-ordenacion-minero-ambiental-en-el-sector-de-zaruma-portovelo.html>
- Loayza-Pérez, J., & Silva-Meza, V. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Industrail DATA*, 16(1), 108-117. Recuperado 14 de 04 de 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81629469013>
- López Fabra, L. M. (2014). Los albores de la minería a gran escala en Ecuador: Los primeros impactos sociales en el territorio de comunidades campesinas y shuar en Tudayme, Zamora Chinchipe. FLACSO ECUADOR, Ciencias Sociales. Quito: Digital Flacso. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/7556/2/TFLACSO-2014LMLF.pdf>
- López Timote, J. (2009). Actualización del sistema de gestión ambiental de la empresa textiles OMNES S.A. según NTC ISO 14001:2004 (cláusulas 4.3.1.; 4.3.2. y 4.3.3 manejo de residuos y manejo de sustancias químicas). Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Química Industrial, Pereira. Recuperado 03 de 04 de 2023, de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/887d985e-4b53-4e4c-810e-901044316b66/content>
- Marin, G. (2006). Control de pérdidas en las empresas. *Contabilidad y Negocios*, 1(2), 11-15. Recuperado 14 de 04 de 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281621766003>



- Marinho Amorin, H., & Reis Rochael, C. H. (2019). Minerales espaciales: cosas de nadie en beneficio de todos. *Derecho PUCP*(83), 89-131.  
<https://doi.org/10.18800/derechopucp.201902.004>
- Martínez, C., Romano, G., Cuadras, A., & Ortega, L. (2019). Plaguicidas, impacto en salud y medio ambiente en sinaloa(méxico): implicaciones y retos en gobernanza ambiental. *Trayectorias Humanas Transcontinentales*(4), 103-112.  
<https://doi.org/10.25965/trahs.1615>
- Massa-Sánchez, P., Arcos, R., & Maldonado, D. (2018). Minería a gran escala y conflictos sociales: un análisis para el sur de Ecuador. *Problemas del desarrollo*, 49(194), 119-141. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2018.194.63175>
- Medina, A. (2015). La explotación minera a cielo abierto y su incidencia en los derechos de la naturaleza en el Cantón Quito, parroquia Pintag, año 2015. Tesis, Universidad Central del Ecuador, Jurisprudencia, Quito. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8943>
- Medina, J. (2017). Comportamiento físico-mecánico del hormigón simple fabricado con arenas de relave de la planta de tratamiento y beneficio "Reina del Cisne" código 390354 del Cantón Portovelo, Provincia de El Oro. Universidad Nacional de Loja, Carrera de Ingeniería en Geología, Ambiental y Ordenamiento Territorial. Loja: Dspace. Recuperado 05 de 05 de 2022, de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17925>
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2022). Gobierno del Ecuador. (M. d. Ambiente, Productor) Recuperado 14 de 04 de 2023, de Gobierno del Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/calidad-ambiental/#>
- Ministerio de Energías y Minas. (2020). Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero. Plan, Ministerio de Energías y Minas, Ministerio de energías y recursos naturales no renovables, Quito-Ecuador. Recuperado 29 de 03 de 2023, de <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/Plan-Nacional-de-Desarrollo-del-Sector-Minero-2020-2030.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2000). Tecnologías Limpias. Recuperado 14 de 03 de 2023, de Tecnologías Limpias: [http://www.tecnologiaslimpias.cl/ecuador/ecuador\\_marcolegprodlimp.html](http://www.tecnologiaslimpias.cl/ecuador/ecuador_marcolegprodlimp.html)
- Ministerio del Ambiente. (2009). Ministerio del Ambiente. Recuperado 23 de 03 de 2023, de Ministerio del Ambiente: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Ley-de-Mineria.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2018). Estrategia Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible. Plan, Ministerio del Ambiente, Quito. Recuperado 30 de 03 de 2023, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/ENEA-ESTRATEGIA.pdf>



- Ministerio del Ambiente. (2018). Ministerio del Ambiente. Recuperado 05 de 05 de 2022, de Ministerio del Ambiente: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Ley-de-Mineria.pdf>
- Molina, B. (2018). La incorporación de la cultura y el patrimonio en el desarrollo sostenible. *Humanidades*, 8(1), 1-33. <https://doi.org/10.15517/h.v8i1.31465>
- Motta-Pascuas, A. J., Ustariz-Durán, M. A., & Ordoñez-Carmona, O. (2018). Identification, analysis and evaluation of risks associated with gold mining in Marmato, Caldas. *Ciencias de la Tierra*(44), 21-30. <https://doi.org/10.15446/rbct.n43.61646>
- Ollague, J., Capa, L., Novillo, E., Sánchez, T., & García, M. (2019). Variables sociales, económicas y productivas como referente de posicionamiento nacional de la provincia de El Oro, Ecuador. *Espacios*, 40(3), 1-13. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <https://www.revistaespacios.com/a19v40n37/19403713.html>
- Ortiz, K. (2019). Sustentabilidad global: Principios y acuerdos internacionales. *Revista de Ciencias Sociales*, 25(4), 74-85. <https://doi.org/10.31876/rcs.v25i4.30518>
- Oviedo-Anchundia, R., Molina-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437-441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Paredes, P. (2014). Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado. *Industrial Data*, 17(2), 72-80. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12050>
- Pérez O, M., & Betancur V, A. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. *Sociedad y Ambiente*, 4(10), 95-112. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i10.1654>
- Pérez-Sáenz, J. F. (1985). La minería colonial americana bajo la dominación española. *Memorias digital de Canarias*(7-8), 53-120. Recuperado 07 de 04 de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1448695>
- Pie, N., & Rodríguez, L. (2022). El pensamiento ético de José Martí. Su importancia en la educación ambiental de los futuros profesionales de las especialidades de Marxismo-Leninismo e Historia y Ciencias Naturales. *Órbita Científica*, 28(119), 1-10. Recuperado 20 de 03 de 2023, de <http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:RS1JxcpRMlsJ:scholar.google.com/+El+pensamiento+%C3%A9tico+de+Jos%C3%A9+Mart%C3%AD.+Su+importancia+en+la+educaci%C3%B3n+ambiental+de+los+futuros+profesionales+de+las+especialidades+de+Marxismo-Leninismo>
- Quispe Palomino, A., & Quispe Huisa, V. (2021). Reutilización y reciclaje de residuos sólidos en economías emergentes en Latinoamérica: una revisión sistemática. *Ciencia Latina*, 5(6), 1-19. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i6.1316](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1316)

- Rodríguez, F., Guzmán, P., De Marchi, B., & Escalante, D. (2020). CEPAL. Recuperado 05 de 05 de 2022, de CEPAL: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45682-efectos-la-mineria-desarrollo-economico-social-ambiental-estado-plurinacional>
- Rosales, D. (2020). Educación ecosostenible a través de los medios tecnológicos. *Remembranza*, 3(2), 89-100. Recuperado 20 de 03 de 2023, de <http://200.11.218.106/index.php/remembranza/article/view/1169>
- Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. (N. U. CEPAL, Ed.) Naciones Unidas CEPAL. Recuperado 11 de 04 de 2023, de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf)
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2019). Observatorio Ambiental de Bogotá, Digital. Recuperado 29 de 03 de 2023, de Observatorio Ambiental de Bogotá: [https://oab.ambientebogota.gov.co/glossary/produccion-mas-limpia-pml/#:~:text=La%20Producci%C3%B3n%20M%C3%A1s%20Limpia%20\(PML,humanos%20y%20el%20medio%20ambiente](https://oab.ambientebogota.gov.co/glossary/produccion-mas-limpia-pml/#:~:text=La%20Producci%C3%B3n%20M%C3%A1s%20Limpia%20(PML,humanos%20y%20el%20medio%20ambiente).
- SEDPGYM-ECUADOR. (2013). Sociedad Ecuatoriana para la defensa del patrimonio geológico y minero: (SEDPGYM-ECUADOR). Recuperado 25 de 04 de 2022, de Sociedad Ecuatoriana para la defensa del patrimonio geológico y minero: (SEDPGYM-ECUADOR): <http://sedpgym-ecuador.blogspot.com/2013/03/impacto-de-la-minera-en-la-provincia-de.html>
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). Servicio Geológico Mexicano. Recuperado 23 de 03 de 2023, de Servicio Geológico Mexicano: [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html#:~:text=le%20llama%20Metalurgia.-,Metalurgia.,%2C%20%C3%B3xidos%2C%20silicatos%20o%20carbonatos](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html#:~:text=le%20llama%20Metalurgia.-,Metalurgia.,%2C%20%C3%B3xidos%2C%20silicatos%20o%20carbonatos).
- Severiche Sierra, C., Gómez Bustamante, E., & Jaimes Morales, J. (2016). La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. *TELOS - Estudios interdisciplinarios*, 18(2), 266-281. Recuperado 30 de 03 de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5655393>
- Shi, X., & He, F. (2012). The environmental pollution perception of residents in coal mining areas: a case study in the hancheng mine area, Shaanxi Province, China. *Springer Link*(50), 505-513. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9920-8>
- Silva Romero, E., & Espinoza Polo, L. (2018). La capacitación de recursos humanos, la motivación para el trabajo y su influencia en el desempeño laboral de los docentes universitarios: Caso región Lambayeque. Tesis-Doctoral, Universidad Nacional Pedro Tuiz Gallo, Postgrado Administración, Lambayeque-Perú. Recuperado 14 de 04 de 2023, de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2296/BC-TES-TMP-1169.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Tapia Brito , D., & Beltrán Dávalos, A. (2018). Elaboración de un plan de gestión ambiental de residuos peligrosos para las lavadoras y lubricadoras de la zona nueve de la ciudad de Macas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias Químicas. Macas: Dspace. Recuperado 30 de 03 de 2023, de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/10168/1/236T0369.pdf>
- Torres, H. (2015). Exploración minera, compañías mineras junior y aspectos a tomar en cuenta para su promoción. *IUS ET VERITAS*, 24(50), 274-291. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/iusetveritas/article/view/14821>
- Valencia, F., & Aguilar, B. (2021). Aplicación de pre-aireación en lixiviación con cianuro de sodio en el mineral de interés de la mina "Cristhian David", Pasaje-El Oro. Universidad del Azuay, Ciencia y Tecnología. Cuenca: Dspace. Recuperado 29 de 03 de 2023, de <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10715>
- Varela Rojas, I. (2003). Definición de producción más limpia. *Tecnología en marcha*, 16(2), 1-12. Recuperado 14 de 04 de 2023, de [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/1481/1371](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1481/1371)
- Vera, J. (2022). Banco Central del Ecuador. Recuperado 18 de 04 de 2022, de Banco Central del Ecuador: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla01.pdf>
- Vergara Tamayo, C., & Ortiz Motta, D. (2016). Desarrollo sostenible: enfoques desde las ciencias económicas. *Apuntes CENES*, 35(62), 15-52. Recuperado 30 de 03 de 2023, de <http://www.scielo.org.co/pdf/cenes/v35n62/v35n62a02.pdf>
- Vilela-Pincay, W., Espinoza-Encarnación, M., & Bravo-González, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de Gestión: Revista Internacional de Administración*, 215-233. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>
- Viteri, V. (2021). Diseño de un sistema de gestión ambiental basado en la Norma ISO 14001:2015 y propuesta de un modelo de comportamiento proambiental en la Asociación Comunitaria Minera El Cóndor. Tesis, ESPE, Centro de Posgrados. Recuperado 23 de 03 de 2023, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/28723/1/T-ESPE-050975.pdf>
- Zamora, F., & Coronel, I. (2015). Modelo de producción más limpia para hospitales públicos de la ciudad de Cuenca. Universidad del Azuay, Post-grado en Administración de Empresas. Cuenca: Dspace. Recuperado 30 de 03 de 2023, de <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5120>



### **3. METODOLOGÍA**



3.1. Introducción .....	63
3.2. Aplicación de las fases y las actividades.....	65
3.2.1. FASE 1. Planeación y organización .....	65
3.2.2. FASE 2. Diagnóstico inicial.....	70
3.2.3. FASE 3. Evaluación.....	77
3.2.4. FASE 4. Estudios de factibilidad.....	82
3.2.5. FASE 5. Implantación .....	86
3.2.6. Beneficios al implementar PmL.....	87
3.3. Referencias .....	89





### **3.1. Introducción**

La idea de producción más limpia nació, al identificar problemas de contaminación en el manejo y control de residuos industriales, especialmente en Europa y Estados Unidos a finales del siglo XX. Estudios desarrollados por las secretarías ambientales de ambos países, establecieron medidas preventivas para su control (Bernal Figueroa et al., 2016); ante lo descrito nace la necesidad de que las empresas industriales implementen “PmL”, cuyo objeto es lograr eco-eficiencia en sus procesos y servicios, como también la reducción de costos, residuos o desechos que generen contaminación y evitar sanciones por el incumplimiento de normativas (Loayza-Pérez & Silva-Meza, 2013); por ejemplo, la investigación realizada por (Van Hoof & Herrera, 2007) donde analizan la evolución y futuro del PmL en Colombia; muestran que. en los últimos diez años tras la adopción de la política nacional de PmL, queda suficientemente justificada la importancia y la eficacia de esta herramienta como estrategia de apoyo a la gestión ambiental, ello desde un enfoque preventivo de optimización y mejora de los procesos organizativos y productivos, teniendo en cuenta la innovación tecnológica y la sostenibilidad empresarial.

Actualmente, los órganos de gestión no controlan adecuadamente el manejo de productos químicos en los diversos procesos productivos industrializados, especialmente en el sector minero, logrando como consecuencia la producción de residuos sólidos, líquidos y gaseosos y son vertidos al ambiente, transformando los ecosistemas y la calidad de las comunidades (Vilela-Pincay et al., 2020)

Los métodos tradicionales de producción generan desechos resultados de sus procesos productivos, tratándolos según las disposiciones y ordenanzas establecidas por las entidades gubernamentales. La metodología “PmL” tiene como principio evitar la generación de residuos, a partir de lineamientos que permiten la identificación y cuantificación de residuos y pérdidas energética y la evaluación de materias primas e insumos (Intriago L, 2011)

Es complejo implementar un programa de “PmL” ya que su aplicación debe realizarse de manera ordenada y secuencial, y para el estudio tomaremos de referencia la estructura propuesta de manera conjunta por ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial) y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) como también por el Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA) ubicado en Medellín – Colombia, lo cual plantea un esquema

compuesto por 5 etapas o fases, divididas en 20 actividades para su aplicación, como se aprecia en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Fases de un programa de “PML”**

<b>FASE 1 PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN</b>	Actividad 1	Involucrar y obtener el compromiso de la dirección
	Actividad 2	Establecer el alcance y las metas del programa
	Actividad 3	Establecer el equipo conductor del proyecto (ecoequipo)
	Actividad 4	Identificar barreras y soluciones al programa de PML
<b>FASE 2 DIAGNÓSTICO INICIAL</b>	Actividad 5	Realizar un diagnóstico ambiental con la información existente en la empresa.
	Actividad 6	Desarrollo y estudio del diagrama de flujo de los procesos, verificar las entradas y salidas con datos existentes.
	Actividad 7	Identificar prioridades del programa y definir principales indicadores.
<b>FASE 3 EVALUACIÓN</b>	Actividad 8	Efectuar balance de masas y energía
	Actividad 9	Evaluar las causas que originan las ineficiencias y flujos contaminantes
	Actividad 10	Generar alternativas de PmL.
	Actividad 11	Identificar alternativas viables de PmL
<b>FASE 4 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD</b>	Actividad 12	Evaluación de los datos obtenidos en la etapa 3
	Actividad 13	Evaluación técnica
	Actividad 14	Evaluación económica
	Actividad 15	Evaluación ambiental
	Actividad 16	Selección de opciones factibles de PML
<b>FASE 5 IMPLANTACIÓN</b>	Actividad 17	Preparar un plan PML
	Actividad 18	Implementar las opciones de PML.
	Actividad 19	Supervisar y evaluar el avance a través de un plan de monitoreo.
	Actividad 20	Mantener las actividades de PML de los planes haciendo el seguimiento de ellas mediante el control de los indicadores.

**Fuente: Metodología “PmL” ONUDI, PNUMA, CNPMLTA**

**Elaborador por:** (Intriago L, 2011)

Las fases de la estructura de la metodología de Producción más Limpia descrita por ONUDI, PNUMA, CNPMLTA, se indican en la tabla 3.1. Las actividades están ligadas entre

sí, por tal motivo una actividad depende de la anterior, y por tal motivo no se pueden adelantar actividades o fases durante el proyecto ya que se ejecuta de manera secuencial.

De acuerdo al Consejo Nacional de la Empresa Privada (CONEP) de Panamá, citado por (Fajardo Fonseca, 2017), considera que “PmL” se orienta a la optimización de los recursos que posee toda empresa (materias primas, agua y energía); la reducción y/o supresión recursos tóxicos y peligrosos, así como también la reducción en origen de todas las emisiones y residuos durante el proceso productivo, permitiendo fabricar el mismo número de productos con una reducción significativa de los insumos.

### **3.2. Aplicación de las fases y las actividades**

#### **3.2.1. FASE 1. Planeación y organización**

En esta primera etapa se organiza el equipo de trabajo que conformará el grupo de “PmL”, así como determinar lo que contempla el programa y la divulgación en todo el personal sobre aspectos básicos y requerimientos de la metodología de “PmL”. (Ramos-Ramos et al., 2020) señalan también que se busca incentivar a la gerencia a tener acuerdos y compromisos mediante la explicación de los beneficios que la empresa logrará con la incorporación de esta herramienta.

Las actividades implicadas en esta primera fase son las siguientes:

➤ Compromiso de la dirección.

Es el primer paso para establecer e implementar un programa de “PmL”, es relevante debido a la necesidad de recursos (materiales, humanos, financieros) que se requieren para su implementación, por lo que debe participar el gerente o dueño de la empresa, en ella asisten el ecoequipo; siempre que la dirección pueda designar personal con suficiente experiencia en las áreas en las que se implantará el programa y en su caso, establecer protocolos de compromiso para demostrar el compromiso de la alta dirección con su aplicación (Rosero Mantilla & Carvajal Larenas, 2012)

➤ Alcance y metas del programa “PmL”

En esta etapa se determinan los límites del programa de “PmL”, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se requiere de un diagnóstico inicial, adecuado para determinar lo que contempla el programa.

- Facilidad de recopilación de datos.
- Tipo de organización, voluntad y recursos necesarios para el programa.
- La administración y complejidad de los procesos de la empresa (López Timote, 2009).

Los objetivos que se establezcan deben motivar a colaborar significativamente en el proceso y desarrollo del programa, ello con la finalidad de asegurar el éxito cuando se las implemente (Juárez Gómez & De Medina Salas, 2009). Para definir las metas se debe considerar criterios tales como:

- Efectos en la salud
- Metodología en la disposición final de residuos.
- Incremento de la productividad.
- Emisiones contaminantes al aire, agua y/o suelo
- Costos de confinamiento o disposición de residuos y/o emisiones.
- Condiciones de operación y proceso.
- Costos por consumo de materias primas y energéticas.

En proceso de diagnóstico del programa, para lograr alcanzar las metas propuestas se debe realizar actividades como:

- Preparación de actividades de diagnóstico del PmL (ver atapa 2)
- Análisis de operaciones unitarias (ver etapa 3)
- Estudios técnicos y económicos (ver etapa 4)

Para desarrollar las actividades descritas se debe elaborar un plan de trabajo que permita monitorear el avance del programa y los tiempos establecidos en el mismo. Un ejemplo se muestra en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Ejemplo de un programa para el desarrollo de “PmL”**

Actividades	SEMANAS							Participan	Productos
	1	2	3	4	5	6	7		
Taller de capacitación y sensibilización en PmL								Consultor, gerencia y empresa	Capacitación del personal
Reunión con la gerencia y conformación del ecoequipo								Gerente general	Compromiso gerencia y ecoequipo
Levantamiento del diagnóstico de PmL								Consultor y ecoequipo	Informe de auditoría
Elaboración y presentación del informe final								Consultor y ecoequipo	Informe final
Implementación de medidas								Empresa en general	-----
Seguimiento de medidas de PmL adoptadas								Consultor y ecoequipo	-----

**Fuente: Producción más limpia. Paradigma de gestión ambiental.  
Elaborado por: Reap L, Francisco et al. (2015)**

Para desarrollar las actividades descritas se debe elaborar un plan de trabajo que permita monitorear el avance del programa y los tiempos establecidos en el mismo. Un ejemplo se muestra en la tabla 3.2.

- Organizar el equipo PmL (ecoequipo). El equipo debe ser multidisciplinario y estar integrado por profesionales y miembros de la empresa de decisión para administrar las operaciones de “PmL” y apoyados por expertos técnicos. Su objetivo es implementar el programa “PmL” (González Osorio & Medina Maussa, 2003); siendo sus funciones:
  - Elaborar, gestionar y controlar las actividades establecidas en el programa “PmL”.
  - Señalar los problemas que puedan obstaculizar el cumplimiento del programa “PmL”.

- Socializar los resultados y el éxito del “PmL” que ayuden a sostener durante el proceso de implantación a todos los miembros de la empresa (Arze Landívar et al., 2005)

El ecoequipo se forma en función del tamaño de la empresa y la complejidad del proceso productivo; es recomendable emplear personal técnico adicional o especialistas como apoyo técnico en caso de complicaciones; la evidencia también debe generarse a través de registros operativos de “PmL” (Martell Ponce et al., 2017). De la investigación realizada por (Ramos-Ramos et al., 2020) resulta que en una primera fase se realizan los acercamientos con las empresas para mostrar las soluciones en el ámbito económico y ambiental que se logran al implementar la herramienta; el ecoequipo también lo organiza, define las respectivas funciones y cada responsable identifica los obstáculos y barreras más importantes que se presentan en los procesos.

- Creación de un equipo temporal de diagnóstico. El ecoequipo debe conformar un equipo temporal de diagnóstico (ETD), y que debe estar conformado por personal de la empresa y también debe ser multidisciplinario (tabla 3.3) (Díaz-Arango et al., 2015); los objetivos a alcanzar en el diagnóstico son:
  - Poseer un sistema de información y una base de datos confiable.
  - Garantizar la evaluación de causas que generan las ineficiencias.
  - Identificar las alternativas “PmL” a ser implementadas para mejorar la productividad de la planta.

**Tabla 3.3. Registro de miembros del ecoequipo**

<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Cargo- responsabilidades asignadas en PmL</b>	<b>Área del proceso donde se ubica</b>	<b>Fortalezas y habilidades</b>

- La existencia de un diagnóstico técnico, económico y ambiental de las alternativas viables.
- La presencia de observaciones de “PmL”, establecidas en base a las opciones (priorizadas) viables (Díaz-Arango et al., 2015).

El ecoequipo para lograr su propósito en su diagnóstico, estará ligado a las operaciones a ejecutar, tales como:

- Actividades preparatorias en el diagnóstico del programa “PmL”.
- Estudio de las (OPC) operaciones unitarias críticas.
- Evaluación técnica y económica.

Se debe considerar que la cantidad de expertos por especialidad, como los expertos designados por la empresa, podrá aumentar según el tamaño y la dificultad de las operaciones (procesos) que posea la empresa.

- Identificar barreras y soluciones al programa de “PmL”. En su establecimiento e implementación el programa presenta barreras que obstaculizan su avance; es preciso priorizar los problemas para que su implementación no se interrumpa. Las barreras que con frecuencia se presentan al implementar el programa de “PmL” (Med & Lukyamuzi, 2019); un ejemplo se muestra en la tabla 3.4.

Implementar las alternativas de PmL y escoger las oportunidades de mejora en la planta de beneficio, permitirá mejorar los aspectos ambientales tales como: consumo de agua, electricidad, producción de residuos sólidos y líquidos, logrando en conjunto decidir la mejor decisión para la gestión y disposición final de los mismos (Calderón-Huamaní et al., 2021).

Es importante enfatizar que la información generada por el equipo de diagnóstico debe ser clara y objetiva, incluyendo estudios de casos que ayuden a sustentar estudios de casos alternativos, así como también alternativas que ayuden a la solución de las barreras que puedan aparecer en el proceso de implementación; por ello, la dirección debe estar dispuesta a escuchar cualquier sugerencia que garantice la eficacia y eficiencia del programa (Paredes, 2014)

**Tabla 3.4. Ejemplo de obstáculos y soluciones en la implementación de un programa “PmL”**

<b>Obstáculos</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Solución</b>
<b>Conceptos y actitudes</b>	Limitada predisposición a la implementación de las mejoras en sus procesos, debido al desconocimiento de los beneficios de la “PmL”	Socializar y demostrar los beneficios de la herramienta mediante casos exitosos desarrollados por diversas empresas.
<b>Organización de la empresa</b>	Limitada comunicación inter-departamental y de trabajo en equipo.	Agrupación de los miembros de la empresa en el ecoequipo.
<b>Tecnología</b>	Limitada capacidad de acondicionar y/o adquirir tecnología; escaso personal técnico para implantar los cambios en los procesos.	Socializar casos de industrias que han implantado nuevas tecnologías y la contratación de especialistas para su logro.
<b>Información, capacitación y educación</b>	Desconocimiento de los beneficios del programa “PmL”	Demostrar los beneficios PmL mediante la socialización de casos exitosos de diversas empresas.
<b>Cuestiones económicas y financieras</b>	Limitado recursos económicos y/o capacidad para financiamiento.	Estimar el costo-beneficio de la implementación de la herramienta PmL

**Fuente: Implementación de un programa de “PmL” en la empresa metalmecánica ESACERO S.A.**

**Elaborado por:** (Intriago L, 2011)

### **3.2.2. FASE 2. Diagnóstico inicial**

En esta fase se recopila información generalizada de la compañía, identificando los ingresos y egresos de recursos necesarios en el proceso; es importante señalar que no hay ningún cambio en el estado inicial de las empresas antes del registro, por lo cual, será difícil cotejar lo inicial con lo posterior a la aplicación de la herramienta (Quintero et al., 2007)

- Definir el enfoque del diagnóstico. Es la etapa de sensibilización de los aspectos relevantes de los procesos productivos de la empresa y los potenciales al momento de la implementación y ejecución del programa de “PmL”; en este punto el ecoequipo debe conocer bien la metodología “PmL” (CNCPML, 2006)



La metodología propuesta por el Iván Coronel docente de la Universidad del Azuay – Cuenca – Ecuador, citado por (Carpio Piña, 2016), expresa que se debe tomar una serie de consideraciones cuya finalidad es suministrar la perspectiva inicial, esto es:

- Consideraciones económicas, relativas al coste de producción, ineficiencias, multas y recursos.
- Consideraciones ambientales, se considera los niveles de toxicidad de los desperdicios y las condiciones del entorno.
- Consideraciones técnicas, teniendo en cuenta las deficiencias de los métodos y procesos, el conocimiento desactualizado de la innovación tecnología a aplicar en sus procesos productivos y el uso del TPM para evitar los paros productivos.

