

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**TESIS**

**“REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA NO POTABLE  
FRENTE A LA FALTA DE AGUA PARA EL REGADO DE UNA  
VIA MINERA APLICANDO ADITIVO H14”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MINAS**

**ELABORADO POR  
JOKY BRYAN LUIS LAZO SHIMABUKURO**

**ASESOR  
MBA. ING. VICTOR MANUEL HERNÁNDEZ DÍAZ**

**LIMA-PERU**

**2023**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por el apoyo incondicional; jefes y compañeros de trabajo quienes me hicieron participe de este proyecto de mejora y permitirme mostrar los resultados satisfactorios obtenidos.

## RESUMEN

La Unidad Minera Apumayo es una mina a tajo abierto que cuenta con 02 diques para la captación de las aguas proveniente de las lluvias, el agua del dique 1 es utilizada para las actividades de procesamiento de minerales en planta y el agua del dique 02 para la actividad de riego de vías en la operación minera. El volumen de agua requerido para el riego de vías ha incrementado debido a que se tiene mayores distancias de acarreo de mineral y desmonte, dicho volumen de agua es mayor a la capacidad del dique 02. Por lo cual, se ejecutó un proyecto de mejora junto a una empresa especializada, que consistió en aplicar el aditivo H14 en la vía principal de acarreo, teniendo como objetivo principal reducir el consumo de agua no potable y otros objetivos secundarios tales como reducir costos de acarreo de mineral, acarreo de desmonte y mantenimiento de vías; mitigar la polución en la operación minera y generar condiciones seguras de trabajo sin polución.

El uso del aditivo H14 en la vía de acarreo permitirá la reducción del consumo de agua no potable en un 49.8% equivalente a 51,005 m<sup>3</sup> de agua, la reducción del costo de mantenimiento de vías en 19.5%, acarreo de mineral en 2.2% y acarreo de desmonte en 2.1%. Además de controlar y mitigar la polución evitando conflictos sociales con comunidades aledañas y generando condiciones seguras de trabajo en la operación.

### **ABSTRACT**

The Apumayo Mining Unit is an open pit mine that has 02 dams for the collection of rainwater, the water from dam 1 is used for mineral processing activities at the plant and the water from dam 02 for the road irrigation activity in the mining operation. The volume of water required to irrigate roads has increased because there are greater haulage distances for ore and waste rock, said volume of water is greater than the capacity of dam 02. Therefore, an improvement project was carried out together with a specialized company, which consisted of applying the H14 additive in the main haulage road, with the main objective of reducing the consumption of non-potable water and other secondary objectives such as reducing costs of ore hauling, waste hauling and road maintenance; mitigate pollution in the mining operation and generate safe working conditions without pollution.

The use of the H14 additive in the haulage road will allow the reduction of non-potable water consumption by 49.8%, equivalent to 51,005 m<sup>3</sup> of water, the reduction of the cost of road maintenance by 19.5%, mineral hauling by 2.2% and hauling clearing in 2.1%. In addition to controlling and mitigating pollution, avoiding social conflicts with surrounding communities and generating safe working conditions in the operation.

**INDICE****AGRADECIMIENTO**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>INDICE .....</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>1. CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades .....	1
1.2. Descripción del problema de investigación.....	2
1.3. Objetivos del estudio .....	3
1.3.1. Objetivo General .....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Hipótesis .....	3
1.4.1. Hipótesis General .....	3
1.4.2. Hipótesis Específicos .....	3
1.5. Matriz de consistencia .....	4
1.6. Antecedentes Investigativos .....	5
<b>2. CAPITULO II .....</b>	<b>6</b>