La tabla 3.5. muestra cómo se vinculan y priorizan los procesos críticos de la empresa.

**Tabla 3.5. Consideraciones y priorización**

ACTIVIDADES CRÍTICAS	PRIORIDADES			Otras consideraciones
	Económicas	Ambientales	Tecnológicas	
Generación de residuos	2	3	1	Confinamiento o tratamiento costoso
Uso de combustible	2	3	1	Costos de otros combustibles
Consumo de agua	1	3	2	Costo de tratamiento por descarga

**Fuente: Metodología de “PmL”, (Carpio Piña, 2016)**

Si bien en las consideraciones y priorización de actividades críticas descritas por Iván Coronel citadas por (Carpio Piña, 2016) para el caso de la minería incluiremos una cuarta actividad crítica, cual es el uso de productos químicos en la obtención de los metales a obtener en las plantas de beneficio, su priorización es de 1 a 3, desde la menos relevante como 1 hasta la de mayor relevancia como 3 de acuerdo a la tabla 3.5.

Diagnóstico ambiental. Esta actividad permite adaptar al ecoequipo con las actividades productivas de la compañía en la recolección de datos, como también a

establecer opciones de “PmL” y crear una base de datos para el almacenamiento de la información obtenida (Henriquez & Catarino, 2015)

Las actividades a desarrollar.

- Recolectar y ordenar los datos tales como: Empleo de insumos, materiales y energía, así como también el tipo de producción y/o prestación de servicios que generen residuos sólidos y/o líquidos como también las emisiones de gases.
  - Compilar datos de los procesos productivos de la empresa.
  - Identificar que origina los despilfarros (energía, materias primas, residuos, emisiones) y evaluarlas.
  - Valuar los compromisos legales de la empresa, tales como: (licencias ambientales, cumplimiento de normativas para la adquisición y uso de las materias primas e insumos, tratamiento de residuos líquidos para descargas según norma ambiental)
- Desarrollo y estudio del diagrama de flujo de los procesos, verificar las entradas y salidas. Es actividad permite identificar las entradas y salidas de materias primas, insumos y energía ligadas a los procesos donde se aplique el programa “PmL” (Toussaint et al., 2010). La recolección de la información de los ingresos se debe apoyar de los registros como facturas, notas de compras, targets que reposen en bodega; considerar que se hallará información no registrada como también cada proveedor dispone de unidades de medidas propias en las cuales la información no es homogénea y/o estandarizada respecto a la empresa origen de estudio; de igual manera e requiere valuar los costos anuales de los residuos que genera la empresa (Mabitsela et al., 2023), como se ejemplifica en la tabla 3.6.
- Este tipo de registro permite mostrar todos los costos generados por residuos en la empresa; cuando se completan las actividades en esta fase, interviene el ecoequipo para analizar los resultados obtenidos para la toma de decisiones e implementar las acciones correctivas necesarias.

**Tabla 3.6. Evaluación global**

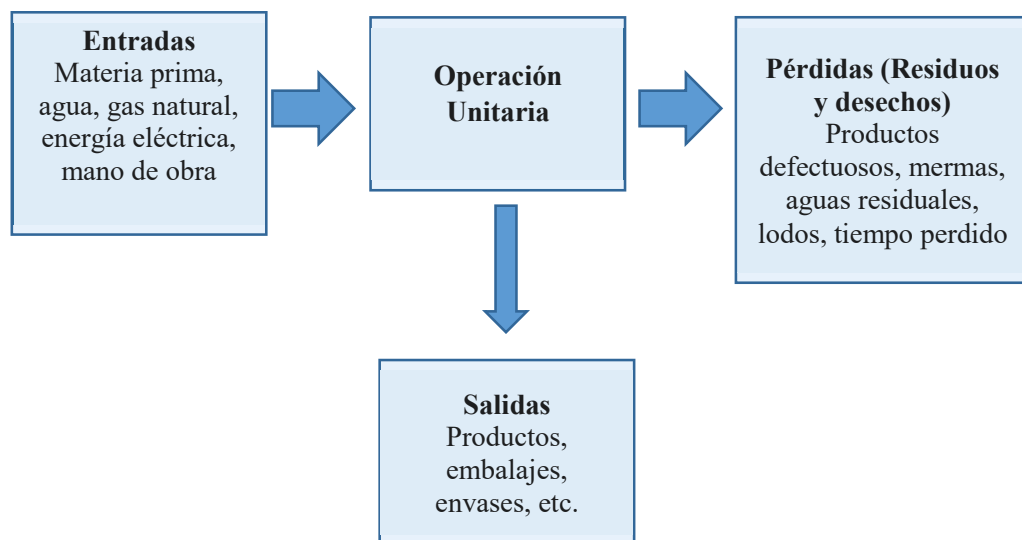
Tipo de insumo y materia prima	Cuarzo	Agua	Energía	Insumo
A (cantidad materia prima - Kg/año-)				
B (costo materia prima)				
C (costo total materia prima) = A x B				
D (cantidad de residuos -Kg/año-)				
E (costo almacenaje, transporte y disposición)				
F (precio de venta de residuos)				
G (ganancia por venta de residuos) = F - E				
H (costo residuo relacionado a materia prima) = B x D				
I (costo total residuo) = E + H				
% eficiencia de empleo de materia prima = $100 \times \frac{A-D}{A}$				

Recolectada la información de los procesos se debe:

- Dividir los procesos productivos en operaciones unitarias (OU) y deben identificar:
  - Las entradas sean (materia prima e insumos, energía disponible y usable)
  - Salidas de cada proceso productivo (productos, sub-productos, insumos incluyendo energías disponible y utilizable)
  - Relación entre de ingresos y egresos entre operaciones unitarias)
- Desarrollar diagramas de flujo de procesos, vinculando las operaciones unitarias; se deben incluir datos cuantitativos de entradas, salidas y pérdidas de cada unidad operativa; también se incluyen relaciones (insumo/producto o índices de producción) para representar transformaciones de recursos (materias primas, energía e insumos, productos, subproductos y desechos).

- Incluir al diagrama de flujo las actividades adicionales o de apoyo (preparación de tanques, stock, limpieza y otros) si el caso amerita a ser considerado.
- Identificar las operaciones unitarias críticas. Una OU es considerado como aquel proceso que posee o pueda contener impactos negativos relevantes como ambientales, productivos o económicos.

La figura 3.1 ayuda a identificar las entradas, las salidas y pérdidas o residuos que se producen en todo proceso; también permite enlistar de forma continua las materias primas y los desperdicios que generen en cada proceso; también es necesario diseñar y poseer una referencia para realizar los cálculos en común como, por ejemplo, unidad de peso, periodo de tiempo o unidad de volumen.

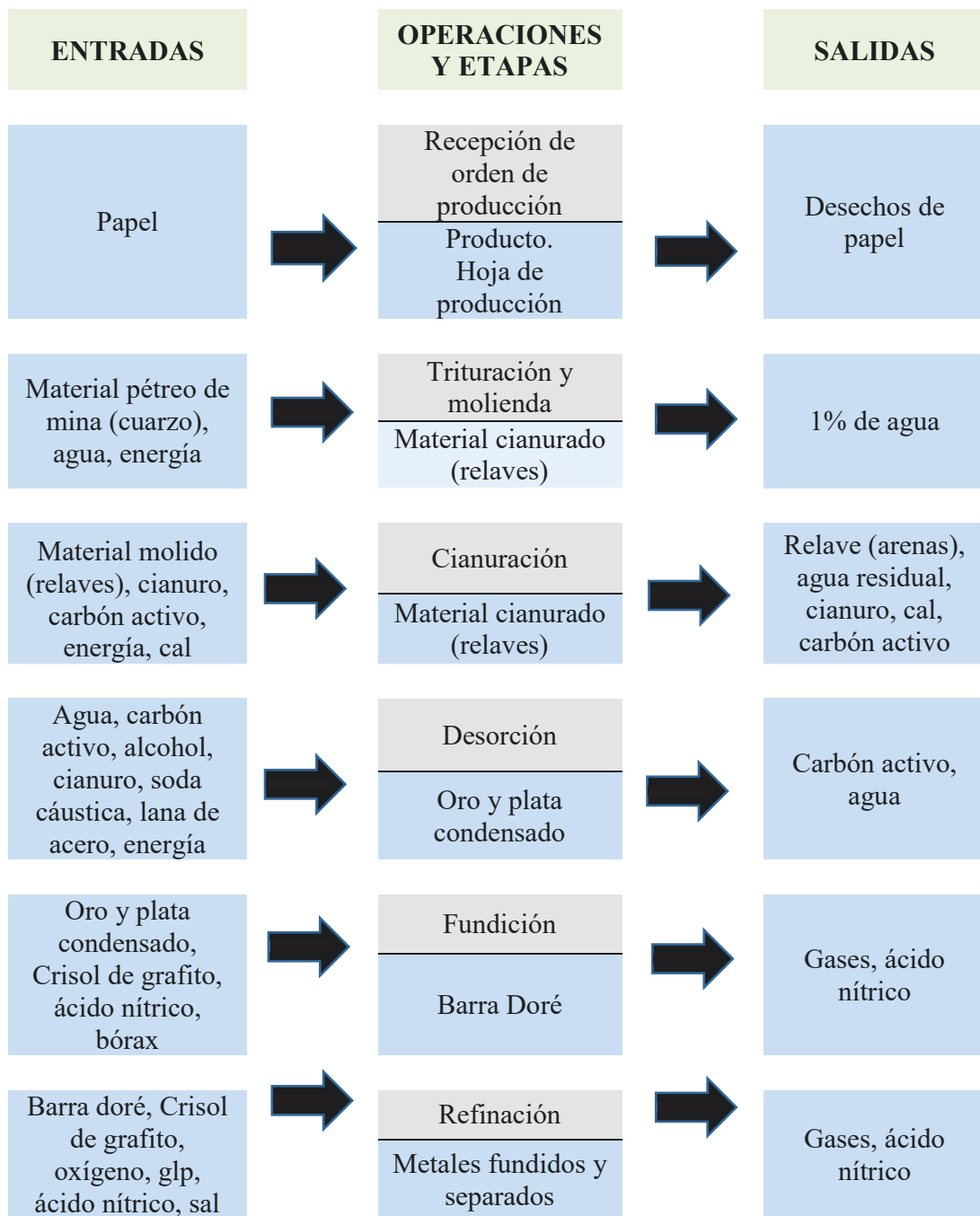


**Figura 3.1. Esquema general de un diagrama de flujo de una operación unitaria**

**Fuente: Guía técnica general de Producción más Limpia**  
**Elaborado: CPTS**

La figura 3.2, describe los procesos y/o etapas del proceso de beneficio; así como también las entradas y salidas de cada proceso.

- Plantear también la existencia de opciones obvias de “PmL”, que deben incluir, como ejemplo.



**Figura 3.2. Flujograma cualitativo de Planta de beneficio**

**Fuente: Planta de beneficio “El Puma”**

- Erradicar y/o disminuir las fugas de gases como GLP, vapor, aire comprimido y de agua.

- Cumplir con las normativas y procedimientos para la calibración, uso y manejo de equipos o maquinarias.
- Cumplimiento de las normativas ambientales.
- Prevención de derrames de los insumos y materias primas.

#### Identificación y evaluación de aspectos ambientales

Esta parte del programa se ha desarrollado con una comprensión detallada de los procesos y etapas de producción de la compañía; permitiendo describir los aspectos ambientales que los originan y su significado, esto se determina en base a las siguientes variables (Poder, 2006).

- Severidad del impacto, este criterio hace referencia al daño causado por los impactos ambientales definidos entre: contaminación del agua, aguas subterráneas, suelo, uso de recursos naturales, contaminación del aire como también a sus partes interesadas.
  - Probabilidad, permite evaluar la posibilidad de causar impactos ambientales benéficos o adversos como consecuencia de la actividad.
  - Relevancia del impacto, es la valoración obtenida multiplicando la severidad por la posibilidad del impacto ambiental.
  - Requisitos legales, valúa el cumplimiento de requisitos legales relacionados con impactos ambientales.
  - Medidas de adecuación, valora la existencia de medidas de adaptación relacionado con el paisaje y el impacto ambiental a provocar.
- Identificar prioridades del programa y definir principales indicadores. En esta actividad se requiere establecer de manera preliminar los procesos de la planta y graficarlos, ya que son necesarios para identificar las entradas y salidas de cada proceso; es decir, aquellos procesos donde se evidencia pérdidas, contaminación y/o ineficiencias energéticas (Silva et al., 2017)

La información obtenida de las etapas anteriores, permite valuar las unidades operativas y priorizar para el diagnóstico del programa “PmL”. En su priorización se considera lo siguiente:

- Etapas que generan mayor cantidad de residuos y/o emisiones.
- Procesos que producen mayor pérdida económica.

- Costo de materias primas y de energía.
- Cumplimiento de normativas y reglamentos.
- Costos por la gestión de residuos y emisiones.
- Riesgo al personal y del entorno referente a seguridad.
- Facilidad para identificar y/o gestionar cuellos de botella en la producción, en donde se produzca volumen alto de residuos y pérdidas considerables.
- Disponibilidad presupuestaria para la ejecución de las alternativas “PmL”.
- Facilidad para lograr recursos financieros por parte de la empresa.
- Mejoramiento de la imagen corporativa y competitividad organizacional.

### **3.2.3. FASE 3. Evaluación.**

Fase diseñada para diferenciar las alternativas de “PmL”, dando prioridad a aquellas opciones a ser implementadas de manera inmediata y examinando aquellas que requieren mayor atención e información. De acuerdo a CEER, 2019 citado por (Molina-Cedeño et al., 2020), en esta fase se crea un balance de los recursos para las unidades operativas relevantes; esto requiere cuantificar todas las materias primas utilizadas, insumos y energía, subproductos producidos, residuos sólidos, aguas residuales y emisiones.

- Balance de masas y energía. El balance de materia y energía debe reflejar el consumo de materias primas, insumos y servicios necesarios en el proceso y las mermas, desechos y emanaciones resultantes (Cardoso de Oliveira Neto et al., 2019); (Bosworth et al., 2005), apuntan que el balance de materiales cumple con el principio de “lo que entra al proceso, debe ser igual a los que sale”; siempre y cuando toda materia prima e insumos sean convertidos en productos terminados.
- Evaluar las causas que producen las ineficiencias y flujos contaminantes. Estos pueden ser identificados en las operaciones unitarias; considerando que una corriente contaminante puede provenir de desperdicios de materias primas o insumos, así como pérdidas en el proceso intermedio o en el producto final (Dong et al., 2019). Para tal situación se recomienda la aplicación de la técnica de solución de problemas en el campo industrial (Martelo et al., 2017) para poder contestar a las preguntas de cómo, dónde, cuándo y porqué se producen los desechos; como también se puede utilizar el método de las 6M’s (Varela Pérez et al., 2023) que ayuda a identificar las causas del

problema mediante los 5 elementos importantes de los procesos como: mano de obra, materiales, maquinaria, método de trabajo, medio ambiente (Lay-out)

Las siguientes situaciones son causas principales de ineficiencias o flujos contaminantes.

- La naturaleza de las operaciones unitarias; generados por el desbordamiento en el transporte mediante dosificadores, baldes, esteras.
- Característica o composición de los productos; la relación de la cantidad de materia prima en relación a la composición final del producto terminado, especificaciones inadecuadas o desproporcionadas, embalajes inadecuados, productos desarrollados con materiales peligrosos, diseño o presentación no adecuado para el producto.
- Motivación y liderazgo, el desarrollo de actividades por personal no calificado, inadecuado e ineficiente sistema de entrenamiento, limitado liderazgo en la planificación de las actividades, inseguridad del ambiente laboral, exigencia productividad con calidad sin capacitación.
- La calidad de los recursos alternativos que no cumplan con los requerimientos establecidos, productos con contenido tóxico y que no correspondan al proceso y al equipo, es causado por un inadecuado o la inexistencia de un sistema de selección de proveedores, así como también deficiencias en el sistema de almacenamiento de productos en el almacén.
- Supervisión y control de actividades operativas, se hace énfasis solo en la producción y no en el cuidado del personal, temor a perder secretos comerciales e industriales.
- Estado de equipos y maquinaria de producción, ocasionados por un deficiente sistema de mantenimiento preventivo, correctivo y programado generados por la sobre carga de trabajo, el accionar innecesario de equipos y maquinaria, consumo de agua y aire innecesarios ocasionados por fugas o falta de supervisión.
- La generación de residuos, son el resultado de la naturaleza del proceso en la obtención del producto final tales como: la no separación o segregación de



residuos, la categorización para el reciclado de residuos específicos, la recuperación de energía de los productos, residuos y emisiones.

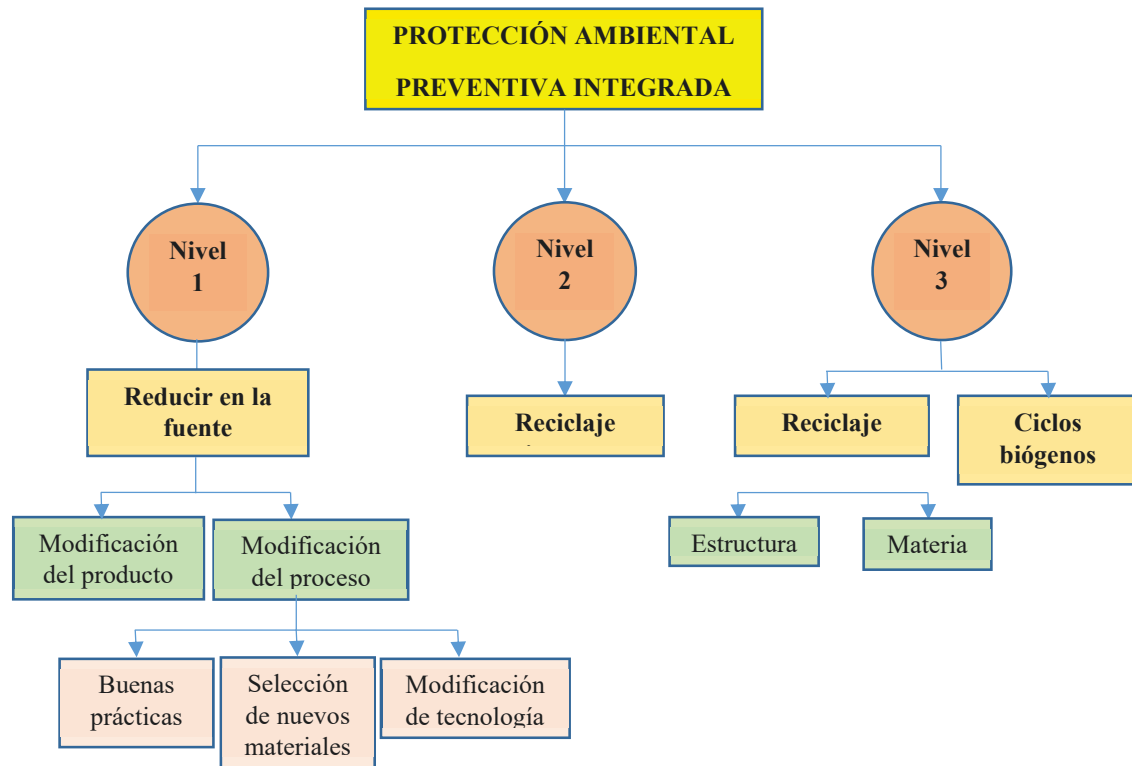
Estas características descritas ayudan a identificar el origen de los desperdicios y procesos contaminantes, desarrollando lo siguiente:

- Primero, dentro de cada unidad operativa se debe relacionar los flujos de egresos de desechos y las deficiencias de energía en relación con los ingresos, incluyendo la cantidad de energía utilizada, que se visualizará en el balance de recursos, cuantificando las entradas y salidas detalladas anteriormente.
  - Segundo, identificar en cuáles de los 7 factores descritos anteriormente, se halla la causa de origen de los desperdicios o salida contaminante.
  - Tercero, generar especificaciones para la operación estándar y que esté relacionado con el factor determinado.
  - Cuarto, identificar causas específicas de las pérdidas o flujo contaminante cotejando los indicadores establecidos con los obtenidos a partir del balance de masas.
- Generar alternativas de “PmL”. En este punto de la implementación el ecoequipo debe proponer alternativas a emplear, cuya finalidad es prevenir la contaminación y la producción de residuos; en este proceso, se establece por primera vez acciones de “PmL” (Rocha-Gil & Echeverri-Rubio, 2020). Para determinar estas opciones, recomendamos comenzar desde la más obvia hasta la más compleja; es decir, en este tipo de situaciones, desde la reducción de residuos hasta la reutilización, recomendamos analizar diferentes opciones en función de las tres etapas descritas en la figura 3.3 (Quintero et al., 2007)

Descripción de cada uno de los niveles mostrados en dicho gráfico.

- Nivel 1. Reducción en la fuente. Se analiza el proceso de producción de modo que sea posible determinar aspectos como modificación del producto, proceso, el uso de materiales sustitutos, tecnología y buenas prácticas operacionales (Hens et al., 2018)
  - Modificación del producto. Son alternativas con las que el fabricante puede optar para reducir los materiales o simplificar el proceso de fabricación (Ghisellini et al., 2018); esto es:
    - Cambio de producto

- Modificaciones en el diseño
- Cambio de materiales alternativos por productos menos tóxicos



**Figura 3.3. Alternativas para la prevención de la contaminación**

**Fuente: Manual de Producción más Limpia – ONUDI**

- Modificación del proceso. Aspecto relacionado directamente con los procesos y su eficiencia productiva; todos los recursos empleados en el proceso productivo (maquinaria, equipos, materia prima y tecnología) son relevantes al momento de disminuir y/o eliminar las ineficiencias como también los desperdicios (Scarazzato et al., 2017)
- Buenas prácticas. Implican cambios para el manejo adecuado de recursos sean estos: agua, energía, materias primas e insumos acompañado de apropiada cultura organizacional (Severo et al., 2015)
- Selección de nuevos materiales. Básicamente se determina si el material utilizado para la conformación del producto es tóxico o dificulta su reciclaje;

para lo cual, se analiza sustituir por otros materiales menos tóxicos y que no dañe la salud y al medio ambiente (Kannan et al., 2015)

- Modificación de la tecnología. Sobre base a un exhaustivo análisis de costo beneficio se determina la viabilidad económica para el cambio de la tecnología, cuya finalidad es reducir o eliminar los residuos o ineficiencias generados por tecnologías inadecuadas u obsoletas (Xia et al., 2017).
- Nivel 2. Reciclaje interno. Tomando como base a los residuos generados en el proceso productivo, se determina si estos pueden ser reutilizados como materia prima del proceso de origen o para otros procesos y de esta manera, se optimizan los recursos disponibles al máximo (Sousa-Zomer et al., 2018)
- Nivel 3. Reciclaje externo. El scrap generado que no pueda recuperarse, la empresa debe optar por vías alternativas que permitan a estos residuos, convertirlos en nuevos ciclos de producción (Zhao et al., 2017)
- Ciclos biógenos. Este apartado es de mucha importancia al momento de adquirir o comprar materias primas e insumos, ya que se debe tener en cuenta aspectos como la biodegradación (de Oiveira et al., 2019)
- Identificar alternativas viables de “PmL”. En esta etapa del proyecto, se identifica y se prioriza las actividades más factibles para su implementación, facilitando de esta manera el descartar las alternativas de origen interno o externo respecto a la empresa que no puedan ser implementadas (Molina Goyes et al., 2023)

Desde este punto de vista, (Birbuet Juan et al., 2006) promueve procedimientos tomando como punto de partida las alternativas establecidas en el paso antes descrito y que no presenten obstáculos (de origen técnico) para su implementación, tales como:

- Separar las alternativas improbables de implementar o que no sean ambientalmente apropiadas; esta medida estará basada en características cualitativas (dificultad al acceso de insumos específicos) o cuantitativo (bajo rendimiento o productividad), se recomienda para este paso desarrollar una valoración técnica.

- De las alternativas no suprimidas, se debe valorar las posibles limitaciones internos o externos que dificulten su implementación; por ejemplo: espacio físico, que dificulte la implementación de una determinada alternativa.
  - Las alternativas no descartadas serán evaluadas considerando aspectos técnicos, productivos, económicos y ambientales en el siguiente proceso
- La objetividad del ecoequipo al condensar y seleccionar las opciones de “PmL” obtendrán un efecto económico y ambiental para la organización.

#### **3.2.4. FASE 4. Estudios de factibilidad**

Es etapa del proyecto de “PmL”, se evalúa la pre-factibilidad de las alternativas de “PmL” (técnicas, económicas y ambientales) de las opciones viables con la finalidad de escoger las más eficaces y eficientes para implementarlas (Ossa et al., 2016)

- Evaluación de los datos obtenidos en la etapa 3. Sobre la de las alternativas establecidas, se establece metas para cada opción de “PmL”, considerando:
  - La forma de valoración (técnica, económica o ambiental) es indispensable para determinar la factibilidad de la alternativa seleccionada.
  - El grado de relevancia en la que se desarrolla una determinada valuación necesaria.

Tomando el ejemplo del caso donde la empresa fija incentivos como medida de motivación para los empleados, para tal situación no se requiere de una evaluación económica, sino solo de comunicar beneficios en términos del logro de metas productivas; en caso de cambio de material o de tecnológico como alternativa “PmL”, es necesario determinar el costo-beneficio; es decir, un análisis detallado teniendo en cuenta los aspectos técnicos, económicos y ambientales.

En relación a lo descrito en el párrafo anterior, el ecoequipo es responsable de delimitar el nivel de detalle y profundidad de las evaluaciones y de priorizar las alternativas de acuerdo con el presupuesto asignado para las fases de evaluación; también debe ser capaz de comprender el grado de importancia para la empresa y los resultados de los cálculos e informar sobre la alternativa a implementar.

- Evaluación técnica. Este proceso evalúa los requerimientos y características de las materias primas, materiales, logística, tecnología, espacio físico, incluyendo los

planos que debe tener una empresa para probar la factibilidad técnica al momento de realizar cambios en sus productos como alternativa “PmL” (Govindan et al., 2016). Otro aspecto a considerar, el ecoequipo no cuenta con información estandarizada detallada que facilite la implementación, solo cuenta con investigaciones exitosas sobre “PmL” publicadas en las diversas plataformas virtuales que ayudan o guían al ecoequipo que facilita identificar la factibilidad de las opciones.

➤ Evaluación económica. Este estudio permitirá identificar si las alternativas evaluadas, lograrán la meta esperada; por lo tanto, este estudio es la parte final del proyecto (Rodríguez-Guerra & Ríos-Osorio, 2016). Existen distintas herramientas que ayudan a demostrar la rentabilidad de un proyecto, los métodos más conocidos que facilitan el análisis son: Valor Anual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Retorno sobre la Inversión (ROI), información sensible e importante para la gerencia en la toma de decisiones al implementar programas de PmL; a continuación, se describen cada una de ellas (Molina-Cedeño et al., 2020)

- Valor anual neto (VAN), de un proyecto, según lo expresa (Mete, 2014), es el valor actual/presente de los flujos de caja netos de la oferta; es decir, flujos de caja netos como la diferencia entre los ingresos periódicos y los gastos periódicos.
  - Valor actual neto de una inversión (I)
  - Número de periodos de tiempo (n)
  - Tasa mínima aceptable de retorno (TMAR)

donde.

i= Inflación anual

Fórmula

r= premio de riesgo

$$TMAR = i + r + (i \cdot r)$$

Ecuación del VAN

$$VAN = -I + \frac{UN_1}{1 + TMAR} + \dots + \frac{UN_n}{(1 + TMAR)^n}$$

donde: UN= utilidad neta y TMAR= tasa mínima aceptable de retorno

Adicionalmente se debe tener en cuenta que para aceptar un proyecto el VAN debe ser siempre mayor a 0 ( $VAN > 0$ ) y que el periodo de estimación no sea mayor a 5 años como recomendación.

- Tasa interna de retorno (TIR), denominada también de rendimiento y la define como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, (Vásquez-García et al., 2017), igualando la suma de las utilidades netas descontadas (UN) a la inversión inicial (I).

Formula del TIR:

$$0 = -I + \frac{UN_1}{1 + TIR} + \dots + \frac{UN_n}{(1 + TIR)^n}$$

donde: UN = utilidad neta y TIR = tasa interna de rendimiento.

- Retorno sobre la inversión (ROI). Es una razón donde relaciona el ingreso generado (VAN) por un centro de inversión (I) a los recursos (base de activos) usados para generar ese ingreso (Cuevas-Villegas, 2001)

Fórmula:

$$ROI = \frac{VAN}{INVERSIÓN}$$

Sobre la base de la definición financiera de ROI, el Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), ha identificado los siguientes criterios para evaluar las opciones de PmL desde una perspectiva económica.

- Si  $ROI \geq 33\%$  anual, la inversión es muy buena en términos económicos.
- Si  $ROI \leq 33\%$  anual, la inversión es aceptable en términos económicos.
- Si  $ROI < 12\%$  anual, la inversión no es justificada en términos económicos.

Los parámetros descritos nacen de la experiencia adquirida CPTS de investigaciones (casos) desarrollados en “PmL”.

- Evaluación ambiental. La implementación del programa “PmL” permite demostrar los beneficios ambientales logrados con la implementación del proyecto; de manera similar, ayuda a cuantificar la cantidad absoluta, la concentración y la reducción de peligros de entradas y los residuos, en relación a las salidas del proceso; además, propicia el seguimiento de las alternativas “PmL”, compartir sus resultados y sugerir mejoras con la ayuda de indicadores de desempeño (Deutz et al., 2017)

➤ Selección de alternativas factibles de “PmL”. Finalizados los estudios de factibilidad, en esta etapa se cotejan las alternativas de “PmL” y mediante el grado de prioridad se implementarán; esta selección se desarrollará mediante la aplicación de procedimiento de criterios para la priorización o grado de relevancia, vinculando aspectos propios que considere beneficioso para la organización (Ferro de Guimaraes et al., 2014), tales como:

- Económico
- Ambiental
- Técnico
- Viabilidad de inversión y accesibilidad técnica
- Posibilidad de implementación
- Facilidad de empleo

La tabla 3.7. muestra la relación de lo descrito anteriormente. Las alternativas con mayor puntuación serán seleccionados como prioritarias; es preciso señalar que en las alternativas seleccionadas como fáciles de implantar no se requiere la aplicación de este tipo de evaluación.

**Tabla 3.7. Evaluación de opciones sin ponderación**

Alternativa		A	B	C	D
	Beneficio económico	1	3	2	5
	Beneficio ambiental	2	3	3	3
	Beneficio técnico	5	4	1	3
Aspecto	Factibilidad de inversión	5	1	2	1
	Accesibilidad tecnológica	1	2	1	4
	Viabilidad de implantación	4	1	2	4
	Facilidad de empleo	4	2	3	1
Total		22	16	14	20
Prioridad		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

Nota: valoración 1 a lo menos importante y 5 a lo más importante

Las alternativas con mayor puntuación serán seleccionados como prioritarias; es preciso señalar que las alternativas seleccionadas como fáciles de implantar no se requiere la

aplicación de este tipo de evaluación. Otra forma de priorizar es mediante criterios de ponderación porcentual en la cual, el ecoequipo asigna una ponderación por el grado de importancia o relevancia de cada alternativa.

### **3.2.5. FASE 5. Implantación**

Fase en la que se implementa la herramienta “PmL” comprobando los resultados, manteniendo y controlando la continuación del programa; debido a esto, el proceso de implementación es la parte importante para toda organización.

- Preparar un plan de PmL. Todo proyecto o programa debe poseer un plan que permita visualizar las actividades que se realizarán en los tiempos establecidos, sus responsables y los recursos que se utilizarán para realizar cada actividad o alternativa; este plan será una herramienta muy importante para la empresa y el ecoequipo, ya que les permitirá ver el progreso del programa, la cantidad de recursos utilizados y el tiempo necesario para las actividades o alternativas, para tomar medidas correctivas en caso de incumplimiento, retrasos o eventos imprevistos (Ramos-Ramos et al., 2020) (Custodio-Passini et al., 2019)
  
- Implementar las opciones de “PmL”. Elaborado el plan de “PmL”, se inicia el proceso de implementación de las alternativas aprobadas y priorizadas, gestionando, controlando y evaluando su avance en conjunto. En este proceso, se puede considerar la contratación de personal adicional para la implementación de las mejoras previstas en el plan, desde las más sencillas y de menor costo, donde los resultados positivos del programa se reflejan de forma casi inmediata para la empresa, hasta las alternativas de mediano y largo plazo y por ende el apoyo necesario de la empresa en el proceso; cuando el caso lo ameriten, se propone el desarrollo de pruebas previas a su implementación, cuyos resultados deben ser registrados y analizados, y en base a ello, proponer mejoras correspondientes (Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles de Bolivia, 2005)
  
- Supervisar y evaluar el avance a través de un plan de monitoreo. Proceso que permite comprobar los beneficios económicos, ambientales y técnicos existentes que fueron propuestos en la etapa de diagnóstico, valiéndose de los indicadores establecidos en la fase preliminar; según (Carpio Piña, 2016) adicionalmente los responsables



comprometidos en el monitoreo, deben supervisar y garantizar los siguientes aspectos o cambios:

- Cantidad de residuos y desechos
  - Consumo de agua y energía
  - Consumo de materiales
  - Rentabilidad
  - Condiciones laborales
  - Procedimientos operativos
- Mantener las actividades de “PmL” de los planes, haciendo el seguimiento de ellas mediante el control de los indicadores. Toda implementación requiere del compromiso organizacional, y más aún cuando se cumplen los objetivos establecidos durante su implementación; parte del éxito de todo programa es sostener en el tiempo mediante la mejora continua, identificando los problemas relacionados y la implementación de sus mejoras. De igual manera se requiere que el personal involucrado en la implementación (ecoequipo), continúe evaluando las alternativas que no generan los resultados esperados, sean estas para cambiarlas por completo o modificarlas. La organización debe seleccionar un equipo de trabajo responsable de realizar una auditoría interna de continuidad del proyecto; recomendamos desarrollar un Sistema de Gestión Ambiental que certifique que las alternativas implementadas se mantengan en el tiempo y vincule la filosofía “PmL” a la cultura organizacional (Taylor, 2006)

### **3.2.6. Beneficios al implementar PmL**

La filosofía “PmL” se enfoca no solo en el manejo de desperdicios o ineficiencias al final de los procesos productivos; también a la prevención a través de tecnologías limpias y buenas prácticas, optimizando el uso de materias primas, recursos y energía; generando beneficios a la empresa (Marques-Matos et al., 2018); si no también, a sus clientes de la siguiente manera:

- **Beneficio comercial**
  - ✓ Variación de productos con el uso materiales degradables
  - ✓ Mejora la imagen corporativa

- ✓ Participación en nuevos mercados
- ✓ Crecimiento en las ventas
- **Beneficio financiero**
  - ✓ Reducción de costos, relacionado con el tratamiento de residuos y desperdicios
  - ✓ Disminución de costos, por la optimización de las materias primas
  - ✓ Ahorro de recursos naturales
  - ✓ Aumento de productividad
- **Beneficio operacional**
  - ✓ Mejora en la eficiencia de los procesos
  - ✓ Reducción de riesgos laborales
  - ✓ Mejoramiento de la planta industrial en cuanto a infraestructura y lay-out
  - ✓ Aplicación de oportunidades de mejora
- **Beneficios laborales**
  - ✓ Mejores condiciones en seguridad y salud ocupacional
  - ✓ Ambiente laboral mejorado
  - ✓ Conductas positivas del personal y de actitudes.

Finalmente cabe indicar que, en este capítulo, se ha descrito la metodología a ser aplicada en la tesis doctoral, contiene todas las fases y sus actividades de la metodología de “PmL”, la cual es de aplicación en cualquier tipo de empresa productiva o de servicios. Se trata de una metodología amplia, que toma tiempo su implementación y no exenta de la necesidad de cambios imprevistos, lo que en ocasiones puede dificultar su aplicación ya que las fases y actividades están ligadas unas con las otras, por lo que resulta problemático lograr suprimir alguna. El mayor reto para su implementación es conseguir el compromiso de la dirección que indudablemente se verá recompensado por el beneficio que, en primer lugar, para la empresa, y en segundo lugar para la sociedad representa la aplicación de la metodología “Producción más Limpia” (PmL).

### 3.3.Referencias

- Arze Landívar, C., Birbuet, J., Cabrera Santelices, D., Curi, C., Duran, P., Espinoza, C., . . . Zapata Quiroz, J. (2005). Guía Técnica General de Producción más Limpia (Vol. 1). La Paz, Bolivia, Bolivia. <https://doi.org/D.L. N° 4-1-1508>
- Bernal Figueroa, A., Beltrán Parada, C., & Márquez Máquez, A. (2016). Producción más Limpia: una revisión de aspectos generales. *I+3: Investigación & Innovación & Ingeniería*, 3(2), 66-84. <https://doi.org/10.24267/issn.2346-2329>
- Birbuet Juan, Arze Landívar, C., Duran, P., Guamán Meza, D., Lora Rocha, S., Michel Espinosa, A., . . . Curi, C. (2006). ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4310.1206>
- Bosworth, M., Hummelose, B., & Christiansen, K. (2005). Virtual Pro, Digital. (i. a.-U. United Nations Enviroment programme division of technology, Editor) <https://doi.org/20051201-027.pdf>
- Calderón-Huamaní, D., Huaranca Contreras, P., Rodríguez Chacón, J., Díaz Rodríguez, J., Gavilán Calle, D., & Córdova Salas, C. (2021). Implementación de la metodología producción más limpia (PML), en el sector Hotelero, ICA 2019. *ÑAWPARISUN*, 3(3), 47-58. <https://doi.org/10047190/nric.v3i3.6>
- Cardoso de Oliveira Neto, G., Ferreira Correia, J., Silva, P., De Oliveira Sanches, A., & Cezar Lucato, W. (2019). Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1514-1525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.334>
- Carpio Piña, D. (2016). Modelo de producción más limpia para el sistema productivo de la empresa Equifrigo. Universidad del Azuay, Ingeniería de producción y operaciones. Cuenca: Dspace. Recuperado 02 de 05 de 2022, de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5726/1/12046.pdf>
- Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles de Bolivia. (2005). Guía técnica general de Producción más Limpia (Vol. 1). La Paz , Bolivia. Recuperado 23 de 07 de 2023, de [http://www.tecnologiaslimpias.cl/bolivia/docs/GUIA\\_PML.pdf](http://www.tecnologiaslimpias.cl/bolivia/docs/GUIA_PML.pdf)
- Cuevas-Villegas, C. F. (2001). Medición del desempeño: retorno sobre la inversión, ROI; Ingreso residual; IR, Valor económico agregado; EVA; análisis comparado. *Estudios Gerenciales*, 17(79), 13-22. Recuperado 26 de 05 de 2021, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-59232001000200001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232001000200001)
- Custodio-Passini, A. F., Chagas, P., & de Oliveira Demarco, J. (2019). Cleaner production options for a small bakery. *Gestión y Producción*, 26(3), 1-11. <https://doi.org/10.1590/0104-530X3613-19>
- de Oiveira, J., Lopes Silva, D., Devós Ganga, G., Godinho Filho, M., Alves Ferreira, A., Esposto, K., & Ometto, A. (2019). Cleaner production practices, motivatirs and

- performance in the Brazilian industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, 231, 359-369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.013>
- Deutz, S., Bongartz, D., Heuser, B., Katelhon, A., Schulze Langenhorst, L., Omari, A., . . . Bardow, A. (2017). Cleaner production of cleaner fuels: wind-to-wheel environmental assessment of CO<sub>2</sub> - based oxymethylene ether as a drop-in-fuel. *Royal Society of Chemistry*(11), 331-343. <https://doi.org/10.1039/c7ee01657c>
- Díaz-Arango, F., Castellanos-Galeano, J., & Caicedo-Eraso, J. (2015). Fortalecimiento de la competitividad de la cadena láctea en el departamento de Caldas: un modelo de producción más limpia. *Vector*(7), 22-34. Recuperado 03 de 04 de 2023, de [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector7\\_5.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector7_5.pdf)
- Dong, L., Tong, X., Li, X., Zhou, J., Wang, S., & Liu, B. (2019). Some developments and new insights of environmental problems and deep mining strategy for cleaner production in mines. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1562-1578. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.291>
- Fajardo Fonseca, H. (2017). La producción más limpia como estrategia ambiental en el marco del desarrollo sostenible. *Ingeniería, matemáticas y ciencias de la información*, 4(8), 47-59. <https://doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a32>
- Ferro de Guimaraes, J. C., Severo, E., & Henri Dorion, E. (2014). Cleaner production and environmental sustainability: Multiple case from Serra Gaúcha-Brazil. *Espacios*, 35(4), 1-13. Recuperado 04 de 04 de 2023, de <http://ww.revistaespacios.com/a14v35n04/14350408.html>
- Ghisellini, P., Ji, X., Liu, G., & Ulgiati, S. (2018). Evaluating the transition towards cleaner production in the construction and demolition sector of china: A review. *Journal of Cleaner Production*, 195, 418-434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.084>
- González Osorio, W., & Medina Maussa, J. (2003). Guía metodológica de estrategias en producción más limpia para instituciones de salud con nivel III de complejidad. Estudio de caso. Tesis, Universidad de La Salle, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá. Recuperado 03 de 04 de 2023, de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2425&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2425&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Govindan, K., Madan Shankar, K., & Kannan, D. (2016). Application of fuzzy analytic network process for barrier evaluation in automotive parts remanufacturing towards cleaner production - a study in an Indian scenario. *Journal of Cleaner Production*, 114, 199-213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.092>
- Henriquez, J., & Catarino, J. (2015). Sustainable value and cleaner production-research and application in 19 portuguese SME. *Journal of cleaner production*, 96, 379-386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.030>

- Hens, L., Block, C., Cabello-Eras, J., Sagastume\_Gutierrez, A., Garcia-Lorenzo, D., Chamorro, C., . . . Vandecasteele, C. (2018). On the evolution of cleaner production as a concept and a practice. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3323-3333. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.082>
- Intriago L, M. (2011). Implementación de un programa de producción más limpia (PML) en la empresa metalmecánica ESACERO S.A. Universidad Internacional SEK, Ciencias Ambientales. Quito: Dspace. Recuperado 23 de 07 de 2023, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/181/1/Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20programa%20de%20producci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20limpia.pdf>
- Juárez Gómez, V., & De Medina Salas, L. (2009). Propuesta para implementar metodología 5S'S en el departamento de cobros de la subdelegación Veracruz Norte IMSS. Tesis, Universidad Veracruzana, Estadística e Informática, Veracruz. Recuperado 03 de 04 de 2023, de <https://www.uv.mx/gestion/files/2013/01/CARLA-VIOLETA-JUAREZ-GOMEZ.pdf>
- Kannan, D., Govindan, K., & Rajendran, S. (2015). Fuzzy Axiomatic desing approach based green supplier selection: acase study form Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 96, 194-208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.076>
- Loayza-Pérez, J., & Silva-Meza, V. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Industrail DATA*, 16(1), 108-117. Recuperado 14 de 04 de 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81629469013>
- López Timote, J. (2009). Actualización del sistema de gestión ambiental de la empresa textiles OMNES S.A. según NTC ISO 14001:2004 (cláusulas 4.3.1.; 4.3.2. y 4.3.3 manejo de residuos y manejo de sustancias químicas). Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Química Industrial, Pereira. Recuperado 03 de 04 de 2023, de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/887d985e-4b53-4e4c-810e-901044316b66/content>
- Mabitsela, L., Telukdarie, A., & Munsamy, M. (2023). Modelling for cleaner production & optimization. *Procedia computer science*, 217, 679-688. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.264>
- Marques-Matos, L., Anholon, R., da Silva, D., Cooper Ordoñez, R. E., Goncalvez Quelhas, O. L., Leal Filho, W., & de Santa-Eulalia, L. A. (2018). Implementation of cleaner production: A ten-year retrospective on benefits and difficulties found. *Journald of Cleaner Production*, 187, 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.181>
- Martell Ponce, K., Nakamoto Panduro, R., & Torres Sifuentes, C. (2017). Propuesta de un plan estrategico para la empresa Barletta S.A. que permita su crecimiento sostenible. Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Públicas, Ingeniería, Lima. Recuperado 03 de 04 de 2023, de

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/621985/M?sequence=5>

- Martelo, R., Jiménez-Pitre, I., & Moncaris-González, L. (2017). Guía metodológica para el mejoramiento del desarrollo de software a través de la aplicación de la técnica de árboles de problemas. *Información tecnológica*, 28(3), 87-94.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300010>
- Med, T., & Lukyamuzi, A. (2019). Addressing pedagogical esability and mobility barriers in e-learning systems: A case of youth entrepreneurship skill development, plan international uganda. *Science PG*, 5(3), 56-70.  
<https://doi.org/10.11648/j.ijedr.20190503.11>
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *FIDES ET RATIO*, 7(7), 67-85. Recuperado 26 de 05 de 2021, de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-081X2014000100006](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2014000100006)
- Molina Goyes, K., Sandoval Duran, I., Espinosa Ramos, M., Cumba Flores, I., & Calderon Tuarez, D. (2023). Artificial intelligence and participation in environmental protection, industry ans society. *Ciencias de la Ingeniería*, 4(11), 32-37.  
<https://doi.org/10.47460/athenea.v4i11.52>
- Molina-Cedeño, C., Pillco-Herrera, B., Salazar-Muñoz, E., Coronel-Espinoza, B., Sarduy-Pereira, L., & Diéguez-Santana, K. (2020). Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao: Un caso en la Amazonía Ecuatoriana. *Industrial Data*, 23(2), 59-72.  
<https://doi.org/10.15381/idata.v23i2.17640>
- Ossa, A., García, J., & Botero, E. (2016). Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. *Journald of Cleaner Production*, 135, 379-386.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.088>
- Paredes, P. (2014). Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado. *Industrial Data*, 17(2), 72-80.  
<https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12050>
- Poder, T. (2006). Evaluation of enviromental aspects significance in ISO 14001. *SPRINGER LINK*, 37(5), 732-743. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0190-y>
- Quintero, O., Salichs, A., & Torres, M. (2007). Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado 10 de 05 de 2021, de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://publications.iadb.org/es/gestion-ambiental-para-una-produccion-mas-limpia-en-la-region-centro-de-argentina-herramientas-para>

- Ramos-Ramos, T., Guevara-Llerena, D., Sarduy-Pereira, L., & Diéguez-Santana, K. (2020). Producción más limpia y ecoeficiencia en el procesado de cacao: un caso de estudio en Ecuador. *Investigación & Desarrollo*, 135-146. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-10i>
- Rocha-Gil, B., & Echeverri-Rubio, A. (2020). Alternativas de producción más limpia en calidad del aire para el sector alfarero Sogamoso (Boyacá). *Producción + Limpia*, 15(2), 46-70. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n2a3>
- Rodríguez-Guerra, L. C., & Ríos-Osorio, L. A. (2016). Evaluación de sostenibilidad con metodología GRI. *Dimensión Empresarial*, 14(2), 73-89. <https://doi.org/10.15665/rde.v14i2.659>
- Rosero Mantilla, C., & Carvajal Larenas, P. (2012). Tecnologías y principios de producción más limpia para la creación de una empresa manufacturera de calcetines en la ciudad de Ambato. Universidad de Ambato, Ingeniería en Alimentos. Ambato: Dspace. Recuperado 03 de 04 de 2023, de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1938/1/MSc.23pdf>
- Scarazzato, T., Panossian, Z., Tenório, J., Pérez-Herraz, V., & Espinoza, D. (2017). A review of cleaner production in electroplating industries using electrodialysis. *Journal of cleaner production*, 168, 1590-1602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.152>
- Severo, E., Ferro de Guimaraes, J., Henri Dorion, E., & Nodari, C. (2015). Cleaner Production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian Metal-Mechanic industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.027>
- Silva, A., Medeiros, C., & Vieira, R. (2017). Cleaner production and PDCA cycle: practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. *Journal of Cleaner Production*, 150, 324-338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.033>
- Sousa-Zomer, T., Magalhaes, L., Zancul, E., Campos, L., & Cauchick-Miguel, P. (2018). Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacture. *Journal of Cleaner Production*, 185, 740-748. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.006>
- Taylor, B. (2006). Encouraging industry to assess and implement cleaner production measures. *Journal of Cleaner Production*, 14, 601-609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.07.013>
- Toussaint, L., Demoly, F., Lebaal, N., & Gomes, S. (2010). PML-based approach for design verification and validation using manufacturing process knowledge. *Systemics, Cybernetics and informatics*, 8(1), 1-7. Recuperado 03 de 04 de 2023, de <https://www.iiisci.org/Journal/PDV/sci/pdfs/GF871FP.pdf>



- Van Hoof, B., & Herrera, C. (2007). La evolución y el futuro de la producción más limpia en Colombia. *Ingeniería*(26), 101-120. <https://doi.org/10.16924/revinge.26.12>
- Varela Pérez, J., López Ortega, A., García Morales, B., & Franco Camargo, A. (2023). Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar el proceso de fabricación de reguladores en la industria automotriz. *Ciencia Latina*, 7(1), 3889-3895. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4699](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4699)
- Vásquez-García, A., Matus-Gardea, J., Cetina-Alcalá, V., Sangerman-Jarquín, D., Rendón-Sánchez, G., & Caamal-Cauich, I. (2017). Análisis de rentabilidad de una empresa integradora de aprovechamiento de madera de pino. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 649-659. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.38>
- Vilela-Pincay, W., Espinoza-Encarnación, M., & Bravo-González, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de Gestión: Revista Internacional de Administración*, 215-233. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>
- Xia, D., Yu, Q., Gao, Q., & Cheng, G. (2017). Sustainable technology selection decision-making model for enterprise in supply chain: Based on a modified strategic balanced scorecard. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1337-1348. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.083>
- Zhao, J., Yan, P., & Wang, D. (2017). Research on mineral characteristics of converter steel slag and its comprehensive utilization of internal and external recycle. *Journal of Cleaner Production*, 156, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.029>



## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	95
4.1. Datos generales de la planta de beneficio .....	99
4.2. Aplicación del modelo de “PmL” en la planta de beneficio “El Puma” .....	99
4.2.1. Fase 1. Planeación y organización.....	99
4.2.1.1. Actividad 1. Obtención del compromiso de la empresa.....	99
4.2.1.2. Actividad 2. Organizar el equipo "PmL".....	99
4.2.1.3. Actividad 3. Establecer objetivos e indicadores de "PmL".....	101
4.2.1.4. Actividad 4. Identificar barreras y facilidades.....	102
4.2.2. Fase 2. Diagnóstico inicial.....	104
4.2.2.1. Actividad 5. Definir el enfoque del diagnóstico .....	104
4.2.2.2. Actividad 6. Entradas y salidas.....	105
4.2.2.3. Actividad 7. Desarrollar diagramas de flujo de procesos.....	105
4.2.3. Fase 3. Evaluación.....	111
4.2.3.1. Actividad 8. Balance de masa y energía.....	111
4.2.3.2. Actividad 9. Evaluar las causas de generación de residuos, ineficiencia energética o consumo excesivo de agua.....	114
4.2.3.3. Actividad 10. Alternativas de "PmL".....	115
4.2.3.4. Actividad 11. Identificar alternativas viables de "PmL" y establecer objetivos e indicadores .....	116
4.2.4. Fase 4. Estudios de factibilidad.....	121
4.2.4.1. Actividad 12. Evaluación preliminar.....	122
4.2.4.2. Actividad 13. Evaluación técnica.....	122
4.2.4.3. Actividad 14. Evaluación ambiental.....	129
4.2.4.4. Actividad 15. Evaluación económica.....	131
4.2.4.5. Actividad 16. Selección de alternativas de "PmL".....	145
4.2.5. Fase 5. Implantación.....	146
4.2.5.1. Actividad 17. Preparación del plan de “PmL.....	148
4.2.5.2. Actividad 18. Implementar alternativas de PmL.....	149
4.2.5.3. Actividad 19. Monitorear el progreso de la PmL.....	149
4.2.5.4. Actividad 20. “Sostener el PmL”.....	151

4.3. Beneficios de implementar “PmL” .....	151
4.4. Consideraciones finales.....	152
4.5. Referencias.....	155

En este capítulo se describen los resultados de la aplicación de cada una de las fases y actividades de la metodología “PmL” citadas en el capítulo anterior, en este caso puestas en marcha y adaptadas específicamente en la planta de beneficio “El Puma”, encuadrada en el sector el “PACHE” del cantón Portovelo perteneciente a la provincia de El Oro. La citada planta puede considerarse representativa de las aproximadamente noventa plantas de beneficio, operando en la citada zona, dedicadas a la extracción, fundición y refinamiento de oro y plata.