<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. Ubicación.....	6
2.2. Hidrología.....	7
2.3. Geomorfología.....	8
2.4. Geología .....	9
2.4.1. Geología Local .....	9
2.4.2. Geología Regional.....	9
2.4.3. Geología Estructural.....	11
2.4.4. Litología .....	11
2.5. Método de explotación .....	11
2.6. Ciclo de minado.....	12
2.6.1. Perforación .....	12
2.6.2. Voladura.....	15
2.6.3. Carguío.....	16
2.6.4. Acarreo.....	18
2.6.5. Servicios Auxiliares .....	19
2.7. Uso de agua a nivel nacional .....	19
2.7.1. Uso de agua en el sector minero .....	20
2.7.2. Demanda de agua en Minería.....	21
<b>3. CAPITULO III.....</b>	<b>23</b>

<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>23</b>
3.1. Polvo como agente físico .....	23
3.2. Polvo como material particulado.....	23
3.2.1. Partículas PM2.5 .....	24
3.2.2. Partículas PM10 .....	24
3.3. Impacto de polvo en operaciones mineras.....	25
3.3.1. Enfoque social.....	25
3.3.2. Enfoque económico.....	26
3.3.3. Enfoque de seguridad.....	26
3.4. Vías.....	26
3.4.1. Vías de acarreo .....	26
3.4.2. Vías auxiliares .....	27
3.5. Estabilización de vías no pavimentadas .....	28
3.5.1. Estabilización Mecánica.....	28
3.5.2. Estabilización Física.....	29
3.5.3. Estabilización Química .....	29
3.6. Sistema de regado en minería.....	30
3.6.1. Método de riego convencional .....	31
3.6.2. Aditivos supresores de polvo .....	32
3.6.3. Aditivo H14.....	34

<b>4. CAPITULO IV .....</b>	<b>36</b>
<b>MARCO METODOLOGICO .....</b>	<b>36</b>
4.1. Modalidad básica de la investigación.....	36
4.2. Tipo de Investigación .....	36
4.3. Diseño de investigación.....	37
4.4. Población y muestra .....	37
4.4.1. Población.....	37
4.4.2. Muestra.....	37
4.5. Criterios de inclusión y exclusión .....	37
4.5.1. Criterios de inclusión .....	37
4.5.2. Criterios de exclusión.....	37
4.6. Técnicas de recolección de datos .....	37
4.6.1. Observación directa.....	37
4.6.2. Análisis de contenido cuantitativo .....	38
4.7. Instrumentos de recolección de datos.....	38
4.7.1. Guía de observación.....	38
4.7.2. Cuadro de registros .....	38
<b>5. CAPITULO V.....</b>	<b>39</b>
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION .....</b>	<b>39</b>
5.1. Introducción.....	39

5.2.	Vías de acarreo de la unidad minera.....	41
5.3.	Plan para reducir el consumo de agua en la operación minera.....	42
5.3.1.	Estabilización de vías de acarreo con aditivo H14.....	44
5.3.2.	Proceso de aplicación del aditivo H14.....	44
5.4.	Consideraciones luego de la aplicación del aditivo.....	49
5.5.	Duración y rendimiento de la aplicación del aditivo.....	50
5.6.	Costo de aplicación del aditivo.....	50
<b>6.</b>	<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>51</b>
	<b>ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
6.1.	Beneficios del uso del aditivo H14 en las vías.....	51
6.2.	Situación antes de la aplicación del aditivo H14.....	53
6.2.1.	Frecuencia de riego.....	54
6.2.2.	Consumo de agua no potable por mes.....	54
6.2.3.	Cantidad de cisternas de agua no potable por mes.....	55
6.2.4.	Cantidad de viajes promedio por mes.....	55
6.2.5.	Costo de alquiler de cisternas de agua no potable por mes.....	56
6.2.6.	Ciclos y distancias de acarreo de mineral.....	56
6.2.7.	Rendimientos y distancias de acarreo de mineral.....	57
6.2.8.	Ciclos y distancias de acarreo de desmonte.....	57
6.2.9.	Rendimientos y distancias de acarreo de desmonte.....	58