#### **4.1. Datos generales de la planta de beneficio**

Tal como se acaba de indicar, para el desarrollo del programa se toma como referencia la planta de beneficio “El Puma” perteneciente al Sr. Enrique Pontón, a quién se le agradece especialmente su colaboración, facilitando el acceso a información de la empresa y el análisis de sus procesos productivos. La tabla 4.1. presenta la información necesaria, e importante, para cualquier persona ajena a la empresa que requiera información básica sobre la misma. En el anexo 2. La figura A.2A. visualiza la información organizacional de la empresa.

#### **4.2. Aplicación del modelo de “PmL” en la planta de beneficio “El Puma”**

##### **4.2.1. Fase 1. Planeación y organización**

En esta fase se da a conocer al personal de la planta la metodología de “PmL”, se definen los objetivos e indicadores del proyecto, se promueve la conformación del ecoequipo y se recaba el compromiso de la empresa.

##### **4.2.1.1. Actividad 1. Obtención del compromiso de la empresa**

Se requiere del compromiso de la dirección de la planta de beneficio, la cual acepta la propuesta, comprometiéndose a apoyar la aplicación de la PmL con recursos necesarios durante la implementación de la herramienta para el éxito del programa; decisión que fue socializada a todo el personal de la planta.

##### **4.2.1.2. Actividad 2. Organizar el equipo de “PmL”**

Se conforma el equipo de “PmL”, denominado ecoequipo de aquí en adelante; grupo que mantendrá reuniones de trabajo y capacitaciones de las actividades que se desarrollarán con la supervisión del tutor responsable de elaborar los estudios (tabla 4.2.).

**Tabla 4.1. Información general de la planta de beneficio “El Puma”**

Razón Social:	Planta de beneficio de extracción, fundición y refinación de metales		
Nombre Comercial:	El Puma		
Propietario:	Sr. Enrique Pontón	Representante legal:	Sr. Enrique Pontón
Dirección:	Sector el PACHE, vía principal Piñas – Portovelo - Zaruma		
Nº.	S/N (Referencia: frente a la gasolinera PRIMAX)		
Teléfono	0984911464		
Parroquia:	El PACHE	Ciudad	Portovelo
Cantón:	Portovelo	Provincia	El Oro
RUC #:	0702383886-001		
Rama de actividad (según CIU)	Artesanal – Semi-industrial		
Número de la actividad según el (CIU)	390060		
Fecha de inicio de funcionamiento planta industrial	05-11-2019		
Régimen de funcionamiento:	24 horas	28 días/mes	350 días al año
Clasificación:	Industria		
Clasificación en cuanto al tamaño:	Artesanal – semi industrial		
Cámara a la que está afiliada:	Cámara de la pequeña y mediana industria		
Principales productos o servicios:	Extracción, fundición y refinación de metales oro y plata		
Facturación anual:	500.000 \$		
Nombre de los promotores de “PmL”	Sr. Enrique Pontón		
Tutor del programa de “PmL”	Ing. Wilton Eduardo Romero Black		

**Tabla 4.2. Ecoequipo de la planta de beneficio “El Puma”**

<b>UNIDAD</b>	<b>CARGO</b>
Producción general	Gerente General
Triturado y molienda	Operador
Cianuración	Operador
Desorción	Operador
Fundición	Operador
Refinación	Operador

Sus miembros fueron designados según los procesos productivos al que pertenecen, asignando al responsable de cada proceso primario como integrante, y, de manera conjunta, el gerente y el tutor. La dinámica del ecoequipo consistirá en analizar las entradas (recursos) y salidas (salidas e ineficiencias) generadas durante el proceso productivo.

#### **4.2.1.3. Actividad 3. Establecer objetivos e indicadores de “PmL”**

Se socializa la herramienta “PmL” con los miembros y trabajadores de la empresa para exponer los beneficios económicos y ambientales que se pueden alcanzar con la aplicación de esta herramienta. El ecoequipo ya conformado, plantea los objetivos e indicadores que perdurarán durante el tiempo de vida del programa “PmL”. Se establecen objetivos e indicadores por cada meta planteada, lo cual se detalla en la tabla 4.3.

Establecidos los objetivos e indicadores por parte del ecoequipo, éstos se encuentran relacionados con las alternativas de mejora planteadas, así como también con la reducción de las ineficiencias y el uso racional de insumos en los procesos productivos.

El primer objetivo está orientado al cronograma de las actividades planificadas, monitoreando el progreso de ejecución de las actividades en el programa de “PmL”; el segundo se halla relacionado con la eficiencia y el tercero con la productividad.

**Tabla 4.3. Objetivos e indicadores de “PmL” en la planta de beneficio “El Puma”**

<b>Objetivos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Indicadores</b>
<b>CRONOGRAMA</b>	Establecimiento e implementación del PmL	Alternativas implementadas / Alternativas propuestas
<b>EFICIENCIA</b>  Establecer estrategias que ayuden a elevar la eficiencia y optimización de los recursos.	Comparar el consumo de agua empleada antes y después de las mejoras empleadas en los procesos de molienda, cianuración y desorción	Consumo de agua utilizada antes de mejoras / consumo de agua aplicadas las mejoras
	Comparar el consumo de energía antes y después de aplicadas las mejoras	Consumo total de energía antes de la mejora / total de consumo de energía después de las mejoras.
	Comparar el consumo de insumos antes y después de aplicadas las mejoras en los procesos de cianuración y desorción	Cantidad total de insumos utilizados al mes / Cantidad de insumos comprados al mes
<b>PRODUCTIVIDAD</b>  Optimizar el proceso productivo de la planta de beneficio mediante la aplicación de estrategias productivas	Comparar el tiempo antes y después de aplicadas las mejoras en el proceso molienda y cianuración	Tiempo de procesamiento aplicado antes de la mejora / Tiempo de procesamiento después de la mejora
	Tiempo real del proceso de beneficio / Tiempo total del proceso de beneficio	Tiempo de operación / Tiempo total
	Comparar la relación costo/beneficio del proceso de beneficio	Costo total del beneficio antes de las mejoras / Costo total del beneficio después de las mejoras

#### **4.2.1.4. Actividad 4. Identificar barreras y facilidades**

Toda puesta en marcha de un proyecto o programa presenta diversas dificultades en cualquier tipo de empresa, la planta de beneficio no siendo una excepción; dichos problemas se identifican en la tabla 4.4.

En la ejecución de las actividades, y, de acuerdo a los compromisos adquiridos, se establece que los trabajos a realizar no deben interrumpir el proceso productivo, y que la ejecución del plan se realizará bien durante horas improductivas, ya que la planta labora las 24 horas del día, o bien cuando el gerente lo considere adecuado.



**Tabla 4.4. Barreras y soluciones en la planta de beneficio “El Puma”**

Item	Barreras	Solución
1	Limitado compromiso por parte del personal de planta.	Inculcar al personal los beneficios del programa de “PmL”
2	Limitada comprensión de la metodología de “PmL” por parte del ecoequipo	Desarrollo de capacitaciones frecuentes a los grupos de trabajo.
3	Desarrollo de ejecución de actividades (alternativas) cuando la producción es baja.	Desarrollo de trabajos cuando la maquinaria esté en mantenimiento.
4	Adecuación de maquinaria (molinos, trituradoras) lenta	Adecuación de maquinaria (molinos, trituradoras) cuando la producción sea baja
5	Una sola persona destinada al desarrollo y adecuación de la maquinaria	Contratación de una persona para el desarrollo de trabajos (técnicos) de acondicionamiento de la maquinaria.

En la primera fase, la mayor barrera en la implementación de la herramienta es el poder dividir las actividades operativas relacionadas al trabajo propio y el tiempo a dedicar en otras actividades diferentes a sus labores cotidianas; así como también, a la limitada comprensión de la herramienta, considerando que la misma busca la optimización de los recursos con el mayor respeto posible al medio ambiente.

Los resultados de la fase 1 se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Se logra el compromiso por parte de la empresa con la condición de que durante el proceso no se altere o se vea afectada la producción o la prestación del servicio.
- Se conforma el ecoequipo con los responsables de cada proceso, el gerente y doctorando (tabla 4.2).
- En conjunto con el ecoequipo se analiza cada proceso y se decide, que los indicadores a considerar sean la eficiencia y la productividad, y, dentro de ellos, se establecen tres indicadores (tabla 4.3).
- Se identifican las barreras y las soluciones para la implementación de la herramienta PmL (tabla 4.4).

#### 4.2.2. Fase 2. Diagnóstico inicial.

Esta fase comprende 3 actividades, el diagnóstico inicial ayuda a identificar la situación actual de la planta de beneficio; es aquí donde se analizan las entradas y salidas; igualmente se representa y grafica el proceso de beneficio mediante diagramas de flujo (véase el anexo 2.fig A.2.B).

**Tabla 4.5. Enfoque del diagnóstico de la planta de beneficio “El Puma”**

Actividades críticas	PRIORIDADES			Otras consideraciones
	Económicas	Ambientales	Técnicas	
Consumo de energía	3	1	2	Ineficiencias energéticas
Generación de residuos sólidos	3	1	2	Transporte de relaves a la relavera comunitaria
Fallos de equipos	1	2	3	Costo de mantenimiento de la maquinaria
Adecuación de maquinaria	3	1	2	Acondicionamiento de maquinaria para eliminar ineficiencias
Consumo de agua	1	3	2	Costo de almacenamiento y tratamiento de agua
Mejoramiento de infraestructura	3	1	2	Acondicionamiento de la planta

##### 4.2.2.1. Actividad 5. Definir el enfoque del diagnóstico.

Se identifican las causas de las ineficiencias productivas, considerándolas como críticas, las cuales se detallan en la tabla 4.5, que muestra las posibilidades financieras y técnicas de la planta de beneficio; sobre la base de este planteamiento el ecoequipo priorizó las actividades críticas detectadas, tomando en consideración el aspecto económico. Para la priorización y ponderación de las alternativas, la empresa considera como muy relevante la parte económica; en segundo lugar, lo relativo al aspecto técnico, quedando en tercer lugar las consideraciones ligadas a lo medioambiental. De cara a la cuantificación y, por ende, correspondiente priorización, la empresa determina que se asignen los valores 1, 2 y 3 a los aspectos medioambientales, técnicos y económicos, respectivamente.

#### **4.2.2.2. Actividad 6. Entradas y salidas**

Con el ecoequipo, y el apoyo de datos previos como historial de consumo de energía, se identifican las diversas entradas, en conjunto con su costo anual, que tiene la planta de beneficio “El Puma”.

La tabla 4.6. contiene las entradas que se pueden ponderar; la administración manifestó la existencia de insumos que son recuperados y reutilizados en el proceso productivo, cual es el caso del carbón activo, que cada mes es cambiado, ya que por la reutilización sufre desgaste, perdiendo su función principal.

De todo el proceso el único residuo del cual se obtiene ingreso, y que no está contabilizado, es la escoria; ya que éste es el resultado del proceso de fundición en la separación de los metales a extraer (tabla 4.7.).

En relación al residuo cuarzo (arenillas), resultado del proceso de cianuración, se procede a realizar el respectivo análisis (cola) para determinar el porcentaje de oro que aún contienen dichas arenas, ello con el fin de ser procesado mediante flotación, siempre y cuando el resultado del análisis de cola sea mayor al 2%; en caso contrario son depositados en un área establecida por la empresa (relavera, fig. 4.1), para luego ser transportados a la relavera comunitaria el “Tablón” (fig. 4.2), instalación construida por la prefectura de “El Oro” como lugar de depósito de estos relaves sin costo alguno.

#### **4.2.2.3. Actividad 7. Desarrollar diagramas de flujo de procesos**

La planta de beneficio “El Puma” cuenta con el proceso de cianuración y, en proyecto a corto plazo, el de flotación, ya en proceso de implementación. El estudio se ha centrado en el proceso de cianuración.

**Tabla 4.6. Información general de entradas de la planta de beneficio “El Puma”**

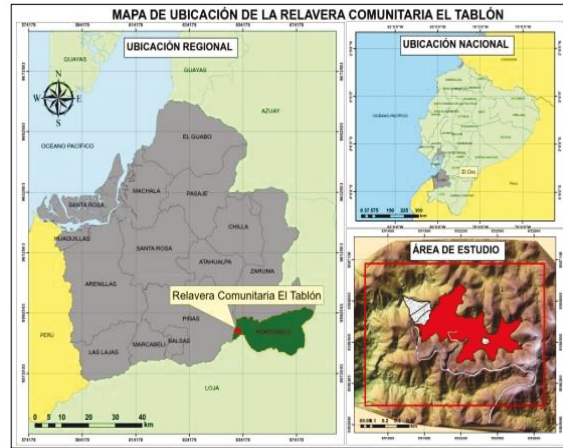
<b>Proceso</b>	<b>Entrada</b>	<b>Cantidad anual</b>	<b>Costo total (\$)</b>
<b>Molienda</b>	Cuarzo	14.000.000 kg	----
<b>Cianuración</b>	Arenas	9.333.800 kg	----
	Cianuro	24.500 kg	73.500,00
	Carbón activo	48.000 kg	115.200,00
	Cal	17.500 kg	26.425,00
<b>Subtotal</b>			<b>215.125,00</b>
<b>Desorción</b>	Alcohol	18.750 L	67.500,00
	Cianuro	1.750 kg	5.250,00
	Soda caústica	5.000 kg	33.000,00
	Lana de acero	682 kg	3.410,00
<b>Subtotal</b>			<b>109.160,00</b>
<b>Refinación</b>	Ácido nítrico	562,5 L	1999,50
	Bórax	750 kg	630,00
	GLP	180 L	36,00
	Oxígeno	14 Nm <sup>3</sup>	411,43
<b>Subtotal</b>			<b>3.076,93</b>
Consumo de agua			<b>5.700,00</b>
Consumo de energía			<b>60000,00</b>
<b>COSTO TOTAL DE ENTRADAS</b>			<b>393.061,93</b>

**Tabla 4.7. Ingresos por venta anual de residuos de la planta de beneficio “El Puma”**

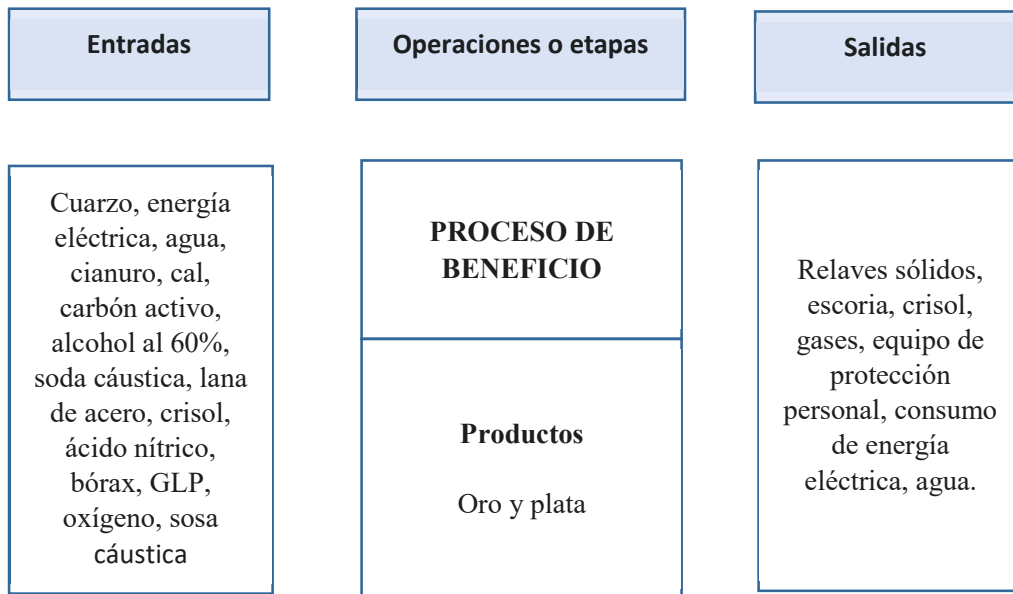
<b>Residuos / emisiones</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio de venta</b>	<b>Ingreso (\$)</b>
<b>Relaves</b>	9333,8 Tn	5	46.669
<b>Escoria</b>	240 kg	10	2.400
<b>Crisol</b>	4	20	80
<b>Total</b>			<b>49.149</b>



**Figura 4.1. Relavera de la planta “El Puma”**



**Figura 4.2. Relavera comunitaria “El Tablón”**



**Figura 4.3. Flujoograma cualitativo general de la planta de beneficio “El Puma”**

La figura 4.3. muestra, de manera general, las entradas, las salidas y el producto a obtener resultado del proceso productivo; por su parte, la figura 4.4. muestra que los procesos de la línea de beneficio son, aunque consecutivos, independientes; ya que al terminar un lote de producción en la sección de molinos es posible continuar con la producción de otro, sea del

mismo dueño de la planta o perteneciente a un cliente externo, manteniéndose el proceso productivo sin retrasar los otros procesos.

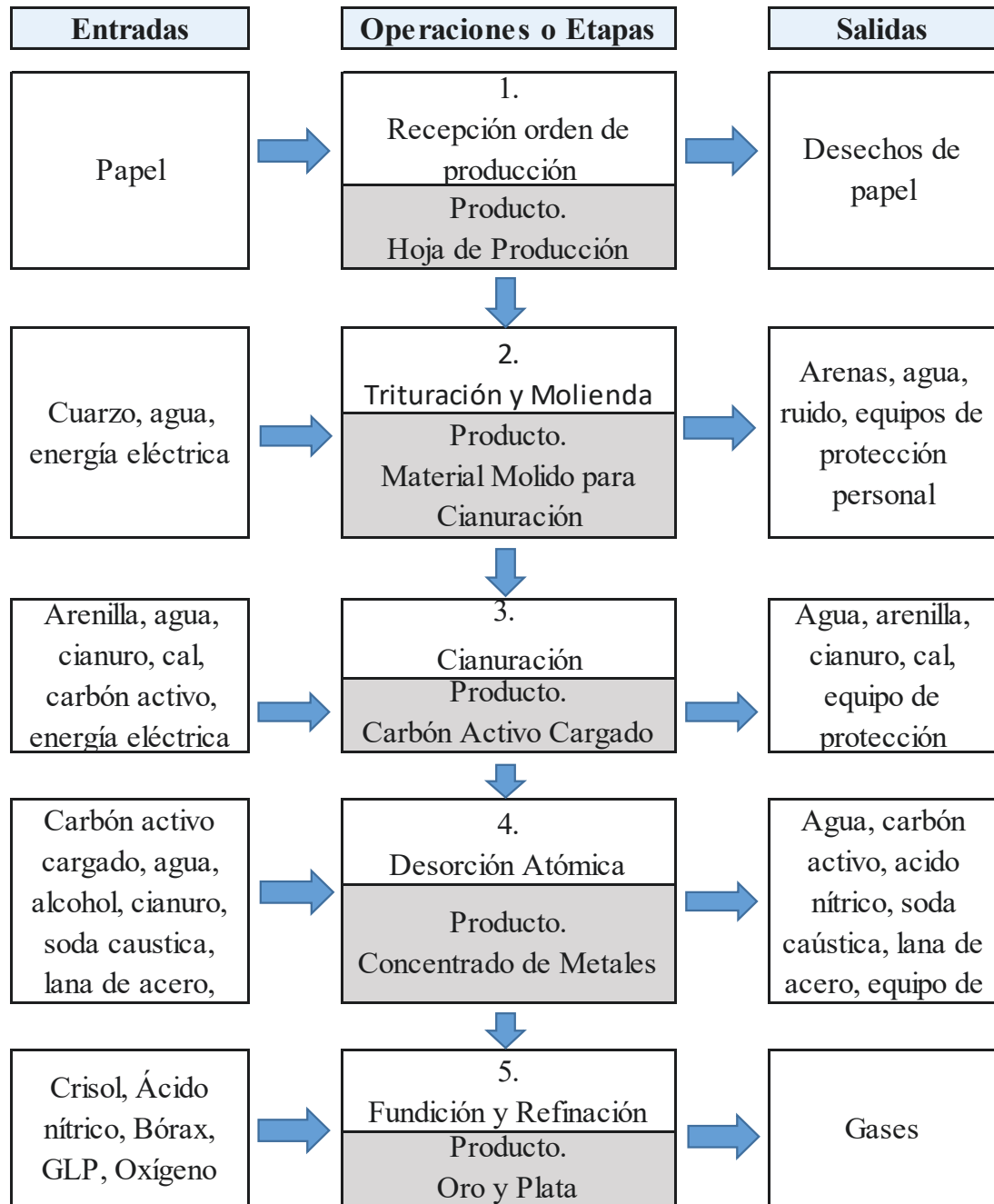
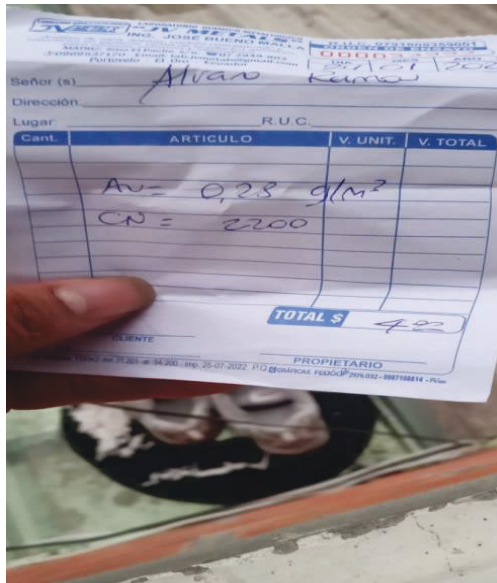


Figura 4.4. Flujograma cualitativo del proceso de beneficio (planta de beneficio “El Puma”)

Los resultados de esta fase se indican seguidamente:

- Proceso de molienda, se identifican ineficiencias en el proceso como el desaprovechamiento de los recursos (agua y energía), en productividad (mano de obra), así como también la inseguridad del operador al momento de realizar la carga de material a los molinos.
  - Con el mejoramiento estructural de la máquina trituradora, se disminuye el riesgo de accidente laboral, así como también la dotación de cinturones de cuero para disminuir el riesgo a lesiones en la manipulación, levantamiento y carga de rocas (cuarzo) a las máquinas trituradoras.
  - Se realiza mantenimiento a los motores, se mejora su potencia y se adaptan los condensadores, con lo que mejoran la eficiencia energética y su productividad.
  - Se decide recircular el agua utilizada en el proceso de molienda, para ello se reacondicionan las cisternas de sedimentación, de modo que las aguas que rebosan las cisternas se depositen en un tanque de almacenamiento y mediante una bomba se conectan a un tanque metálico para su almacenamiento y recirculación a los molinos.
- Proceso de cianuración, se inspecciona el proceso y se identifican ineficiencias durante el transporte del material sedimentado, generando demora en el transporte del mismo a los tanques de cianuración.
  - Se mejora el sistema de bombeo mediante cambio de mangueras de mejor calidad y resistencia, se realiza el mantenimiento a los motores, se mejora la capacidad del motor y se adapta el respectivo condensador mejorando su eficiencia energética y productividad.
  - Se decide como alternativa la reutilización de las aguas empleadas en el proceso, para lo cual se recubre el interior del tanque metálico con geomembrana como medida de protección a la corrosión, considerando que se almacenarán aguas con sales (cianuros)
  - Se reacondicionan los depósitos de relave con geomembrana de alta resistencia, de 1.5 mm de espesor, con la finalidad de impermeabilizar el área de almacenamiento de relaves de las sales, ácidos y metales que contengan las arenas y los relaves.