6.2.10.	Costo total de mantenimiento de vías.....	58
6.2.11.	Costo unitario de mantenimiento de vías .....	59
6.3.	Situación después de la aplicación del aditivo H14 .....	59
6.3.1.	Frecuencia de riego .....	60
6.3.2.	Consumo de agua no potable por mes.....	60
6.3.3.	Cantidad de cisternas de agua no potable por mes.....	60
6.3.4.	Cantidad de viajes promedio por mes .....	61
6.3.5.	Costo de alquiler de cisternas de agua no potable por mes.....	62
6.3.6.	Ciclos y distancias de acarreo de mineral .....	62
6.3.7.	Rendimientos y distancias de acarreo de mineral .....	63
6.3.8.	Ciclos y distancias de acarreo de desmonte .....	63
6.3.9.	Rendimientos y distancias de acarreo de desmonte .....	64
6.3.10.	Costo total de mantenimiento de vías.....	64
6.3.11.	Costo unitario de mantenimiento de vías .....	65
6.4.	Comparación de resultados .....	65
6.4.1.	Consumo de m <sup>3</sup> de agua no potable para riego de vías por mes .....	65
6.4.2.	Comparativo de rendimientos de acarreo de mineral.....	66
6.4.3.	Comparativo de rendimientos de acarreo de desmonte.....	66
6.4.4.	Comparativo de costo unitario de acarreo de mineral.....	67
6.4.5.	Comparativo de costo unitario de acarreo de desmonte.....	67

6.4.6. Comparativo de costo total de mantenimiento de vía .....	68
6.4.7. Costo unitario de mantenimiento de vías por mes .....	68
6.5. Cuadro de resumen .....	69
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Ubicación de la Unidad Minera Apumayo.....	7
Figura 02. Mapa Hidrográfico U.M. Apumayo .....	8
Figura 03. Mapa Geológico U.M. Apumayo .....	10
Figura 04. Tajo Abierto U.M. Apumayo .....	12
Figura 05: Perforación primaria con perforadoras DM45 .....	13
Figura 06. Carguío de taladros con camión fábrica.....	16
Figura 07. Carguío de mineral con Exc 374 DL a un solo carril en Fase 5 – Tajo Apumayo 01.....	17
Figura 08. Carguío de mineral con Exc 374 FL a doble carril. ....	18
Figura 09. Volquete de 22m3 acarreando mineral de Tajo hacia Pad Lixiviación. ....	18
Figura 10. Consumo directo de agua para la obtención de cobre y oro.....	21
Figura 11. Partículas PM2.5 y PM10 .....	24
Figura 12. Vía principal de acarreo de una operación a Tajo Abierto.....	27
Figura 13. Vía auxiliar en una operación minera a Tajo Abierto .....	28
Figura 14. Estabilización mecánica de vías no pavimentadas.....	29
Figura 15. Estabilización química de vías no pavimentadas. ....	30
Figura 16. Método de riego convencional en minería. ....	31
Figura 17. Dique 02 con el agua almacenada destinada para el riego de vías..	39

Figura 18: Garza de abastecimiento de agua no potable por succión en el dique 02. ....	40
Figura 19: Abastecimiento de cisterna de agua no potable por succión en el dique 02. ....	40
Figura 20: Perfil de la vía minera de la U.M. Apumayo. ....	41
Figura 21: Plano de ruta de acarreo de la Unidad Minera Apumayo. ....	42
Figura 22: Tramo de la vía de acarreo al que se aplicará el aditivo H14. ....	43
Figura 23: Cisterna de agua no potable realizando el riego de la vía minera antes de aplicar el aditivo.....	45
Figura 24: Motoniveladora 140K realizando mantenimiento de vías en la vía minera antes de la aplicación del aditivo. ....	46
Figura 25: Rodillo 20 TN realizando la compactación de la vía minera antes de la aplicación del aditivo. ....	46
Figura 26: Cisterna aplicando por primera vez el aditivo en la vía minera. ....	47
Figura 27: Cisterna aplicando el aditivo una segunda vez para reforzar la primera aplicación. ....	48
Figura 28: Vía minera con el aditivo aplicado.....	49
Figura 29: Consumo de agua m3 sin aplicar aditivo H14 en la vía.....	54
Figura 30: Cantidad de cisternas de agua no potable por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.....	55
Figura 31: Cantidad de viajes promedio de las cisternas de agua no potables sin aplicar aditivo H14 en la vía. ....	55