**Figura 4.5. Análisis de cabeza del material cianurado**

- Mediante análisis de cabeza (fig. 4.5) se determina la cantidad de oro en  $\text{gr/m}^3$ , así como también la concentración del cianuro disuelto y otros elementos que contengan las aguas, con la finalidad de optimizar los insumos utilizados en el proceso y sus costos.
  - Se verifica la calidad del carbón activo y su tiempo de vida para su reutilización.
  - Mediante análisis de cola, se determina la cantidad de oro y plata existente en el material cianurado, y sobre la base del resultado se destina para su depósito en la relavera comunitaria, o para el proceso de flotación, o incluso venderlo como concentrado de otros metales. El anexo 3, la tabla A.3.1., encontramos el resultado de análisis de cabeza y cola ( $\text{gr/m}^3$ ) a 21 muestras tomadas de forma aleatoria.
- Proceso de desorción, en conjunto con el ecoequipo se inspecciona el proceso y se determina lo siguiente:
- Reutilización de las aguas resultado del proceso, para lo cual se acondiciona un tanque metálico con recubrimiento interno que disminuye la corrosión del mismo para el almacenamiento de las aguas.
  - Se verifica la calidad del carbón activo y su tiempo de vida para su reutilización.



- Mediante análisis químico se determina la concentración de ácido de las aguas almacenadas para completar con la cantidad de insumo (ácido) requerido para el proceso.
- Proceso de fundición y refinación, se analiza el proceso y el ecoequipo determina lo siguiente:
  - Se inspecciona el proceso y se determina, junto al ecoequipo, que el extractor de gases debe ser redimensionado para que cumpla adecuadamente su función.

### **4.2.3. Fase 3. Evaluación**

Las fases anteriores ayudaron a identificar puntos críticos en la planta de beneficio, específicamente respecto a ineficiencias en su vertiente ambiental. En esta fase se evalúa detalladamente cada proceso que forma parte del beneficio de los metales, mediante el respectivo balance de masa y energía, y que, posteriormente, permite proponer y evaluar alternativas de “PmL”.

#### **4.2.3.1. Actividad 8. Balance de masa y energía**

Con la ejecución de las fases anteriores se han podido establecer los puntos críticos en los cuales se producen ineficiencias o pérdidas; por ejemplo, el limitado acondicionamiento de las máquinas, o la inadecuada configuración física para el transporte del agua empleada en el proceso de molienda.

##### **➤ Balance de masa y energía**

De forma coordinada con el ecoequipo se procede a cuantificar los insumos incurridos y la cantidad de desechos generados en el proceso de beneficio (tabla 4.8.). La tabla 4.9. muestra la evaluación global de costos referente a la materia prima, la cual en una planta de beneficio es el material de mina denominado “cuarzo”, que llega a la planta de beneficio a ser procesado para la extracción de metales tales como oro y plata.

De la cantidad de cuarzo que se procesa diariamente en molienda queda como material útil el 66.7% (9.334 Tn en la planta de beneficio en estudio) para el proceso de cianuración; el resto del material 33.3% (4.666 Tn) son lodos y arenillas, material ligero que mediante flujo de agua se deposita directamente en cisternas de recolección, para luego ser almacenado como relave.

**Tabla. 4.8. Balance de masa y energía del proceso de beneficio**

Periodo 2020 - 2021				BENEFICIO DE METALES			
ENTRADAS				PROCESO PRODUCTIVO	SALIDAS		
Materias primas, insumos y auxiliares	Suelo Tn	Agua m <sup>3</sup>	Energía kWh	Etapas	Efluentes líquidos	Residuos sólidos	Emisiones atmosféricas
Papel	----	----	----	<b>1. Recepción de contrato de trabajo</b>	----	Residuos de papel	----
Contrato de trabajo							
Material de mina (cuarzo)	Cuarzo	Agua	Energía eléctrica / kWh	<b>2. Trituración y molienda</b>	3.584,4	14.000	Ruido
<b>Trituración y molienda</b>							
Cuarzo sedimentado	Arenas	Agua	Energía eléctrica / kWh	<b>3. Cianuración</b>	3240	9.333,8	Ruido
Cal						17.500	
Cianuro						24.500	
Carbón activo						48.000	
<b>Cianuración de arenillas</b>							
Carbón activo		Agua	Energía eléctrica / kWh	<b>4. Desorción</b>	0	0	Ruido / gases
Alcohol					18.750		
Cianuro						1.750	
Soda cáustica						5.000	
Lana de acero						682	
<b>Desorción atómica</b>							
Metales condensados				<b>5. Fundición y refinación</b>		10 kg escoria	Gases
Crisol de grafito						4	
Ácido nítrico					562,5		
Bórax						750	
GLP						180	
Oxígeno						14m <sup>3</sup>	
<b>Fundición y refinación</b>							
Finalización de contrato				<b>6. Entrega de oro y plata en barra</b>		Residuos de papel	

**Fuente: Planta de Beneficio “El Puma”**

**Tabla 4.9. Evaluación global de costos de planta de beneficio “El Puma”**

TIPO DE INSUMO Y MATERIA PRIMA		Cantidad de materia prima e insumos	Costo MP*	Costo total de MP	Cantidad de residuos	Costo (almacenaje, transporte y disposición)	Precio venta (residuos)	Ganancia por venta de residuos MP	Costo residuo MP	Costo total del residuo	Eficiencia del empleo MP
		Tn	\$	\$	Tn/año	\$/kg	\$	\$	\$	\$	%
		A	B	C= AxB	D	E	F= DxE	G= F-E	H= BxD	I= (E+H) - F	J= (A-D) / A
Molienda	Material de mina (cuarzo)	14000	0	0	4666,2	0	0	0	0	0	66,67
Cianuración	Material de mina (cuarzo)	9333,8	0	0	9333,8	35	326683	326648	0	-326648	100
<b>COSTO GENERAL DE LOS RESIDUOS EN EL PROCESO</b>											

\* MP = MATERIA PRIMA

Este material compuesto por lodos y arenillas se analiza en relación a su contenido en metales nobles, de modo que según su porcentaje de oro y plata se decide si el material es útil para flotación y/o venta, o, por el contrario, se deposita directamente como relave para ser trasladado finalmente a la relavera comunitaria. Se considera que los lodos y arcillas pueden someterse al correspondiente tratamiento para recuperar los metales nobles, que todavía contienen, si su concentración es superior a 2 g/Tn. La cantidad de residuo apto para este proceso es variable, oscilando entre el 2% al 3%, en el entorno de 200 Tn para el caso de la planta de beneficio en estudio,

#### **4.2.3.2. Actividad 9. Evaluar las causas de generación de residuos, ineficiencia energética o consumo excesivo de agua**

El balance de masa y energía pone de manifiesto las ineficiencias y los residuos presentes en todos los procesos de la planta de beneficio, pero debido a las características del material de mina (arenas, lodos, roca, cuarzo y metales impregnados en el material) los insumos utilizados en los procesos de cianuración y desorción se diluyen tanto en el agua como en el material (arenas); por su parte, en el proceso de fundición los insumos utilizados se gasifican o se impregnan en la escoria.

Con el ecoequipo se analiza el balance de agua, quedando patente la ineficiencia en el proceso de molienda, ya que presenta desperdicios en la rotación de los rodamientos de los molinos, salpicando agua fuera de las máquinas, generando charcos que dificultan el movimiento y, a la vez, generando riesgo en el lugar de trabajo. De igual manera resulta evidente que se trata de un consumo excesivo de agua, hecho claramente contrario a la sostenibilidad, siendo obligado, desde el punto de vista medioambiental, el establecimiento de estrategias que permitan optimizar su uso.

Tal como se indicó anteriormente, los residuos (arenas y lodos), considerado material estéril, son depositados en la relavera propiedad de la planta (fig. 4.1) con el fin de filtrar la máxima agua contenida en dichos materiales de cara a su reaprovechamiento.

#### **➤ Desarrollo del análisis e identificación de oportunidades**

##### **• Máquinas y herramientas**

- Desperdicio de agua en el proceso de molienda debido a que el molino de ruedas no se encuentra cerrado totalmente y el agua se derrama fuera de los canales de drenaje que transportan mediante caudal a la cisterna de sedimentación.
- La máquina trituradora debido a su función, expulsión de material (cuarzo) fuera de la misma, causa pérdida de tiempo, doble trabajo al operador y, de manera ocasional, accidente laboral; además, la falta de mantenimiento de los motores representa un aumento en el consumo de energía en el momento del arranque.
- Limitada capacidad productiva de la maquinaria.

- **Construcción y mantenimiento**

- Los canales de circulación de agua y arenas no abastecen el caudal de agua en el proceso de molinos, generando desperdicios de agua y arenas.
- La tubería utilizada para el bombeo del material sedimentado (útil) al tanque de cianuración se encuentra en mal estado (con parches, uniones) y, sobre todo, su capacidad no es acorde al tipo de bomba utilizada.
- La chimenea de gases no cumple adecuadamente su función.
- Se precisa la construcción y acondicionamiento para el almacenamiento de relaves cianurados a ser utilizados para el proceso de flotación.

- **Método de trabajo**

- El material (cuarzo) grueso, en forma de piedra pesada con forma irregular, es colocado manualmente por el operador en la máquina trituradora, ello sin implementos de seguridad y salud ocupacional, generando dificultad para su manipulación y muy probable enfermedad ocupacional en el mediano plazo.

- **Materiales directos (insumos)**

- Análisis de la concentración de ácidos y álcalis de las aguas utilizadas en los procesos de cianuración y desorción, ello para su posible reutilización en dichos procesos.

#### **4.2.3.3. Actividad 10. Alternativas de “PmL”**

El análisis de las causas y los efectos de los problemas asociados a un inadecuado proceso productivo posibilita la visualización de las oportunidades de mejora, siendo procedente considerar la aplicación de las “5Ms”; ya que es un método cuyo enfoque es encontrar la raíz de los problemas, y está estructurado en 5 pilares: máquina, método, mano de obra, medio ambiente y materia prima (tabla 4.10).

El ecoequipo ha determinado minimizarlos, planteando alternativas que permitan, reducir o eliminar las causas de las ineficiencias o residuos desde la fuente, de modo que la tabla 4.10. también describe las alternativas de solución a los problemas que causan las ineficiencias y la producción de residuos; opciones establecidas por el ecoequipo, pero no inamovibles, ya que pueden modificarse o redefinirse según como vayan avanzando en su ejecución.

#### 4.2.3.4. Actividad 11. Identificar alternativas viables de “PmL” y establecer objetivos e indicadores

Tomando como referencia la tabla 4.10. se desarrolla la tabla 4.11., un listado de alternativas concretas, asociando a cada una de ellas un objetivo y su respectivo plan de acción. En la tabla 4.11. se plantean 12 alternativas factibles, 10 de ellas aprobada su ejecución. Por su parte la alternativa 4 “Construir banda transportadora para molienda” no es aceptada por la gerencia, puesto que no se desea eliminar personal de trabajo, ya que cuenta con personas de confianza que están trabajando desde el inicio de la actividad económica de la planta de Beneficio; la alternativa 12 tampoco es aceptada debido a elevada inversión para su implementación.

**Tabla 4.10. Alternativas de “PmL”**

<b>"M"</b>		<b>Alternativa</b>
1	<b>Métodos</b>	Separar material (cuarzo) que debe ser triturado.
2	<b>Maquinaria y herramientas</b>	Acondicionar los molinos de ruedas para eliminar las ineficiencias de agua.
		Elaborar tolva para añadir en máquina trituradora de cuarzo.
		Realizar mantenimiento a motores y mejorar su eficiencia añadiendo condensadores.
		Instalar banda transportadora para transporte de material a molinos
		Reestructurar canales de circulación de agua y arenas a cisternas de sedimentación.
		Mejorar el sistema de bombeo de material sedimentado a tanques de cianuración.
		Reestructurar la chimenea de gases de la sección de fundición.
3	<b>Mano de obra</b>	Aumento de la eficacia y eficiencia del proceso de molienda.
4	<b>Medio ambiente</b>	Reducción de gases en el proceso de fundición.
		Reutilización de agua para los procesos de molienda, cianuración y desorción.
		Cambio y reutilización del carbón activo en los procesos de cianuración y desorción.
5	<b>Materiales</b>	Almacenamiento y/o reutilización o venta de material (arenillas) procesadas para flotación.
		Racionalizar el consumo de insumos mediante análisis de carga de las aguas utilizadas en el proceso de cianuración y desorción.

El análisis de masas (cuarzo, insumos y agua) permite determinar lo siguiente:

- En relación al material de mina.

Anualmente ingresan a la planta de beneficio 14000 toneladas de material de mina (cuarzo), de los cuales 66.67% corresponde a material útil (cianuración) y el 33.33% son directamente depositados en la relavera de la empresa; al año las plantas de beneficio de características similares a El Puma extraen en promedio unos 37.5 kg de oro y 40 kg de plata.

**Tabla 4.11. Identificación de alternativas concretas (planta de beneficio “El Puma”)**

Nº	Acción a ser adoptada	SI	NO	Objetivo
1	Separar las rocas (cuarzo) para procesarlas al término del lote de material a procesar	X		Aumentar la productividad y reducir la fatiga laboral
2	Elaborar tolva para incorporar a máquina trituradora	X		Evitar accidente laboral
3	Realizar mantenimiento a motores y bombas y potenciarlas con condensadores	X		Mejorar la productividad hombre-máquina y eliminar las ineficiencias
4	Construir banda transportadora para el proceso de molienda		X	Reducir la fatiga laboral, reducir número de operarios y eliminar riesgos laborales
5	Recubrir y soldar piezas en molinos	X		Eliminar la ineficiencia de agua por desperdicios.
6	Reestructurar canales de circulación de aguas y arenas a cisternas de sedimentación.	X		Reducir la ineficiencia de agua por desperdicios de arenas y aguas.
7	Mejorar el sistema de bombeo de material sedimentado a tanques de cianuración.	X		Reducir la ineficiencia energética, y agua.
8	Reestructurar la chimenea de gases en fundición y refinación	X		Reducir la inhalación de gases por parte del personal.
9	Almacenamiento y/o reutilización o venta de material procesado para flotación	X		Aprovechamiento de los recursos para aumentar las ganancias.
10	Re-circulación de agua en el proceso de molienda.	X		Reciclaje para recirculación de agua del proceso de molienda
11	Reutilización de agua en los procesos de cianuración y desorción.	X		Construir o comprar tanques para el almacenamiento de aguas a ser reutilizados y reducir los costos de consumo de agua e insumos.
12	Instalación de cámara húmeda para el proceso de fundición		X	Reducir la emanación de gases producto de la fundición y refinación de metales.

Por otra parte, se realiza el respectivo análisis mediante ICP-MS (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente), por parte de la unidad de análisis de los Servicios de Apoyo a la Investigación de la Universidad de A Coruña, a cuatro muestras tomadas aleatoriamente del material procesado (relave) en la citada planta de beneficio. La tabla 4.12. describe los resultados de los citados análisis, resultando que el 89.8% de los metales se concentran en 4 elementos: silicio, aluminio, hierro y calcio. En el caso de la sílice (61.6%) es un material utilizado como materia prima para la elaboración de cerámica, vidrio u otras aplicaciones (Silva et al., 2017) (González M et al., 2015); estos autores indican que los fertilizantes que contienen silicio, una vez tratado para su asimilación, es una alternativa para mitigar el impacto de los factores que contribuyen a la desertificación, a la vez que contribuyen con la sostenibilidad de la agricultura intensiva en zonas áridas y semiáridas, así como también para cultivos hidropónicos.

**Tabla 4.12. Resultado análisis mediante ICP-MS del material residual en planta**

<b>Muestras</b>	<b>Muestra 1</b> <i>SAI 2018/08316</i>	<b>Muestra 2</b> <i>SAI 2018/08317</i>	<b>Muestra 3</b> <i>SAI 2018/08318</i>	<b>Muestra 4</b> <i>SAI 2018/08319</i>
<b>Compuesto</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	61,0	60,2	60,2	65,0
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	17,4	16,4	12,7	16,6
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8,5	6,9	9,9	8,8
<b>CaO</b>	3,3	6,5	3,5	2,1
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2,3	2,3	0,92	1,6
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,2	1,1	1,6	1,8
<b>MgO</b>	2,2	4,1	2,0	2,1
<b>SO<sub>3</sub></b>	1,7	1,3	7,0	0,51
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,75	0,66	0,57	0,91
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,15	0,086	0,096	0,15
<b>BaO</b>	0,12	0,037	0,066	0,057
<b>MnO</b>	0,12	0,094	0,16	0,11
<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,095	0,049	0,46	0,055
<b>ZnO</b>	0,070	0,074	0,33	0,032
<b>CuO</b>	0,046	0,048	0,15	0,032
<b>PbO</b>	0,040	0,024	0,23	0,012
<b>SrO</b>	0,024	0,014	0,010	0,019
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0,019	0,018	0,014	0,022
<b>Rb<sub>2</sub>O</b>	0,009	0,004	0,005	0,008
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,008	0,028	0,012	0,015
<b>NiO</b>	0,003	0,011	0,004	0,003



- El trióxido de aluminio (15.78%), si se combina con el silicio son aliados perfectos para la formación de arcillas y/o esmaltes; el trióxido de aluminio como tal, también es utilizado en la industria de formas diferentes, tales como: abrasivo en infinidad de procesos (Mac, 2019), en la producción de cerámica (Stábile, 2017), elaboración de celdas electrolíticas como aislante térmico (Cosme R, 2010), catalizador en procesos químicos, agente oxidante y antioxidante en diferentes procesos (Enguilo Gonzaga, 2016), elaboración de bujías de combustión (Barona Díaz & Flor García, 2008), procesos de molienda, en fuselajes de diferentes tipos de naves (Vargas-Leyva & Vargas-Leyva, 2014), elaboración de utensilios de cocina, fabricación de componentes eléctricos pasivos, resistencias y condensadores (Pinheiro-Vital et al., 2016), como recubrimientos de óxidos de titanio (Aristizabal et al., 2014), amalgamas y cerámicos dentales (Bravo et al., 2014), en ortopedia para la producción de prótesis y piezas (Romero et al., 2020), elaboración de azufre elemental (Gómes Ramos & Melo Banda, 2013), tratamiento de aguas residuales y acuíferos (Cervantes-Avilés et al., 2017)
- El trióxido de hierro (8.53%) es utilizado como materia prima indispensable para la obtención de hierro colado, hierro dulce y acero (Perdomo-González, 2015).
- En relación a los insumos y al agua
  - En el proceso de cianuración se aplica la reutilización del agua y, mediante análisis químico, se determina la concentración de cianuro en la misma, así como también de cal. Con este método se reduce, en la etapa de implementación de la herramienta, aproximadamente un 15% en consumo de agua e insumos en este proceso; así como también sobre la base del análisis de cola (% de concentración de metales) se toma la decisión si el relave es útil para reprocesarlo mediante flotación (concentrado de metales), venderlo para otros fines o traslado a la relavera comunitaria como arena residual.
  - En el proceso de desorción, de igual forma que en el proceso anterior, se reutiliza el agua y se determina la concentración del ácido nítrico que contiene. La aplicación de este método permite a la planta de beneficio optimizar en un 10% el consumo de insumos; además, en esta etapa del proceso se evalúa la calidad de carbón activo con

la finalidad de que cumpla su función, contención del oro y/o plata durante el proceso de cianuración.

Los resultados de la fase 3 se pueden resumir en los siguientes puntos:

En relación al balance de masa y energía, la planta de beneficio procesa al año un total de 14.000 Tn/año de material de mina (cuarzo), de los cuales el 66.7% es material útil para el proceso de beneficio (cianuración, desorción, fundición y refinación), mientras que el resto incluye lodos, arenillas y material ligero que se deposita en cisternas de recolección para ser almacenado como relave. Del material útil empleado en el proceso de cianuración, se extraen un promedio anual de 37.5 kg de oro y 40 kg de plata y según los resultados del análisis de cola, se dispondrá para la reutilización en el proceso de flotación, se comercializará como material concentrado de metales o será almacenado para ser transportado a la relavera comunitaria.

- El ecoequipo identifica el origen de las ineficiencias al realizar el balance de agua, encontrado en los procesos de molienda y cianuración, las cuales se originan por la limitada contención en los molinos, por fallos en su estructura, generando derrames y charcos que ponen en peligro al trabajador. En la cianuración las ineficiencias son producidas por el deficiente sistema de transporte de material sedimentado a los tanques de cianuración, generando desperdicios de agua y material útil, así como también demora en el transporte del material. Las mejoras aplicadas en los procesos de molienda y cianuración, sumado a la reutilización del agua en dichos procesos antes descritos, permitirá reducir en un 15% el consumo de agua e insumos.
- En relación al balance de energía, las ineficiencias detectadas son provocadas por el limitado mantenimiento preventivo y programado de las máquinas, motores y bombas que son utilizadas en el proceso de beneficio, disminuyendo su eficiencia productiva y energética. El mejoramiento de la potencia de las máquinas, motores y bombas, la inclusión de condensadores, acompañado de un adecuado mantenimiento preventivo, ayudará a reducir el consumo de energía en un 12% de forma gradual al iniciar la implementación de la herramienta hasta su culminación.
- Se plantean 12 alternativas concretas para la reducción y/o eliminación de las ineficiencias y están relacionadas con el método de trabajo, las máquinas y las

herramientas, la mano de obra, el medio ambiente y los materiales, de las cuales 10 son aprobadas, de modo que pasan a la siguiente fase.

- Además, se realiza análisis mediante ICP-MS del material residual (relave) a 4 muestras pudiendo identificar que el 89.8% se concentran en 4 elementos tales como: silicio, aluminio, hierro y calcio, los mismos que pueden ser utilizados para la elaboración de diferentes productos que tienen como base los elementos antes descritos; pudiendo convertirse el cantón Portovelo en el productor y proveedor nacional e internacional de los diversos productos sobre la base de los elementos descritos anteriormente.

#### 4.2.4. Fase 4. Estudios de factibilidad

Elección de las opciones más factibles a ser introducidas en el PmL; en esta fase se desarrollarán análisis de tipo económico, ambiental y técnico.

**Tabla 4.13. Evaluación preliminar de la planta de beneficio “El Puma”**

N°	ACCIÓN A SER ADOPTADA	TIPO DE EVALUACIÓN		
		Técnica	Económica	Ambiental
1	Elaborar tolva para incorporar a las máquinas trituradoras	X	X	X
2	Mantenimiento y mejora de motores	X	X	X
3	Recubrir y soldar partes en molinos	X	X	X
4	Reestructurar canales de circulación de aguas y arenas a cisternas de sedimentación.	X	X	X
5	Mejorar el sistema de bombeo de material sedimentado a tanques de cianuración.	X	X	X
6	Reestructurar la chimenea de gases en fundición	X	X	X
7	Almacenamiento para reutilización o venta de material procesado para flotación	X	X	X
8	Recirculación de agua en el proceso de molienda.	X	X	X
9	Reutilización de agua en los procesos de cianuración y desorción.	X	X	X
10	Separar las rocas (cuarzo) para procesarlas al término del lote de material a procesar	X	X	X

#### 4.2.4.1. Actividad 12. Evaluación preliminar

En conjunto con el ecoequipo se realiza la respectiva preevaluación de las alternativas cuyo objetivo es determinar el tipo de evaluación (ambiental, técnica y económica) a aplicar a cada una de ellas.

Todas las alternativas descritas en la tabla 4.13. requieren de evaluación técnica, económica y ambiental; la evaluación técnica es necesaria ya que se plantean mejoras en las máquinas, infraestructura y métodos de trabajo en los procesos actuales; la evaluación económica es de suma importancia, determina la viabilidad económica de las alternativas planteadas y su ejecución en los tiempos previstos. Por su parte, la evaluación ambiental permite analizar las repercusiones, positivas o negativas que implica la puesta en marcha del PmL, así como las alternativas de mejora en beneficio para la empresa, ya que cada año es sometida a inspecciones para la renovación de la licencia ambiental.

#### 4.2.4.2. Actividad 13. Evaluación técnica

Las alternativas, consideradas viables, se evalúan desde el punto de vista técnico. La tabla 4.14 muestra los aspectos técnicos a evaluar en la alternativa 1.

**Tabla 4.14. Evaluación técnica de la tolva a ser incorporada a las máquinas trituradoras**

Disponibilidad de recursos	OK
Acceso a tecnología	OK
Disponibilidad de material	OK
Disponibilidad de personal	OK
Mejora los procesos	OK
Aumenta la productividad	OK
Reduce el riesgo de accidente laboral	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

- Alternativa 1. Tolva para incorporar a la máquina trituradoras  
Acción. Elaboración de tolvas para ser incorporadas en cada máquina trituradora de piedras (cuarzo) que se encuentran ubicadas en cada molino.  
 Esta acción reduce los riesgos de accidente laboral del personal que labora en los molinos.
- Alternativa 2. Mantenimiento y mejora de motores y bombas  
Acción. Verificar el funcionamiento de la máquina trituradora y/o buscar opciones de mejora de la máquina; en caso contrario se tomará la decisión de comprar nuevas máquinas con mayor capacidad o potencia, la finalidad es reducir la ineficiencia de energía, el ruido y el doble trabajo del personal. Esta alternativa comprende las máquinas trituradoras de los 5 molinos, la incorporación de condensadores ayudará a mejorar la potencia, reducir el consumo de energía durante su funcionamiento; su mantenimiento preventivo deberá realizarse cada 6 meses. La tabla 4.15 detalla los aspectos técnicos a evaluar de la alternativa 2.

**Tabla 4.15. Evaluación técnica del mantenimiento y mejora de motores y bombas**

Chequeo de buen funcionamiento	OK
Reparación y mejora	OK
Incorporación de condensadores	OK
Cambio de motor	No
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

- Alternativa 3. Recubrir y soldar partes en los molinos  
Acción. En el proceso de molienda, los molinos en la parte inferior no se encuentran cerrados totalmente, mediante aspersion el agua golpea en las paredes del molino generando desperdicios de agua fuera de las máquinas por las aberturas. La tabla 4.16 presenta los aspectos técnicos a evaluar de la alternativa 3.

**Tabla 4.16. Evaluación técnica de recubrir y soldar partes en los molinos**

Acceso a tecnologías	OK
Acceso a mantenimiento / asesoría	OK
Eliminación de la ineficiencia de agua.	OK
Reducción de costos por ineficiencias	OK
Mejora de los procesos	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

Los molinos de que dispone la planta fueron construidos con rodamientos de hierro sólido colocados en forma de aspas y una plancha de acero de 2 cm de espesor pegado al piso; los rodamientos de hierro giran 360 grados por encima de la placa de acero provocando la molienda del material de mina (cuarzo); el mismo debe ser inspeccionado con la finalidad de comprobar el nivel de desgaste de la placa de acero y los rodamientos, desgaste debido al proceso de molienda. De igual forma, se debe inspeccionar la existencia de grietas y/o fisuras en las placas de acero, fisuras generadas por la fricción entre el rodamiento, la placa y el material de la mina. Mediante la inspección se busca evitar ineficiencias de agua, material procesado y parada del molino, debido a que las fisuras se pueden generar en la placa de acero. El molino tiene una puerta de ingreso y salida para la realización de los mantenimientos preventivos y/o correctivos; igualmente, posee un compartimiento de salida de material procesado hacia los canales que transportan el material a los tanques de sedimentación.

- Alternativa 4. Reestructurar canales de circulación de aguas y arenas a cisternas de sedimentación.

Acción. Reestructuración de los canales de circulación de aguas, lo que mejorará los caudales de circulación de aguas y arenas a los respectivos tanques de sedimentación. La tabla 4.17 lista los aspectos técnicos a evaluar en la alternativa 4.

**Tabla 4.17. Evaluación técnica de la reestructuración de los canales de circulación de aguas y arenas a las cisternas de sedimentación**

Acceso a tecnologías	OK
Disponibilidad de recursos	OK
Asesoría técnica para aplicación de la mejora	OK
Mejora del proceso	OK
Eliminación de la ineficiencia	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

Al eliminar la ineficiencia en los molinos se produce un aumento en el caudal de agua de salida a los canales de circulación de aguas y arenas a los tanques de sedimentación.

➤ Alternativa 5. Mejorar el sistema de bombeo de material sedimentado a los tanques de cianuración.

Acción. Se plantea debido a que las mangueras de circulación o transporte del material sedimentado a los tanques de cianuración se encuentran en mal estado y cuya capacidad de bombeo era mayor que la capacidad de circulación, ocasionando el desprendimiento de la manguera y su acometida. La razón principal de la acción es corregir la ineficiencia relativa al agua durante el transporte del material a tanques de cianuración, y que, al mismo tiempo, afectaba a los insumos almacenados, generando notables pérdidas. La tabla 4.18 muestra los aspectos técnicos a evaluar de la alternativa 5.

**Tabla 4.18. Evaluación técnica del mejoramiento del sistema de bombeo de material sedimentado a los tanques de cianuración.**

Acceso a tecnologías	OK
Acceso a mantenimiento / asesoría	OK
Compra de mangueras PVC y abrazaderas de acero inoxidable	OK
Eliminación de la ineficiencia de agua.	OK
Reducción de costos por ineficiencias	OK
Mejora de los procesos	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

Esta alternativa permite mejorar la productividad de este proceso; ya que, en el momento del transporte del material útil, debido a la potencia de la bomba neumática se desconectaban las uniones generando pérdidas de material útil, agua y tiempo de trabajo.

➤ Alternativa 6. Reestructurar la chimenea de gases en fundición

Acción. La chimenea de gases solo cumple su función esencial, que es la de evacuar los gases durante el proceso de fundición; esta acción se propone con la finalidad de rediseñar la chimenea e incluir filtros de algodón para la filtración de los gases. La tabla 4.19 especifica los aspectos técnicos a evaluar en la alternativa 6.

**Tabla 4.19. Evaluación técnica de la reestructuración de la chimenea de gases en el proceso de fundición y refinación**

Acceso a tecnologías	OK
Acceso a mantenimiento / asesoría	OK
Disponibilidad de recursos	OK
Disponibilidad de personal para realizar la actividad	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

Acción aplicada para reducir los gases que afectan al personal durante el proceso de fundición y refinación, así como también la filtración de las emisiones de gases que se producen durante dicho proceso, lo que reduce su impacto ambiental.

➤ Alternativa 7. Almacenamiento y/o reutilización o venta de material procesado para flotación.

Acción. Se proyecta en un corto plazo aumentar una línea productiva de beneficio como es el proceso de flotación; los remanentes de material procesado aún contienen oro y plata, ello siempre y cuando la concentración que contenga el material sea representativa, en caso contrario, tal como ya se ha indicado, los relaves son trasladados a la relavera comunitaria. La tabla 4.20 detalla los aspectos técnicos a evaluar de la alternativa 7.



**Tabla 4.20. Evaluación técnica del almacenamiento y/o reutilización o venta de material procesado para flotación.**

Acceso a tecnologías	OK
Dotación de recursos	OK
Asesoría técnica	OK
Mejora de la productividad empresarial	OK
Reducción de costos por transporte	OK
Mejora de los procesos	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

➤ Alternativa 8. Recirculación de agua en el proceso de molienda.

Acción. Es importante reciclar en los procesos productivos, es la forma más eficiente cuando se trata de optimizar recursos; es el caso de las plantas de beneficio del sector minero, el agua utilizada al inicio del proceso productivo como molienda es empleada para facilitar el chancado o triturado de las rocas, convirtiéndolas en arenas para ser transportadas, mediante caudal de agua, a las piscinas de sedimentación. Durante su transporte se separa el material útil de los lodos y del material residual; todas estas aguas se depositan en tanques y, cuando se llenan, se vierten al río, lo que genera tanto contaminación como coste. Ante tal situación, y evaluando las alternativas, se propone la compra o construcción de un tanque metálico con recubrimiento de membrana para su recirculación ya que la planta de beneficio labora las 24 horas del día. La tabla 4.21 permite observar los aspectos técnicos a evaluar de la alternativa 8.

**Tabla 4.21. Evaluación técnica de la recirculación de agua en el proceso de molienda**

Acceso a tecnologías	Ok
Acceso a mantenimiento / asesoría	OK
Construcción de tanques y/o estanque para almacenamiento de aguas	OK
Reducción de costos por consumo de agua.	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

- Alternativa 9. Reutilización de aguas en los procesos de cianuración y desorción.

Acción. Separar las aguas utilizadas de cada proceso y analizarlas para determinar el grado de concentración de metales e insumos que contengan, y poder proceder a su aprovechamiento. La tabla 4.22 muestra los aspectos técnicos a evaluar de la alternativa 9.

**Tabla 4.22. Evaluación técnica de la reutilización de aguas en los procesos de cianuración y desorción.**

Acceso a tecnologías	Ok
Acceso a mantenimiento / asesoría	OK
Construcción de tanques y estanque para almacenamiento de aguas	OK
Reducción de costos por consumo de agua.	OK
Reducción de costos por consumo de insumos	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

Las aguas residuales generadas por los procesos de beneficio, sea en cianuración o en desorción, generan repercusiones económicas a la planta, ya que los insumos utilizados en el proceso de beneficio se diluyen conjuntamente en el agua; por tal motivo se requiere de asesoramiento técnico para determinar el grado de concentración de cada elemento (insumo) que se encuentra en las aguas residuales y sobre su potencial reutilización.

- Alternativa 10. Separar las rocas (cuarzo) para procesarlas al término del lote de material a procesar.

El propósito de esta alternativa es mejorar la productividad del proceso de molienda, mejorar el tiempo hombre-máquina a la vez que reducir el consumo de energía debido al tiempo de funcionamiento de las máquinas trituradoras. La tabla 4.23 detalla los aspectos técnicos a evaluar de la alternativa 10.

**Tabla 4.23. Evaluación técnica de la separación de las rocas (cuarzo) para procesarlas al término del lote de material a procesar**

Aumento de productividad	OK
Mejoramiento de tiempo hombre-máquina	OK
Reducción de tiempo improductivo de las máquinas trituradoras	OK
Mejoramiento del método de trabajo	OK
Reducción de enfermedad ocupacional	OK
Reducción de accidentabilidad	OK
<b>ESTADO</b>	<b>APROBADO</b>

#### 4.2.4.3. Actividad 14. Evaluación ambiental

La parte ambiental del programa de “PmL” implica el cumplimiento de normativas ambientales sobre la base de la “Ley de Prevención y Contaminación Ambiental”, la “Ley de Gestión Ambiental”, “La Ley de Aguas” y el “TULSMA”, considerando artículos de cada ley (véase Anexo 1), es ello lo que conduce al siguiente análisis de las alternativas anteriores:

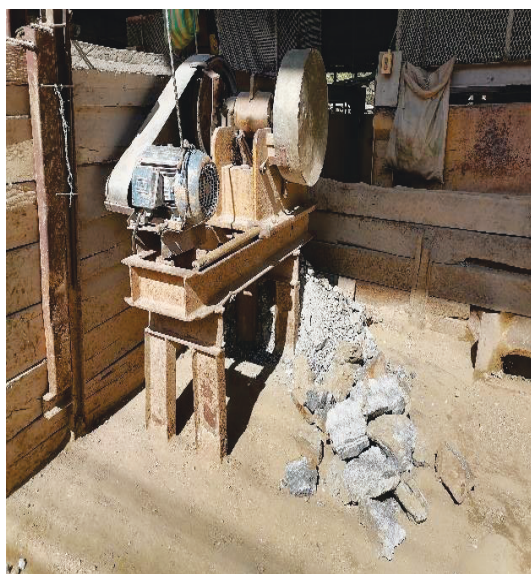
- La alternativa 2 (tabla 4.13.) está dirigida a mejorar la productividad de los procesos mediante el mantenimiento de los motores y la mejora con la adaptación de condensadores que optimizan su funcionamiento y potencia, como también a reducir la ineficiencia energética durante la puesta en marcha de las máquinas y también durante su uso.
- Las alternativas 3, 4 y 5 se proponen eliminar las ineficiencias relativas al consumo de agua, ya que dichos procesos generan desperdicio de agua y material útil, tanto en la molienda como en el transporte de material al proceso de cianuración.
- La alternativa 6 está encaminada a reducir la emisión de gases al aire mediante filtros especiales, cuya finalidad es contener el material particulado que acompaña a los gases producto de la fundición y la refinación de los metales y, de esa manera, reducir la contaminación ambiental.
- La alternativa 7, el almacenamiento y reutilización del relave, se produce por la inminente puesta en marcha del proceso de flotación; ya que, del mismo material residual se puede obtener concentrado de metales diferentes al oro y plata, y cuyo destino

comercial es China; además, la relación es 50/50, 50% de material concentrado (útil) y 50% desecho, a lo que hay que sumar el desecho inicial (33.3%) generado en los molinos, ya que aun siendo desechos contienen metales. Desde el punto de vista ambiental, el proceso de flotación es menos contaminante que el de cianuración, sus relaves pueden comercializarse como materia prima, por su alto porcentaje de sílice (tabla 4.12.), para la elaboración de cerámicas o porcelanas vitrificantes. Se trata, pues, de convertir residuos en recursos.

- Las alternativas 8 y 9 se enfocan en el *aprovechamiento del agua residual* generada en los procesos de molienda, cianuración y desorción. Con la recirculación del agua en la molienda se reduce el consumo en un 90%. En el caso de la cianuración la reutilización del agua depende de la cantidad total de sólidos disueltos (TDS); para su reutilización  $TDS \leq 200$  implica que dicha agua es reutilizable, mientras que un  $TDS > 200$  significa que su reutilización representa mayor consumo de insumos, lo que elevaría el costo del proceso de beneficio. En la desorción se optimiza el consumo de agua en un 50%, ya que en este proceso se recuperan el oro y plata contenidos en el carbón activo y no hay mezclas adicionales de productos químicos.
- La alternativa 10, se enfoca a mejorar la productividad laboral del operario y la eficiencia del proceso de molienda, así como también el mejorar la eficiencia energética en el uso de las máquinas; con la inclusión de la tolva se reduce el riesgo de accidentes, pero debido al tipo de proceso, el operario tiene la obligación de usar equipo de protección personal (orejeras y tapones) que ayuden a atenuar el ruido generado por la trituración de las rocas, ya que supera los parámetros permisibles para el ser humano; además, mejorado el funcionamiento de las máquinas y motores se optimiza el uso de energía logrando mayor eficiencia energética, menos consumo, menos costes por mantenimiento, lo que finalmente se traduce en una mejora de la productividad.

**Tabla 4.24. Costos (\$) de la elaboración de la tolva para incorporar a las máquinas trituradoras**

<b>COSTOS FIJOS</b>		
<b>CONCEPTO</b>		<b>Total</b>
Materiales	Materiales	118,75
	Insumos	76,80
Mano de obra	Horas laborales	100,00
Total costos fijos		295,55
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Energía eléctrica		10,00
Otros (perforación y doblado)		120,00
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>425,55</b>



**Figura 4.6. Máquina antes de la mejora**



**Figura 4.7. Máquina trituradora mejorada**

#### **4.2.4.4. Actividad 15. Evaluación económica.**

Todas las alternativas anteriormente indicadas requieren de recursos económicos para su incorporación y ejecución en el marco del programa de “PmL”.

- Alternativa 1. Elaborar tolva para incorporar a las máquinas trituradoras

La inversión total para incorporar una tolva para las máquinas trituradoras es de \$ 425.55 dólares, rubro que constituye materiales y mano de obra.

Como se recoge en la tabla 4.24, los costos no son especialmente onerosos, la mano de obra empleada para la fabricación de las 5 tolvas es personal de mantenimiento de la empresa.

Las 5 máquinas trituradoras, también denominadas chancadoras, fueron enviadas a mantenimiento y mejorada su eficiencia mediante la inclusión de condensadores que mejorarán el rendimiento y eficiencia de la máquina y, por tanto, del proceso.

La situación inicial de las máquinas se muestra en la fig. 4.6, mientras que la fig. 4.7. muestra la situación una vez incorporada la tolva. Las 5 máquinas trituradoras fueron enviadas a mantenimiento y mejorada su eficiencia mediante la inclusión de condensadores que optimizan el rendimiento y eficiencia de la máquina y, por tanto, del proceso.

➤ Alternativa 2. Mantenimiento y mejora de motores y bombas

La inversión total del mantenimiento de los motores, bombas y la adaptación de condensadores para mejorar la potencia y su eficiencia energética es \$ 25.000.



**Figura 4.8. Molino antes de la mejora**



**Figura 4.9. Molino mejorado**

La figura 4.8 muestra el compartimento de salida de material procesado de molienda a los canales transportadores de material antes de la mejora; por su parte, la figura 4.9 ilustra las mejoras al molino, la pieza soldada (reconstruida) el compartimento de salida de material procesado a los canales.

➤ Alternativa 3. Recubrir y soldar partes en los molinos

En la tabla 4.25 se muestran los costos de esta alternativa, lo que permitirá obtener un mejor aprovechamiento de los recursos agua, energía y mano de obra.

**Tabla 4.25. Costos de recubrir y soldar partes en los molinos**

<b>COSTOS FIJOS</b>		
<b>CONCEPTO</b>		<b>Total</b>
Materiales	Materiales	99,25
	Insumos	63,15
Mano de obra	Horas laborales	100,00
Total costos fijos		262,40
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Energía Eléctrica		10,00
Otros (doblado)		40,00
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>312,40</b>

**Tabla 4.26. Costos de la reestructuración de los canales de circulación de aguas y arenas a las cisternas de sedimentación**

<b>COSTOS FIJOS</b>		
<b>CONCEPTO</b>		<b>Total</b>
Materiales	Materiales	2500,00
	Insumos	1000,00
Mano de obra	Horas laborales	700,00
Total costos fijos		4200,00
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Energía eléctrica		
Otros		500,00
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>4700,00</b>

- Alternativa 4. Reestructurar los canales de circulación de aguas y arenas a las cisternas de sedimentación

Los costos se recogen en la tabla 4.26; esta alternativa implica el reacondicionamiento de los canales de circulación de aguas, así como también de transporte de material a los tanques de sedimentación.



La figura 4.10 muestra las ineficiencias relacionadas al agua, así como también de material procesado; la figura 4.11 pone de manifiesto la correspondiente mejora; por su parte, la figura 4.12 ilustra las condiciones del almacenamiento del material residual antes de la mejora, así como también el sistema de bombeo.



**Figura 4.10** Canales antes de la mejora.

**Figura 4.11.** Canales mejorados



**Figura 4.12.** Transporte de material útil a cianuración antes de la mejora

- Alternativa 5. Mejorar el sistema de bombeo de material sedimentado a tanques de cianuración.

La tabla 4.27 representa los costos de esta alternativa enfocada a la construcción de tanques de hormigón armado para la sedimentación del material procesado en la molienda.



La figura 4.13 muestra las mejoras realizadas: la construcción de tanques para sedimentación y el sistema de bombeo neumático hacia los tanques de cianuración.

**Tabla 4.27. Costos (\$) del mejoramiento del sistema de bombeo de material sedimentado a los tanques de cianuración.**

COSTOS FIJOS		
CONCEPTO		Total
Materiales	Tubería	750,00
	Material para construcción	2000,00
	Insumos	150,00
Mano de obra	Horas laborables	100,00
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>		<b>3000,00</b>
COSTOS VARIABLES		
Energía eléctrica		5,00
Otros		
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>3005,00</b>



**Figura 4.13. Transporte de material útil aplicada la mejora**

Con el apropiado mantenimiento de las bombas, y la adecuación del sistema de tuberías, mejora sustancialmente el tiempo en el llenado del tanque de cianuración, optimizando el tiempo en un 25%, lo que significa un ahorro del 25% en consumo de energía.

**Tabla 4.28. Costos (\$) de la reestructuración de la chimenea de gases, etapa de fundición**

<b>COSTOS FIJOS</b>		
<b>CONCEPTO</b>		<b>Total</b>
Materiales	Materiales	85,00
	Insumos	25,00
Mano de obra	Horas laborales	100,00
Total costos fijos		210,00
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Energía eléctrica		
Otros		30,00
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>240,00</b>

Con el apropiado mantenimiento de las bombas, y la adecuación del sistema de tuberías, mejora sustancialmente el tiempo en el llenado del tanque de cianuración, optimizando el tiempo en un 25%, lo que significa un ahorro del 25% en consumo de energía.

➤ **Alternativa 6. Reestructurar la chimenea de gases, etapa de fundición**

La tabla 4.28 recoge los costos relativos al redimensionamiento de la chimenea de gases, y la colocación de lana para minimizar la emisión de material particulado; esta alternativa, factible pero no prioritaria, realiza al final de la ejecución del PmL.

➤ **Alternativa 7. Almacenamiento, reutilización o venta de material procesado para flotación**

La tabla 4.29 detalla los costos para la ejecución de esta alternativa, la cual consiste en construir una piscina (relavera) y colocar una geomembrana que actúe como aislante y evite la filtración de agua.

**Tabla 4.29. Costos (\$) del almacenamiento, reutilización o venta de material procesado para flotación**

<b>COSTOS FIJOS</b>		
<b>CONCEPTO</b>		<b>Total</b>
Materiales	Materiales	5000,00
	Insumos	1500,00
Mano de obra	Horas laborales	1000,00
Total costos fijos		7500,00
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Energía eléctrica		
Otros (perforación y doblado)		1000,00
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>8500,00</b>



**Figura 4.14. Transporte de material útil aplicada la mejora**

La figura 4.14 representa la piscina o dique de hormigón armado con recubrimiento de geomembrana para el depósito de los relaves del proceso de cianuración, mientras que la figura 4.15 muestra el sistema de bombeo de agua acondicionado para su reutilización.

➤ **Alternativa 7. Almacenamiento, reutilización o venta de material procesado para flotación**

La tabla 4.29 detalla los costos para la ejecución de esta alternativa, la cual consiste en construir una piscina (relavera) y colocar una geomembrana que actúe como aislante y evite la filtración de agua.

➤ Alternativa 8. Recirculación de agua en el proceso de molienda

La tabla 4.30 representa los costos de la aplicación de esta alternativa, se trata de adquirir y reacondicionar un tanque de acero inoxidable de 5 m<sup>3</sup> de capacidad y ubicarlo estratégicamente en la parte alta cerca de los molinos, el cual es llenado mediante bombeo de la cisterna de sedimentación de arenas, luego, mediante gravedad, alimenta los aspersores que poseen los molinos.

La figura 4.15 representa el sistema de bombeo para la recirculación de aguas sedimentadas al tanque reservorio para el proceso de molienda.

**Tabla 4.30. Costos (\$) de la recirculación de agua en el proceso de molienda**

COSTOS FIJOS		
CONCEPTO		Total
Materiales	Materiales	12865,44
	Insumos	1000,00
Mano de obra	Horas laborales	200,00
Total costos fijos		14065,44
COSTOS VARIABLES		
Energía eléctrica		10,00
Otros (perforación y doblado)		
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>14075,44</b>



**Figura 4.15. Recirculación de agua para el proceso de los molinos**

➤ Alternativa 9. Reutilización de aguas en los procesos de cianuración y desorción

Terminado el proceso de cianuración el material es transportado y depositado en estanques para relaves sin realizar ningún proceso; en algunos casos dejan reposar el material cianurado permitiendo que se evapore el agua que contenga. En otros casos se descargan, de noche, las aguas al río Calera, generando daños colaterales al ecosistema. La finalidad de esta alternativa es aprovechar al máximo el recurso agua y los insumos que contiene, lo que permitirá disminuir el costo por consumo tanto de agua como de insumos.

La optimización de los recursos con los que cuenta la planta de beneficio es una de las decisiones que permite hacer realidad esta alternativa en cuanto a costo - beneficio se refiere. La tabla 4.31 detalla los costos para la ejecución de esta alternativa.

**Tabla 4.31. Costos (\$) de la reutilización de aguas en los procesos de cianuración y desorción**

<b>COSTOS FIJOS</b>		
<b>CONCEPTO</b>		<b>Total</b>
Materiales	Geomembrana	1360,00
	Insumos	500,00
Mano de obra	Horas laborales	200,00
Total costos fijos		2060,00
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Energía eléctrica		
Otros (perforación y doblado)		
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>2060,00</b>

El recubrimiento con geomembrana de alta densidad, de 1.5 mm de espesor, en cada relave (fig. 4.16.) permite aislar el suelo de productos químicos y metales existentes en los lixiviados, resultado del proceso de cianuración y desorción.

Las arenas sedimentan, quedando en la superficie agua, la misma que es utilizada mediante bombeo para transportar, a la cianuración, el material útil resultado del proceso de molienda.



De igual manera, se reacondicionó un tanque metálico (fig. 4.17.), recubriéndolo internamente con geomembrana de alta densidad para evitar la corrosión del metal por el contacto directo con los productos químicos utilizados en el proceso de desorción.



**Figura 4.16. Depósito de material cianurado en relave con recubrimiento de geomembrana en el interior**



**Figura 4.17. Tanque de absorción con geomembrana**



**Figura. 4.18. Material para proceso de beneficio antes de aplicar la mejora.**

Las figs. 4.18. y 4.19. están relacionadas con el cambio del método de trabajo realizado por el operador, cuya alternativa no representa gravamen, representa una mejora en la productividad y disminuye el riesgo de accidente laboral.



**Figura. 4.19. Material separado para trituración aplicando la mejora.**

- Alternativa 10. Separar las rocas (cuarzo) para procesarlas al término del lote de material a procesar.

Antes de aplicar esta mejora en el proceso productivo en el área de molienda, el operador realizaba varias paradas en su labor para proceder a triturar las rocas (cuarzo) en máquinas trituradoras, generando ruido y el riesgo al operario, así como también disminución en la productividad del proceso.