Figura 32: Costo total por alquiler de cisternas de agua no potables por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.....	56
Figura 33: Ciclos y distancias de acarreo de mineral por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.....	56
Figura 34: Rendimientos y distancias de acarreo de mineral por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.....	57
Figura 35: Ciclos y distancias de acarreo de desmonte por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.....	57
Figura 36: Rendimientos y distancias de acarreo de desmonte por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.....	58
Figura 37: Costo total de mantenimiento de vías por mes sin aditivo H14 en la vía.....	58
Figura 38: Costo unitario de mantenimiento de vías por mes sin aditivo H14 en la vía.....	59
Figura 39: Consumo de agua no potable m <sup>3</sup> por mes luego de aplicar aditivo H14 en la vía.....	60
Figura 40: Cantidad de cisternas de agua no potable por mes con aditivo H14 en la vía.....	61
Figura 41: Cantidad de viajes en promedio de las cisternas de agua no potable por mes con aditivo H14 en la vía.....	61
Figura 42: Costo de alquiler de cisternas de agua no potable por mes con aditivo en la vía.....	62
Figura 43: Ciclos y distancias de acarreo de mineral por mes con aditivo en la vía.....	62

Figura 44: Rendimientos y distancias de acarreo de mineral por mes con aditivo H14 en la vía.....	63
Figura 45: Ciclos y distancias de acarreo de desmonte por mes con aditivo H14 en la vía.....	63
Figura 46: Rendimientos y distancias de acarreo de desmonte por mes con aditivo H14 en la vía.....	64
Figura 47: Costo total de mantenimiento de vías por mes con aditivo H14 en la vía. ....	64
Figura 48: Costo unitario de mantenimiento de vías por mes con aditivo H14 en la vía.....	65
Figura 49: Comparativo de consumo m <sup>3</sup> de agua no potable por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14.....	65
Figura 50: Comparativo de rendimientos de acarreo de mineral por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14.....	66
Figura 51: Comparativo de rendimientos de acarreo de desmonte por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14.....	66
Figura 52: Comparativo de costo unitario de acarreo de mineral por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14.....	67
Figura 53: Comparativo de costo unitario de acarreo de desmonte por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14.....	67
Figura 54: Comparativo de costo total de mantenimiento de vías por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14.....	68
Figura 55: Comparativo de costo unitario de mantenimiento de vías por mes sin aditivo – con aditivo. ....	68

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 01: Matriz de consistencia .....	4
Tabla 02: Parámetros de perforación para un material con alteración Sílice Granular Compacta.....	14
Tabla 03: Parámetros de perforación para un material con alteración Sílice Granular .....	14
Tabla 04: Parámetros de perforación para un material con alteración Sílice Granular Deleznable .....	15
Tabla 05: Equipos de carguío en Unidad Minera Apumayo .....	17
Tabla 06: Equipos auxiliares de la Unidad Minera Apumayo.....	19
Tabla 07: Consumo de agua de cada vertiente por sectores .....	20
Tabla 08: Relación m <sup>3</sup> de agua/ tonelada de mineral según proceso metalúrgico .....	21
Tabla 09: Consumo de agua de acuerdo al tamaño de la operación.....	22
Tabla 10: Estándares de calidad ambiental para aire.....	25
Tabla 11: Plan de ejecución para la aplicación del aditivo H14 en la vía minera. ....	45
Tabla 12: Costo de aplicación del aditivo H14 en la U.M. Apumayo.....	50
Tabla 13: Capacidad de volquete y densidad de material.....	52
Tabla 14: Plan de distancias de mineral y desmonte por mes .....	52
Tabla 15: Modelo, capacidad y tarifas de cisternas de agua no potables en la operación.....	53