**Depreciaciones.** Las mejoras a implementarse, y que están establecidas en el “PmL”, se condensan en dos rubros: edificio y maquinaria y equipos.

La tabla 4.32. de depreciaciones demuestra los dos rubros principales en las que se condensan los valores de las actividades a implementar dentro del programa “PmL”; el tiempo de depreciación contable del ítem edificio es de 20 años y de maquinaria y equipos 10 años; finalmente la empresa dispone que los valores de ambos rubros se deprecien en 10 años.

**Financiamiento.** El financiamiento para la ejecución de las actividades descritas en el programa PmL, provendrá de los fondos de la propia empresa.

**Ingresos.** Los ingresos de la Planta de beneficio “El Puma” están basados en el procesamiento de beneficio de material de mina (cuarzo) para la extracción de metales específicamente oro y plata para su comercialización.

**Tabla 4.32. Depreciación de las mejoras implementadas**

PERIODO (años)	Edificio	Maquinaria y equipos	Total
1	2731,54	3055,23	5786,77
2	2731,54	3055,23	5786,77
3	2731,54	3055,23	5786,77
4	2731,54	3055,23	5786,77
5	2731,54	3055,23	5786,77
6	2731,54	3055,23	5786,77
7	2731,54	3055,23	5786,77
8	2731,54	3055,23	5786,77
9	2731,54	3055,23	5786,77
10	2731,54	3055,23	5786,77
<b>TOTAL</b>	<b>27315,44</b>	<b>30552,25</b>	<b>57867,69</b>

**Tabla 4.33. Ingresos anuales por refinación de oro y plata (años 2020 y 2021)**

AÑO 2020			
Metal	Refinación año / g	Precio (\$) / g	Ingreso (\$) / año
Oro	34.275,0	54,15	1.855.991,30
Plata	35.787,5	0,520	18.609,50
Total			1.874.600,80
AÑO 2021			
Oro	37.500	58,00	2.175.000,00
Plata	40.000	0,784	31.360,00
Total			2.206.360,00

La tabla 4.33 representa los ingresos anuales de los periodos fiscales 2020, fecha de inicio de la implementación de la herramienta PmL, y 2021, año de su finalización, la cual muestra un incremento en la extracción de oro del 9% y plata del 11% en la planta de beneficio El



Puma durante el periodo de implementación, esto debido a las mejoras, resultado de PmL, en el proceso de beneficio.

**Tabla 4.34. Estado de resultado de la planta de beneficio “El Puma”**

CONCEPTO	AÑO						
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Ingresos anuales	1593410,60	1875406,00	1875406,00	1875406,00	1875406,00	1875406,00	1875406,00
Ingresos adicionales	0	0	49149,00	49149,00	49149,00	49149,00	49149,00
Total ingresos	1593410,60	1875406,00	1924555,00	1924555,00	1924555,00	1924555,00	1924555,00
(-) gastos variables	393061,93	348645,93	296349,04	237079,23	189663,39	151730,71	121384,57
Margen operativo	1200348,70	1526760,07	1628205,96	1687475,77	1734891,61	1772824,29	1803170,43
(-) gastos fijos	200700,00	195045,00	189902,25	185221,79	180959,01	177074,01	173531,05
(-) depreciación	0	5786,77	5786,77	5786,77	5786,77	5786,77	5786,77
Ingresos operativos	999648,71	1325928,30	1432516,90	1496467,20	1548145,80	1589963,50	1623852,61

El estado de resultados de la tabla 4.34 permite identificar los ingresos operativos anuales de la planta de beneficio “El Puma”; se presenta una proyección a 5 años, tomando en cuenta que los dos primeros años son de la situación actual; esto es, el proceso de implementación del programa “PmL”, aquí no se considera el nuevo proceso productivo “Flotación” que tiene proyectado la planta de beneficio con posterioridad a 2022.

**Análisis de rentabilidad.** Para realizar el análisis de rentabilidad, se considerará el valor del dinero (ingresos netos) en el tiempo, utilizando como indicadores el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno sobre la Inversión (ROI) estimada en meses; se debe indicar que para el cálculo del VAN, se estimó una Tasa Mínima de Rendimiento (TMAR) del 32,45%, utilizando una inflación promedio del 4% (i) y un premio al riesgo de invertir en el Ecuador de 569 puntos (r), ambos datos fueron extraídos de la base de datos del Banco Central del Ecuador (2021)

Los resultados obtenidos conjuntamente con el beneficio económico estimado para cinco años se reflejan en la tabla 4.35.

**Tabla 4.35. Análisis de rentabilidad – “PmL”**

DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN	VAN	TIR	ROI	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	ESTADO
PROGRAMA “PmL”	57.867,69	197.008,03	103%	0,0248	11 meses y 21 días	Aprobado

**Tabla 4.36. Selección de alternativas**

Aspectos	Beneficio			Costo de implantación	De fácil empleo	Facilidad de implementación	Total (%)	Prioridad		
	Técnico	Ambiental	Económico							
Ponderación (%)		<b>15</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>100</b>		
<b>ALTERNATIVAS</b>	1	Absoluto*	100	100	70	100	100	95	<b>89</b>	<b>5</b>
		Ponderado	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>24,5</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>9,5</b>		
	2	Absoluto	100	80	80	90	100	95	<b>89,5</b>	<b>4</b>
		Ponderado	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>28</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>9,5</b>		
	3	Absoluto	100	100	100	100	100	90	<b>99</b>	<b>2</b>
		Ponderado	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>9</b>		
	4	Absoluto	100	100	100	100	100	100	<b>100</b>	<b>1</b>
		Ponderado	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>		
	5	Absoluto	100	100	100	100	95	90	<b>98,25</b>	<b>3</b>
		Ponderado	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>20</b>	<b>14,25</b>	<b>9</b>		
	6	Absoluto	100	100	70	100	100	90	<b>88,5</b>	<b>6</b>
		Ponderado	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>24,5</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>9</b>		
	7	Absoluto	70	100	80	70	70	70	<b>79,5</b>	<b>8</b>
		Ponderado	<b>10,5</b>	<b>5</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>10,5</b>	<b>7</b>		
	8	Absoluto	80	100	100	70	80	80	<b>86</b>	<b>7</b>
		Ponderado	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>8</b>		

\* En la escala de 0 a 100

Los resultados obtenidos en la tabla 4.36. son consistentes con la viabilidad de la implementación del programa “PmL”; obteniendo resultados positivos en relación a todos los indicadores; la inversión permitirá a la planta de beneficio ser más productiva y eficiente en lo económico, financiero y ambiental.

#### **4.2.4.5. Actividad 16. Selección de alternativas de “PmL”**

La factibilidad de las alternativas a ser implementadas es acorde con el grado de priorización o relevancia, según evaluación realizada por el ecoequipo; mediante ponderación se seleccionarán las alternativas considerando:

- Beneficio técnico
- Beneficio ambiental
- Beneficio económico
- Costo de implementación
- De fácil de empleo
- Facilidad de implementación

La tabla 4.36 describe las ponderaciones establecidas por el ecoequipo tomando como punto de partida lo descrito en la tabla 4.5., esto es, enfoque del diagnóstico de la planta de beneficio, donde el gerente establece como relevante lo económico; otorgándole un 35% de relevancia, a lo técnico un 15% de importancia y a lo ambiental un 5%.

Se establece como segundo criterio el costo de implementación de la alternativa, otorgándole un 20% de relevancia; el tercer criterio es si la alternativa es de fácil empleo, otorgándole un 15% de relevancia, y el último criterio es la facilidad de la implementación de la alternativa, asignándole un factor del 10%; el sumatorio de los valores absolutos de cada criterio permitirá identificar la prioridad de cada actividad.

A modo de resumen se describen los principales resultados correspondientes a esta fase. En los estudios de factibilidad, la evaluación preliminar considera tres aspectos a valorar: lo técnico, lo ambiental y lo económico.

➤ Evaluación técnica: las alternativas propuestas por el ecoequipo son factibles, ya que se cuenta con el personal idóneo tanto en planta como también profesionales que realizan prestación de servicios en áreas específicas; además la empresa debe cumplir el programa

de mantenimiento preventivo y programado (ver anexo 4) con la finalidad de mantener operativas las máquinas y motores, así como también su eficiencia energética,

- Evaluación ambiental: todas las alternativas son factibles desde el punto de vista ambiental, ya que han quedado en evidencia los despilfarros de recursos: energía, agua, mano de obra, ralentización de procesos, reprocesos e improductividad.
- Evaluación económica: establecidas las alternativas se determina la inversión a realizar, así como también el análisis de costo/beneficio para la implementación de las alternativas, resultando lo siguiente:
  - La tabla 4.32 describe la depreciación de la inversión que implica la implementación de la herramienta PmL. Desde el punto de vista contable, los conceptos edificio, maquinarias y equipos tienen un tiempo de depreciación de 10 años, rubros que anualmente, para la empresa, es asequible su recuperación, incluso la empresa bajo previa disposición de la gerencia podría tomar la decisión de reducir el tiempo de depreciación.
  - La tabla 4.34 presenta los resultados del programa PmL en la planta de beneficio El Puma, donde se detalla la diferencia de ingresos de un periodo a otro. En el periodo 2020 describe un ingreso operativo de \$999.649, mientras que en el periodo 2021 con la implementación de la herramienta PmL, resulta un incremento del 32.64% (\$1.325.928,299), y así sucesivamente un incremento mayor al 10% anual.
  - El análisis de la rentabilidad del programa PmL, descrita en la tabla 4.35 muestra que la recuperación de la inversión a realizar para implementar las alternativas PmL es menor que un año (11 meses y 21 días); todo lo obtenido como ganancia a partir del segundo año es utilidad, siempre y cuando la planta de beneficio ejecute las respectivas acciones de mejora y el ecoequipo cumpla con la respectiva planificación para el sostenimiento de la herramienta PmL.

#### **4.2.5. Fase 5. Implantación**

En esta fase se ejecutan las alternativas propuestas aceptadas por la empresa como de viable implementación.

**Tabla 4.37. Plan de “PmL” – planta de beneficio “El Puma”**

ITEM	ALTERNATIVAS	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Reestructurar canales de circulación de aguas y arenas a cisternas de sedimentación																								
2	Recubrir y soldar partes en molinos																								
3	Mejorar el sistema de bombeo de material sedimentado a tanques de cianuración																								
4	Mantenimiento y mejora de motores																								
5	Elaborar tolva para incorporar a máquinas trituradoras																								
6	Recirculación de aguas en el proceso de molienda																								
7	Almacenamiento para reutilización o venta de material procesado para flotación																								
8	Reutilización de agua para los procesos de cianuración y desorción																								
9	Separar las rocas (cuarzo) para procesarlas al término del lote de material a procesar																								
10	Reestructurar chimenea de gases en fundición																								

#### **4.2.5.1. Actividad 17. Preparación del plan de “PmL”**

El primer paso de la implementación de cada una de las alternativas viables del programa de “PmL”, así como asegurar su ejecución, es la elaboración del cronograma donde se especifiquen los responsables, los recursos a utilizar y los medios de verificación durante su ejecución. Dicha planificación, recogida en la tabla 4.37., se realizó de manera conjunta por el ecoequipo, la gerencia de la empresa, el asesor técnico (doctorando) y los responsables de cada proceso, considerando lo siguiente:

- Listar detalladamente las actividades a desarrollar durante la ejecución del programa de “PmL” incluyendo la medición y evaluación de los beneficios obtenidos de las alternativas implementadas.
- Fechas de inicio y fin de las actividades de cada alternativa.
- Detalle de los responsables de la ejecución de cada una de las alternativas.
- Designar a la persona que supervisará la ejecución de todas las actividades de cada una de las actividades establecidas en el programa de “PmL”; la persona designada debe poseer conocimientos técnicos y autoridad suficiente para liderar la tarea.

De acuerdo con las prioridades establecidas en la tabla 4.37., las alternativas descritas en el mismo se establecen según un orden lógico, cuya finalidad es realizar el seguimiento y controlar su implementación en los tiempos establecidos.

La implementación de las alternativas tiene una duración de 6 meses, pudiendo modificarse en función de la disponibilidad de los recursos y de que no afecte directamente a la producción.

#### **➤ Evaluación y nivel de cumplimiento de los indicadores**

Sobre la base de los objetivos establecidos en el programa PmL, en relación a productividad y eficiencia, los resultados obtenidos de los indicadores planteados se indican en la tabla 4.38. La implementación de las alternativas ha permitido mejorar el proceso de beneficio, tanto en eficiencia como en productividad; la mejora promedio del proceso de beneficio en ambos casos, eficiencia y productividad, es del 12% durante el periodo de implementación.

Todo el proyecto posee una vigencia de 5 años, si bien en este caso la implementación se establece en un periodo de 6 meses, con la salvedad de que es susceptible a cambios debido

a la actividad económica que realiza, ya que su producción es continua y sujeta a la disposición de los recursos que amerita el proyecto.

Cumplido el periodo se podrá evaluar la eficacia, eficiencia y productividad, para lo cual se establecerán fichas de seguimiento, cuya finalidad es controlar y evaluar el cumplimiento de las actividades y, en caso de incumplimiento, tomar las acciones correctivas para alcanzar los objetivos propuestos.

#### **4.2.5.2.Actividad 18. Implementar alternativas de PmL**

Elaborado el plan “PmL”, en conjunto con la dirección de la empresa y ya establecidas las prioridades a implementar, se dará inicio a la implementación del PmL, realizando el seguimiento del avance del mismo. La ejecución de cualquier alternativa establecida como prioridad, implica la paralización de las actividades productivas desarrolladas por la planta de beneficio, la cual se considera implementar, en primer lugar, las alternativas de menor impacto y de fácil ejecución, ello con la finalidad de mostrar a la empresa y a los trabajadores, los beneficios asociados a la aplicación de la herramienta preventiva.

#### **4.2.5.3.Actividad 19. Monitorear el progreso de la PmL**

En este punto del proceso de implementación, se compararán los beneficios técnicos, económicos y ambientales reales, según las proyecciones establecidas en la fase de evaluación, mediante el uso de indicadores previamente establecidos.

Adicionalmente, los responsables involucrados en este proceso de seguimiento deberán prestar atención a lo siguiente:

Despilfarros de recursos

- Avería de maquinaria
- Cambios en las condiciones laborales
- Cambios de consumo de agua y energía
- Cambio en el consumo de insumos
- Cambio en la rentabilidad
- Cambios en los procedimientos operativos

**Tabla 4.38. Cumplimiento de indicadores en relación a eficiencia y productividad**

<b>Objetivos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Indicadores</b>	<b>% Optimización</b>
Elaborar el plan de PmL de las alternativas de mejora factibles	Establecimiento e implementación del PmL	Alternativas implementadas / alternativas propuestas	<b>100</b>
<b>EFICIENCIA</b> Establecer estrategias que ayuden a mejorar la eficiencia y optimización de los recursos	Comparar el consumo de agua empleada antes y después de las mejoras empleadas en los procesos de molienda, cianuración y desorción	Costo promedio mensual de consumo de agua utilizada antes de las mejoras / Costo promedio mensual de consumo de agua aplicadas las mejoras	<b>112</b>
	Comparar el consumo de energía antes y después de las mejoras	Costo promedio mensual de consumo de energía antes de la mejora / Costo promedio mensual de consumo de energía aplicadas las mejoras	<b>111</b>
	Comparar el consumo de insumos antes y después de aplicadas las mejoras en los procesos de cianuración y desorción	Cantidad total de insumos comprados al mes / Cantidad total de insumos utilizados al mes	<b>113</b>
<b>PRODUCTIVIDAD</b> Optimizar el proceso productivo de la planta de beneficio mediante la aplicación de estrategias productivas	Comparar el tiempo antes y después de aplicadas las mejoras en el proceso de cianuración y desorción	Tiempo total de procesamiento aplicado antes de la mejoras / Tiempo total real del proceso de beneficio aplicadas las mejoras	<b>107</b>
			<b>116</b>
	Optimización del proceso de beneficio	Tiempo total del proceso de beneficio antes de la mejora / Tiempo total real del proceso de beneficio aplicadas las mejoras	<b>108</b>
	Comparar la relación costo / beneficio del proceso de beneficio	Costo total del beneficio antes de las mejoras / Costo total del beneficio después de la mejora	<b>117</b>



En caso de existir o identificar algún problema en el proceso de beneficio, relacionado con despilfarros e ineficiencias (económico, técnico y/o ambiental), es responsabilidad del jefe de línea, comunicar al gerente sobre la situación encontrada con la finalidad de tomar acciones de mejora (acciones correctivas) que permitan eliminar y/o reducir la ineficiencia encontrada, para lo cual se hará uso de los respectivos canales de comunicación y de los registros que evidencien lo sucedido, y que estén legalmente autorizados por la empresa.

#### **4.2.5.4. Actividad 20. “Sostener el PmL”**

La sostenibilidad del proyecto PmL implementado en la planta de beneficio “El Puma” dependerá de la dotación de recursos que sean requeridos para continuar con las respectivas operaciones del proceso de beneficio, una vez ejecutada la primera inversión al inicio de la implementación de la herramienta PmL.

Queda demostrado en el análisis económico, que la recuperación de la inversión se la puede obtener en mismo año fiscal (57.867,69 recuperado en 11 meses y 21 días); incluso queda a potestad de la empresa tomar la decisión de mantener de manera contable la depreciación durante los 10 años o dar de baja en un solo año fiscal.

Para el buen desempeño organizacional, se propone el respectivo plan de mantenimiento preventivo y programado para maquinaria, equipos, herramientas e infraestructura con la finalidad de no afectar la productividad de la planta (véase el anexo 4).

El monitoreo constante del programa, ayudará al cumplimiento del plan de PmL, muy probablemente se encontrarán nuevas alternativas que no fueron consideradas al inicio del programa, pero que aparecieron durante su ejecución; por tanto, la gerencia debe asignar un grupo de trabajo que realice las respectivas auditorías internas sobre el progreso del proyecto; es recomendable que la empresa diseñe su modelo de gestión ambiental de modo que permita garantizar que la metodología PmL se mantenga en el tiempo y se vincule a la cultura organizacional de la empresa (Rojas W, 2011)

### **4.3. Beneficios de implementar “PmL”**

Los beneficios por la implementación de la herramienta PmL en la planta de beneficio El Puma son económicos, sociales y ambientales (Flórez-Yepes & Calderón Cuartas, 2014); económico en relación al costo/beneficio, lo implica que el beneficio es considerable en

relación al costo de inversión por implementar la herramienta, pudiendo recuperar la inversión en menos de un año; social, se generan fuentes de trabajo externas al solicitar la intervención de profesionales en áreas específicas requeridas durante la implementación de la herramienta PmL, así como también mejoramiento de la imagen corporativa de la empresa; y ambiental, pues con la optimización de los recursos en todo su contexto, se eliminan las ineficiencias relacionadas con el agua, energía, así como también la gestión de sus residuos sólidos y líquidos resultados de sus procesos de beneficio.

#### **4.4. Consideraciones finales**

La aplicación de PmL que se ha presentado en esta tesis doctoral ha implicado una mejora en la faceta económica, técnica y medioambiental, mejoras que comparte con otros casos de aplicación de PmL, que brevemente se describen a continuación. Así, (Piñeros Contreras, 2016), en el ámbito de la industria del plástico, plantean como estrategia el empleo de buenas prácticas de operación; esto es, diseño de un programa de mantenimiento preventivo de los equipos y operaciones de manejo de materiales y residuos, al igual que una cadena de custodia donde repose información e historia de los equipos, así como los costos de mantenimiento de equipos y manejo de residuos; en el caso de la planta de beneficio se ha activado el mantenimiento preventivo y programado de maquinaria, motores y bombas de agua con la finalidad de no interrumpir la producción debido a fallos de maquinaria y así mismo no afectar la eficiencia energética de los mismos.

Por lo que respecta al ahorro en insumos, consumo de agua y energía, (Vargas Gutiérrez, 2006), en la elaboración de cerveza, lograron reducir en un 100% en consumo de agua y el 26.56 % del consumo de energía, mejorando la productividad energética en un 57%; de igual forma en la planta de beneficio El Puma se ha logrado reducir de manera progresiva el consumo de agua en un 15% y de energía en un 8%.

Aplicando PmL de forma que un residuo se convierta en recurso, (Martínez-López et al., 2017) buscando transformar el aserrín en madera plástica consiguen disminuir en un 25% el residuo de aserrín y un incremento de ingresos en torno al 12%; aplicando la misma estrategia de reutilización, el material residual (relave) que genera la planta de beneficio, está

compuesto (89.8%) por compuestos de silicio, aluminio, hierro y calcio, que son materia prima para producir productos cerámicos, vidrio y otros tipos de productos.

En el caso de una planta azucarera, (Ramos-Bell & Lorenzo-Acosta, 2017) implementan técnicas y procedimientos para la reducción de agua y residuos, plantean la utilización de circuitos cerrados para la reducción del consumo de agua mediante bombas de vacío y filtros condensadores; además, se genera energía eléctrica mediante la quema del gabacillo logrando disminuir sus residuos en 42%; de igual forma en la planta de beneficio, se recircula el agua en el proceso de molienda, bombeándola de las cisternas de sedimentación al tanque elevado ubicado en área de molienda, logrando reducir su consumo en 50%; en la misma línea, se reutilizan las aguas del proceso de cianuración y desorción, logrando reducir el consumo de agua en promedio un 18% y consiguiendo una eficiencia en consumo de agua del 25%.

Es preciso volver a insistir en que esta es la primera aplicación de la herramienta PmL al ámbito de la minería, en concreto a la extracción artesanal de oro y plata. Siendo ésta una actividad, en su desempeño actual, manifiestamente contaminante y nada sostenible. es preciso resaltar el beneficio técnico, económico y, especialmente, medioambiental que supone la aplicación de PmL. En este sentido el resultado de esta tesis doctoral no se circunscribe exclusivamente a la empresa en la que se ha actuado, su proyección va a ser mucho mayor, tan pronto se difundan estos resultados se producirá una aplicación en masa del resto de empresas de características similares en la parte alta de la provincia de El Oro, que con toda seguridad se aplicará no sólo en el Ecuador, sino que alcanzará un ámbito mucho más global.

Considerando el volumen total que ingresa a la planta de beneficio 14.000 Tn/año del cual el 66.67% es material útil y que al término del proceso de beneficio (extracción de oro y plata) se convierte en material residual (relave) con presencia de silicio, aluminio, hierro y calcio, y si se multiplica por las 70 plantas de beneficio dedicadas a estas labores empleando el mismo proceso (cianuración) sumaría un total de 653.366 Tn/año de material residual, el cantón Portovelo se convertiría en el mayor proveedor de materia prima o productor en la elaboración de productos sobre la base de cerámica, vidrio y otros.

Esta aplicación de PmL a la extracción minera de oro y plata abre además el camino a la implementación, en este sector de recursos naturales no renovables, del nuevo paradigma industrial, Industria 4.0 (Industry 4.0), se trata de usar tecnología de alto nivel para integrar

automatización y sistemas de información para intercambiar información y datos entre los operarios y las máquinas Referencia (Cardoso Satyro et al., 2023). Industria 4.0 en el ámbito de la extracción minera de oro y plata es el siguiente instrumento a utilizar para conseguir un fortalecimiento de la economía circular y la producción más limpia, minimizando los residuos y aumentando la productividad a la vez que se preserva el medioambiente.

Tal como se ha puesto de manifiesto en esta tesis, a la vez que es de público conocimiento, la extracción tradicional de oro y plata lleva asociados manifiestos problemas de contaminación, aunque no otros menores, es especialmente problemático lo asociado con la etapa de cianuración. También de público conocimiento son episodios de contaminación de masas de agua por vertidos intencionados en momentos en que la vigilancia se relaja o es inexistente. Desde este foro se quiere proponer a las administraciones competentes el aprovechamiento de las herramientas actualmente disponibles para diseñar sistemas de vigilancia y alerta temprana de vertidos, tanto accidentales como deliberados.

Existen en el mercado diversos tipos de sensores que, debidamente colocados en ríos, lagos, etc., pueden estar enviando datos en tiempo real de parámetros fisicoquímicos de las aguas, lo que acoplado con las posibilidades computacionales asociadas a **Big Data**, para el manejo de grandes cantidades de información y utilizando las capacidades de inteligencia artificial se podría, de forma prácticamente inmediata, detectar la presencia de contaminación en el agua, las veinticuatro horas del día los trescientos sesenta y cinco días del año. Naturalmente que la puesta en marcha de lo que aquí se acaba de proponer, tendría que ir acompañado de un plan de actuación una vez que se detecta la contaminación, tanto en su vertiente logística como en la exigencia de responsabilidades al causante del vertido.

#### 4.5. Referencias

- Aristizabal, K., Rojas, O., Vargas, F., Felipe Díaz, A., & Ageorges, H. (2014). Efecto del afiliado de la broca sobre la resistencia a la perforación de recubrimientos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - TiO<sub>2</sub> elaborados mediante proyección térmica por plasma atmosférico. *Colombiana de Materiales*(5), 353-360. <https://doi.org/10.17533/udea.rcm.19622>
- Barona Díaz, D. A., & Flor García, O. P. (2008). Formulación de una pasta cerámica a partir de la utilizada en aisladores eléctricos para emplearse en la fabricación de sustrato de bujías de encendido automotriz utilizando materia prima nacional y material de desecho de edesa. Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Química y Agroindustria. Recuperado 18 de 04 de 2023, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1697/6/CD-1882.pdf>
- Bravo , O., Sierra, J., Acevedo, P., & Córdoba, E. (2014). Síntesis y caracterización de biorecubrimientos de biovidrio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Revista Colombiana de Materiales*(5), 224-230. <https://doi.org/10.17533/udea.rcm.19391>
- Cardoso Satyro, W., Celso Contador, J., De Paula Monken, S., Ferreira de Lima, A., Gomes Soares, G., Anderson Gomes, J., . . . Simplicio Silva, L. (2023). Industry 4.0 Implementation Projects: The cleaner Production Strategy -A Literature Review. *Sustainability*, 15(3), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su15032161>
- Cervantes-Avilés, P., Souza-Brito, E., Bernal-Martínez, A., Reyes-Aguilera, J., De la Rosa, G., & Cuevas-Rodríguez, G. (2017). Impacto de los nanocontaminantes en biorreactores aeróbios para tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Química*, 16(1), 247-261. Recuperado 18 de 04 de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/620/62049878024.pdf>
- Cosme R, M. (2010). Uso de modelos ocultos de markov para modelar proceso de supresión de efectos nódicos en celdas de reducción electrolítica de aluminio primario. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 14(55), 103-108. Recuperado 18 de 04 de 2023, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212010000200004&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212010000200004&script=sci_arttext)
- Enguilo Gonzaga, V. N. (2016). Estudio de la actividad catalítica del CaO soportado en a-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la obtención de biodiesel a partir de aceite de cártamo. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Toluca. Recuperado 18 de 04 de 2023, de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/65585>
- Flórez-Yepes, G. Y., & Calderón Cuartas, P. A. (2014). Análisis de los beneficios socio-ambientales por la implementación de estrategias de producción más limpia en el sector agropecuario de la cuenca medio del río Chinchiná, Colombia. *Acta Agronómica*, 63(3), 193-203. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n3.40255>
- Gómes Ramos, E. E., & Melo Banda, J. A. (2013). Catalizadores de metales de transición soportados en ZrO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para la obtención de H<sub>2</sub> Y CS<sub>2</sub>. Tesis, Instituto Tecnológico de Ciudad de Madero, Postgrado e investigación, Tamaulipas.

- Recuperado 18 de 04 de 2023, de  
[https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/3577/1/G05070736\\_donacion\\_tesis\\_bib.pdf](https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/3577/1/G05070736_donacion_tesis_bib.pdf)
- González, M. (2011). Diseño de una planta de beneficio aurífero que permita la mitigación del efecto contaminante del impacto ambiental. Tesis, Universidad de Guayaquil, Ingeniería Industrial. Recuperado 23 de 03 de 2023, de  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4016>
- Mac, E. (2019). Geniolandia, Digital. (E. Mac, Productor) Recuperado 18 de 04 de 2023, de Geniolandia: <https://www.geniolandia.com/13155081/propiedades-y-usos-del-oxido-de-aluminio>
- Martínez-López, Y., García-González, M., Fernández-Concepción, R. R., Álvarez-Lazo, D., & Martínez-Rodríguez, E. (2017). Proceso de transformación de la materia prima para tableros de madera plástica. *Ingeniería Industrial*, 38(3), 235-246. Recuperado 20 de 07 de 2023, de  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59362017000300002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362017000300002)
- Perdomo-González, L. (2015). Obtención simultánea de ferromanganeso y materiales abrasivos por reducción aluminotérmica usando pirolusita sin tostación previa y residuos sólidos industriales. *Minería y geología*, 31(2), 95-112. Recuperado 18 de 04 de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223539558007.pdf>
- Pinheiro-Vital, C. V., Barbosa-Soares, I., & Gómez-Malagón. (2016). Eficiencia de un colector termosolar de placas planas usando suspensiones de TiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Congreso Brasileiro de Energía Solar*, 1-7. Recuperado 18 de 04 de 2023, de <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1926/1912>
- Piñeros Contreras, S. A. (2016). Estudio de caso: Implementación de la producción más limpia como estrategia ambiental para la minimización de residuos peligrosos en la industria de empaques plásticos flexibles. Caso de estudio, Universidad Militar Nueva Granada, Granada.  
<https://doi.org/oai:repository.unimilitar.edu.co:10654/15292>
- Ramos-Bell, S., & Lorenzo-Acosta, Y. (2017). Acciones de producción más limpia para implementar en la industria azucarera cubana. *ICIDCA*, 51(1), 60-66. Recuperado 20 de 07 de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223153894010.pdf>
- Rojas W, J. P. (2011). CEGESTI. Recuperado 22 de 04 de 2023, de CEGESTI:  
[http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion\\_138\\_230211\\_es.pdf](http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_138_230211_es.pdf)
- Romero, F., Forero, P., Rojas, O., Giraldo, A., & Henao, J. (2020). Recubrimientos base vidrios bioactivos por proyección térmica para aplicaciones en implantes ortopédicos: Estado actual. *Colombiana de materiales*(16), 70-89.  
<https://doi.org/10.17533/udea.rcm.n16a04>

- Silva, A., Medeiros, C., & Vieira, R. (2017). Cleaner production and PDCA cycle: practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. *Journal of Cleaner Production*, 150, 324-338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.033>
- Stáble, F. M. (2017). Diseño y procesamiento de vitrocerámicos bioactivos: Evaluación del uso de minerales naturales en la formulación. Universidad Nacional La Plata. La Plata: SEDICI. <https://doi.org/10.35537/10915/59604>
- Vargas Gutiérrez, J. A. (2006). Diseño de un programa de producción más limpia para su implementación en la industria cervecera Bavaria S.A. Bucaramanga. Tesis, Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, Bogotá. Recuperado 20 de 07 de 2023, de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1427&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1427&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Vargas-Leyva, M. R., & Vargas-Leyva, J. X. (2014). Competencias profesionales demandadas en el sector aeroespacial (Vol. 1). Tijuana, Baja California, USA: ILCSA S.A. Recuperado 18 de 04 de 2023, de [https://www.academia.edu/8713133/competencias\\_profesionales\\_demandadas\\_en\\_el\\_sector\\_aeroespacial](https://www.academia.edu/8713133/competencias_profesionales_demandadas_en_el_sector_aeroespacial)





## **5. Conclusiones**



Las conclusiones de la investigación descrita en esta memoria de tesis doctoral, en la que se ha aplicado la técnica de la producción más limpia (PmL) al ámbito de la minería, se presentan seguidamente. Resulta pertinente dejar sentado que en ellas queda patente la consecución, totalmente satisfactoria, de los objetivos planteados al inicio de la investigación de doctorado.

1. Es precisa la total implicación de la dirección de la empresa para conseguir la plena implementación de Pm, e igualmente es relevante la información y formación de los distintos sectores de la empresa en relación a los beneficios derivados de la aplicación de PmL.
2. El éxito de la implantación de la técnica PmL se ha basado en una adecuada temporalización de las distintas acciones a realizar, siendo determinante un adecuado diagnóstico sobre las actividades críticas. De cara a la visualización de las oportunidades de mejora resultó procedente la aplicación de las “5Ms”: máquina, método, mano de obra, medio ambiente y materia prima. Dado que se consideran los aspectos técnicos, económicos y ambientales, su ponderación establecida por la empresa, podría implicar resultados distintos para dos empresas con idéntica actividad.
3. Del correspondiente diagnóstico resultó la necesidad de actuar sobre todas las etapas del proceso, incluyendo actuación sobre diversa maquinaria, lo que implica una mejora en la eficiencia energética, además, en este caso, incluso repercute en una menor siniestralidad laboral.
4. En lo que atañe a la recirculación y/o reutilización del agua, PmL ha implicado un uso más sostenible de este recurso, mientras que la reducción de la emisión de material particulado ha incidido positivamente en la calidad del aire; además, la potencial reutilización de los relaves convierte este residuo en un recurso.
5. La aplicación de PmL al proceso de desorción ha llevado asociado la determinación de la concentración de ácido nítrico en las aguas y una reducción en el consumo de agua del 50%; por su parte, en la etapa de cianuración se ha reducido en un 15% la utilización de agua e insumos.
6. Sobre la base de la actividad de la planta de beneficio El Puma, se puede realizar una extrapolación a la cantidad de residuo que generan las 79 plantas de beneficio

existentes en la parte alta de la provincia de El Oro, se trata de un total de aproximadamente 737370 toneladas anuales de relaves, parte de los cuales, tal como se ha indicado previamente, de residuo podrían convertirse en recurso.

7. La implementación de PmL ha mejorado el proceso de beneficio, tanto en eficiencia como en productividad; la mejora promedio para ambos indicadores ha sido del 12% durante el periodo de implementación. El análisis de la rentabilidad al implementar la herramienta PmL indica que la inversión es recuperable en poco menos de 1 año, obteniendo: VAN=197008; TIR=103% y ROI=0.025.
8. La utilidad de la aplicación de PmL, desde el punto de vista del ingreso operativo, es evidente, ya que tras la implementación de la herramienta PmL se ha producido un incremento del 32.64%, con la previsión de un incremento mayor al 10% en años sucesivos.
9. El método PmL es de aplicación en el campo de la minería, extracción de oro y plata, dando lugar a una actividad más respetuosa con el medio ambiente y, en este caso, a la vez con una notable repercusión en los beneficios económicos. La investigación realizada, pionera en el ámbito de la minería, y el resultado obtenido, aplicación satisfactoria de las técnicas de producción más limpia, sirven de pauta para que otras empresas mineras lo incorporen, de modo que se abre el camino para que esta lucrativa actividad sea más sostenible, lo que, además, da cuenta del cumplimiento del objetivo general propuesto para esta investigación de doctorado en el ámbito de la Ciencia y la Tecnología Ambiental.

## **6. Anexos**



**Anexo 1.** Normativa ambiental establecida por el Ministerio del Ambiente de la República de Ecuador en relación al control y prevención de la contaminación (aire, agua y suelo).

**A. Parámetros ambientales establecidos por el Ministerio del Ambiente de la República de Ecuador (MAE).**

➤ **En el Capítulo I, de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación del AIRE,** (Ministerio del Ambiente, 2015)

Art. 1.- Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares.

Art. 2.- Para los efectos de esta ley, serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación del aire.

a.- Las artificiales, originadas por el desarrollo tecnológico y la acción del hombre, tales como fábricas, calderas, generadores de vapor, talleres, plantas termoeléctricas, refinerías de petróleo, plantas químicas, aeronaves, automotores y similares, la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, la explotación de materiales de construcción y otras actividades que produzcan o puedan producir contaminación.

Art. 4.- Será responsabilidad de los Ministerios de Salud y Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, en coordinación con otras instituciones, estructurar y ejecutar programas que involucren aspectos relacionados con las causas, efectos, alcances y métodos de prevención y control de la contaminación atmosférica.

Art. 5.- Las instituciones públicas o privadas, interesadas en la instalación de proyectos industriales o de otras que pudieran ocasionar alteraciones en los sistemas ecológicos y que produzcan o puedan producir contaminación del aire, deberían presentar a los Ministerios de Salud y del Ambiente, según corresponda para su aprobación previa, estudios sobre el impacto ambiental y las medidas de control que se proyecten aplicar” (págs. 1-2).

**De acuerdo al ANEXO 1, del Libro VI, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso AIRE**

La norma presente está bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y de Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos. La normativa tiene como objetivo el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general.

**Tabla A.1.1. Concentración\* de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, alarma y emergencia en la calidad del aire.**

Contaminante y periodo de tiempo	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de carbono Concentración promedio en ocho horas	15000	30000	40000
Oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono. Concentración promedio en una hora	300	600	800
Óxidos de nitrógeno, como CO <sub>2</sub> Concentración promedio en una hora	1200	2300	3000
Dióxido de azufre Concentración promedio en veinticuatro horas	800	1600	2100
Material particulado PM <sub>10</sub> Concentración en 24 horas	250	400	500

\* Microgramos por metro cúbico de gas, a 25°C y 760 mm de Hg.

Fuente: Anexo 1 del TULSMA

Elaborado por: Ministerio del Ambiente del Ecuador

➤ **Capítulo II. De la prevención y control de la contaminación del AGUA, expresa lo siguiente.**

Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

Art. 7. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en coordinación con los Ministerios de Salud y del Ambiente, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas



y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor.

**De acuerdo al ANEXO 1, del Libro VI, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso AGUA.** (Ministerio del Ambiente, 2015)

La normativa presente determina aspectos técnicos para el control de la contaminación del recurso agua, distinguiendo distintos tipos:

- Afluyente. Es el agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un cuerpo de agua receptor, reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- Agua dulce. Aquella que no contiene importantes cantidades de sales; en generales consideran valores inferiores a 0.5 UPS (unidad práctica de salinidad que representa la cantidad de gramos de sales disueltas por kg de agua)
- Agua marina. Es el agua de los mares y océanos, se distinguen por su elevada salinidad, también conocida como agua salada. Las aguas marinas corresponden a las aguas territoriales en la extensión y términos que fijen el derecho internacional, las aguas marinas interiores, las de las lagunas y esteros que se comuniquen permanentemente.
- Agua residual. Denominada al agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.
- Agua residual industrial. Se denomina al agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales.

Para el control de la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, de acuerdo a la actividad regulada, el sujeto de control debe entre otras realizar las siguientes actividades: desarrollo del Plan de Manejo Ambiental, en el que incluya el tratamiento de sus efluentes previo a la descarga, actividades de control de la contaminación por escorrentía pluvial, y demás actividades que permitan prevenir y controlar posibles impactos ambientales; adicionalmente la autoridad ambiental podrá solicitar al regulado el monitoreo de la calidad del cuerpo de agua.

**Criterios de calidad de aguas para consumo humano y doméstico que requieren tratamiento convencional**

Hace referencia a las características físico-químicas que deben contener el agua para su potabilización y apta para el consumo humano.

**Tabla A.1.2. Criterios de calidad de aguas para consumo humano y doméstico que requieren tratamiento convencional**

Parámetros	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y grasas	Película visible	---	Ausencia
Aluminio total	Al	mg/L	0.2
Amoniaco	N	mg/L	0.5
Arsénico	As	mg/L	0.1
Coliformes fecales	NMP	NMP/100mL	2000
Coliformes totales	NMP	NMP/100 mL	20000
Bario	Ba	mg/L	1.0
Cadmio	Cd	mg/L	0.01
Cianuro	CN	mg/L	0.2
Cinc	Zn	mg/L	5.0
Cobre	Cu	mg/L	1.0
Color	Color real	Unidades de platino – cobalto	75.0
Compuesto fenólicos	Fenol	mg/L	0.001
Cromo	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0.05
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<2 ,mg/L
Hierro total	Fe	mg/L	1.0
Difeniles policlorinados	Concentración de agente activo	---	No detectable
Materia flotante	Visible	---	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0.002
Nitratos	N	mg/L	10.0
Nitritos	N	mg/L	1.0
Olor y sabor	---	----	Es permitido, removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	>60% del OD Sat.
pH	pH	----	6 – 9
Plata	Ag	mg/L	0.05
Plomo	Pb	mg/L	0.05
Selenio	Se	mg/L	0.01
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2</sup>	mg/L	250.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0.5
Turbiedad	---	UTN	100.0

Nota: Podrán usarse aguar con turbiedades y coliformes fecales ocasionales superiores a los indicados en esta tabla, siempre y las características de las aguas tratadas sean entregadas de acuerdo con la norma INEN

**Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en aguas marinas y de estuarios**

Se entiende al empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bio-acuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

**Tabla A.1.3. Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.**

Parámetros	Expresados como	Unidad	Criterio de Calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuarios
Aluminio <sup>(1)</sup>	Al	mg/L	0,1	1,5
Amoniaco total <sup>(2)</sup>	NH3	mg/L	-	0,4
Arsénico	As	mg/L	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/L	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/L	0,1	1,5
Bifenilios policlorados	Concentración de PCBs	µg/L	1,0	1,0
Boro	B	mg/L	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,001	0,005
Cianuros	Cn	mg/L	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/L	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl2	mg/L	0,01	0,01
Clorofenoles <sup>(3)</sup>	--	mg/L	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/L	0,2	0,2
	Cu	mg/L	0,005	0,005
Cromo Total	Cr	mg/L	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/L	--	2,00
Fenoles monohídricos	Expresado en fenoles	mg/L	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en	mg/L	0,3	0,3
	TPH	mg/L	0,5	0,5
Hidrocarburos totales de petróleo		mg/L	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/L	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/L	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	Visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/L	0,025	0,1
Oxígeno disuelto	OD	% de saturación	>80	>60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/L	0,05	0,05
Plaguicidas organofosforados totales	Organoclorados totales	µg/L	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/L	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/L	0,001	0,001
Potencial de hidrógeno	pH	Unidades	6,5 - 9	6,5 - 9,5
Selenio	Se	mg/L	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5	0,5
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/L	0,2	--
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/L	13	200
DQO	DQO	mg/L	40	--
DBO5	DBO <sub>5</sub>	mg/L	20	--
Sólidos suspendidos	SST	mg/L	Max incremento de 10% de la condición natural	

(1) Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0.005 mg/L

(2) Aplicar la tabla 1a como criterio de calidad para agua dulce

(3) Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/L

➤ **Capítulo III. De la prevención y control de la contaminación del SUELO, manifiesta lo siguiente** (Ministerio del Ambiente, 2015)

Art. 10.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.

Art. 11.- Para efectos de esta Ley, serán consideradas como fuentes de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.

**Tabla A.1.4. Guía de parámetros mínimos para valoración de la calidad inicial del suelo según su uso**

Uso de suelo	Parámetros a evaluar por uso de suelo
Agrícola	Metales (bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) Plaguicidas (órgano clorados, organofosforados, carbonatos y piretroides) Contenido de materia orgánica den el suelo Conductividad eléctrica Nitrógeno total Fósforo Potasio Calcio Hierro pH Espesor de la capa arable
Forestal	Metales (bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) Plaguicidas (órgano clorados, organofosforados, carbonatos y piretroides) Contenido de materia orgánica den el suelo Conductividad eléctrica Nitrógeno total Fósforo Potasio Calcio Hierro pH Espesor de la capa arable
Ganadero	Metales (bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) pH Conductividad eléctrica Detergentes Espesor de la capa arable
Urbano	Metales (Bario, boro, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) pH Conductividad eléctrica Detergentes
Equipamiento	Metales (bario, cadmio, cromo, nníquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) Plaguicidas (organoclorados, organofosforados, carbonatos y piretroides) pH Conductividad eléctrica

Conservación de hábitats	Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) Contenido de materia orgánica en el suelo pH TPH Detergentes Espesor de la capa arable
Industrial	Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, cianuro, mercurio, zinc, vanadio) PCB's (en el caso de plantas termo eléctricas) Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP's) TPH pH Conductividad eléctrica Detergentes
Comercial	Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) TPH pH Conductividad eléctrica
Minero	Metales (bario, cadmio, cromo, níquel, plomo, arsénico, mercurio, zinc) Cianuro TPH pH Conductividad eléctrica Radiactividad natural de fondo Espesor de la capa arable

Elaborado por: Ministerio del Ambiente del Ecuador

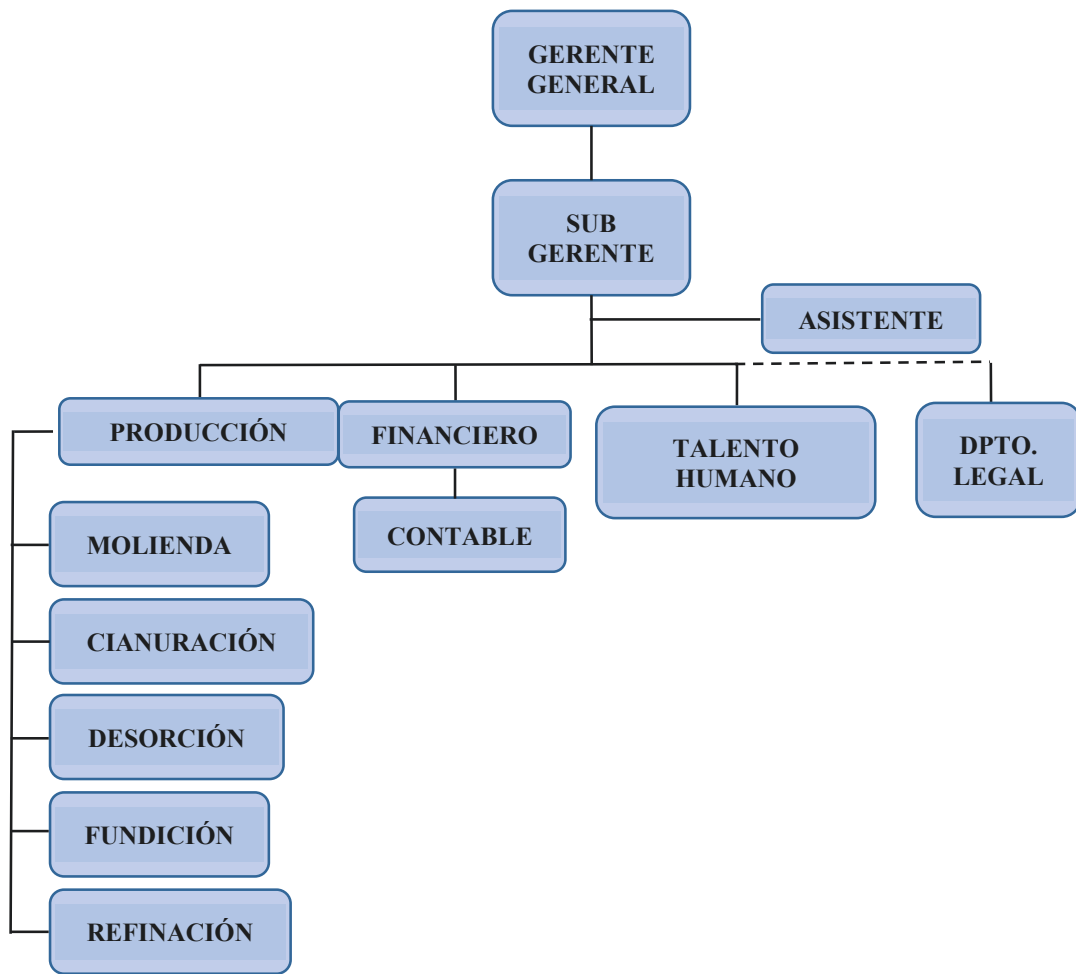
Fuente. Norma Técnica de Calidad del Suelo TULSMA

**De acuerdo al ANEXO 1, del libro VI, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso SUELO**

La presente normativa tiene como objeto velar por la calidad ambiental del recurso suelo, estableciendo los parámetros y criterios de valoración de este recurso para su preservación y/o remediación.

Los establecimientos industriales, comerciales y de servicios que desarrollen actividades que tengan el potencial de afectar al recurso suelo, presentarán periódicamente a la autoridad ambiental distrital una evaluación de la calidad del este recurso, reportando los parámetros aplicables para el uso suelo, siguiendo los procedimientos de campo y los métodos analíticos de laboratorio establecidos en la presente norma.

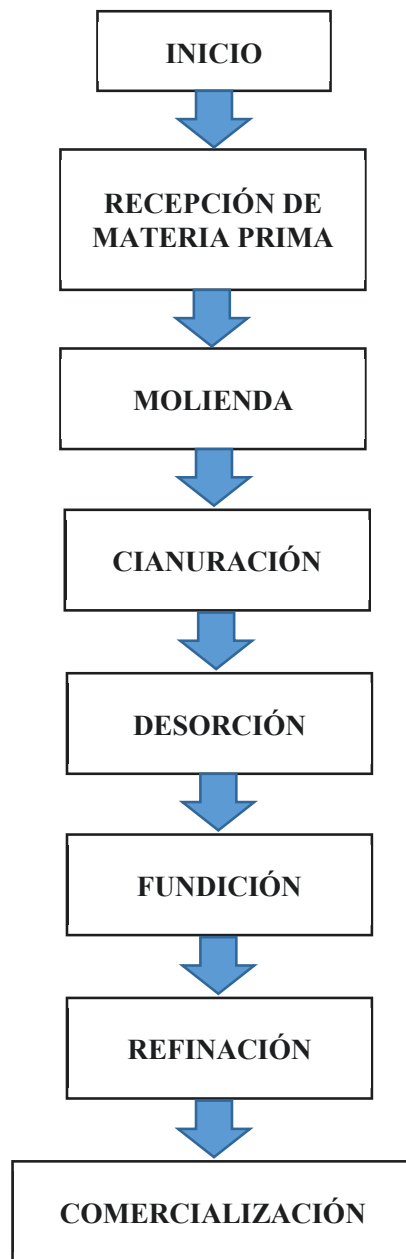
**Anexo 2. La empresa**



**Figura A.2.A INFORMACIÓN ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA**

Nombre de la Empresa: Planta de beneficio "El Puma"

Estructura Organizacional de la Empresa



**Figura A.2.B. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE BENEFICIO**

**Anexo 3.** Análisis de cabeza y cola del proceso de cianuración

**Tabla A.3.1** Resultado del análisis de cabeza y cola del proceso de cianuración

ITEM	ANÁLISIS DEL PROCESO DE CIANURACIÓN gr/m <sup>3</sup>	
	CABEZA	COLA
1	0,80	0,07
2	0,59	0,09
3	0,63	0,05
4	0,40	0,06
5	0,69	0,10
6	0,62	0,08
7	0,57	0,04
8	0,76	0,09
9	0,55	0,06
10	0,43	0,06
11	0,75	0,08
12	0,90	0,11
13	1,30	0,09
14	0,35	0,03
15	0,48	0,05
16	0,56	0,07
17	0,43	0,04
18	0,50	0,08
19	0,69	0,10
20	0,57	0,09
21	0,84	0,12