Tabla 16: Frecuencia de riego en época de estiaje de la vía de acarreo sin aditivo H14 .....	54
Tabla 17: Modelo, capacidad y tarifa de cisterna de agua no potables en la operación.....	59
Tabla 18: Frecuencia de riego en época de estiaje de la vía de acarreo con aditivo H14 .....	60
Tabla 19: Cuadro de resumen con los valores antes de usar aditivo y luego de aplicar el aditivo H14 durante el año .....	69

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. Generalidades**

Uno de los recursos más importantes para la industria minera es el agua ya que es utilizado para poder extraer los minerales y procesarlos. Sin disponibilidad de agua, la minería en el futuro sería muy poco sustentable y económicamente viable; por lo tanto, representa un activo vital para el proceso pues su escasez es una restricción para la obtención de licencias para explotar un yacimiento mineral.

La época de lluvias en la Unidad Minera inicia desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo. Durante esos meses se aprovecha las aguas provenientes de las lluvias para captarlas y almacenarlas en los diques 1 y 2. El agua del dique 1 es utilizado para los trabajos que se realizan en planta y el agua del dique 2 es utilizado para el regado de vías en la operación.

Las distancias de acarreo que se tiene en la Unidad Minera tanto en mineral como en desmonte, son muy largas a comparación de otras operaciones, por lo que la cantidad de agua no potable que se requiere para el riego de las vías de acarreo es considerable.

La poca capacidad del dique 02 para almacenar agua y no poder ampliar dicho dique por oposición de las comunidades aledañas, se tiene la necesidad de reducir el consumo de agua no potable en la operación.

Por ello, se realizó la aplicación de aditivo H14 sobre la vía minera con el fin de reducir el consumo de agua no potable, reducir el costo de mantenimiento de vías, incrementar la productividad de los equipos de acarreo, evitar conflictos con las comunidades aledañas por la polución que se pueda generar, reducir y mitigar la polución y evitar incidentes o accidentes a causa de la polución en la operación.

## **1.2. Descripción del problema de investigación**

En la unidad minera a Tajo Abierto se tiene dos diques donde se almacenan agua la cual es utilizada para actividades específicas. El dique 01 almacena agua que se destina para las actividades de procesamiento de minerales en planta; y el dique 02, con una capacidad de almacenamiento de 70,623 m<sup>3</sup>, provee el agua que es utilizada para el riego de vías en la operación.

El consumo de agua en la unidad minera ha ido en incremento en los últimos años debido a las mayores distancias de acarreo que se tienen tanto en mineral como en desmonte; y conforme se siga profundizando el minado, las distancias seguirán incrementando; por lo que la cantidad de agua no potable a utilizar para el riego de las vías de acarreo es considerable. El consumo de agua proyectado durante toda la época de estiaje es de 96,059 m<sup>3</sup>, dicho volumen es mucho mayor a la capacidad que tiene el dique 02.

Debido a la necesidad de reducir el consumo de agua no potable en la operación, cumplir con el regado de vías internas y externas como parte del control y mitigación de polvo en la operación para evitar problemas sociales que ocasionen la paralización de la operación se optó por la aplicación del aditivo H14 en un tramo permanente de la vía minera.

### **1.3. Objetivos del estudio**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Reducir el consumo de agua no potable en la operación minera.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Reducir el costo de mantenimiento de vías por una menor utilización de equipos auxiliares asignados para regado y mantenimiento de vías.
- Reducir el costo de acarreo de mineral y desmante.
- Controlar y mitigar la polución dentro de la operación minera utilizando una menor cantidad de agua no potable.
- Eliminar condiciones subestándares en la vía de acarreo debido a la polución generada en la operación por falta de riego de vías.

### **1.4. Hipótesis**

#### **1.4.1. Hipótesis General**

- Con la aplicación del aditivo H14 se reducirá el consumo de agua no potable utilizado para el regado de vías de acarreo en un 49.8% lo cual equivale a 51,005 m<sup>3</sup> de agua.

#### **1.4.2. Hipótesis Específicos**

- Al mantener la vía de acarreo en buen estado, no se requerirán muchas horas de equipo auxiliares para el riego y mantenimiento de las vías, por lo que el costo de mantenimiento de vías se reducirá en un 19.5% aproximadamente.
- Con la aplicación del aditivo, las condiciones de las vías de acarreo se mantendrán en buen estado, los rendimientos de los equipos de acarreo de mineral y desmante se incrementarán, por lo que el costo total de acarreo disminuirá en 2.2% en mineral y 2.1% en desmante, teniendo un ahorro total en el proceso de acarreo de \$ 358,845.00.
- La aplicación de aditivo H14 permitirá controlar la generación de polvo en la operación minera con un menor consumo de agua no potable.

- El aditivo en la vía de acarreo permitirá mitigar el polvo por lo que el tránsito de equipos no generará polución evitando incidentes y/o accidentes que podrían ser causados por la presencia de polvo.

### 1.5. Matriz de consistencia

Tabla 01: Matriz de consistencia

<b>PROBLEMAS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>
Falta de agua no potable para el riego de vías en la operación minera.	Reducir el consumo de agua no potable.	-El uso del aditivo H14 en la vía minera reduce el consumo de agua no potable en riego de vías.	Aditivo H14
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVO ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>
-Costos elevados de acarreo y mantenimiento de vías. -Conflicto con las comunidades aledañas debido a la polución que se genera en la operación. -Condiciones subestándares en la vía de acarreo que podría causar accidentes.	-Reducir el costo de acarreo y mantenimiento de vías. -Controlar y mitigar la polución generada en la operación minera. -Generar condiciones seguras de trabajo.	-El uso del aditivo H14 en la vía minera reduce el costo de acarreo y mantenimiento de vías. -Aplicar aditivo H14 en la vía minera controla la polución en la operación minera. -Aplicar aditivo H14 en la vía minera elimina condiciones subestándares en la vía minera.	Consumo de agua no potable

Fuente: Elaboración propia

## **1.6. Antecedentes Investigativos**

En el año 2022, Minsur, Unidad Minera Pucamarca; aplicó bischofita en sus vías auxiliares con el fin de controlar la polución generada por el tránsito de vehículos y/o equipos livianos y reducir el consumo de agua en la operación.

En el año 2019, en la unidad minera Dulcinea, Chile, se aplicó Bischofita para controlar la polución generado por el tránsito de camiones mineros y vehículos livianos por caminos no pavimentados, reduciendo el consumo de agua en la operación minera.

En el año 2018, Southern Cooper Corporation, mina Cuajone, aplicó supresores de polvo en las vías de acarreo con el fin de comprobar la eficiencia de cada uno de ellos.

En el año 2017, la empresa minera Hudbay Minerals aplicó Cloruro de Magnesio hexahidratado como supresor de polvo en la vía cercana a la comunidad Uchacarcco con la finalidad de evitar conflictos con dicha comunidad.

En el año 2015, Los Bronces aplicó supresor de polvo en su camino industrial con el fin de disminuir el consumo de agua y reducir el gasto de equipos asociados al mantenimiento de vías.

En el año 2015, la mina Cerro Verde, aplicó bischofita en sus vías auxiliares, vías por donde transitan solo equipos livianos, con el fin de mitigar la polución que estas generaban con el tránsito.

En el año 2014, Unidad Minera Las Cenizas, Chile, utilizó supresor de polvo en su camino minero con la finalidad de disminuir el uso de agua no potable en su operación.

En el año 2014, compañía minera MINSUR, unidad Pucamarca, aplicó bischofita en sus vías de auxiliares, vía por el que transitaban únicamente vehículos livianos, debido a los constantes reclamos por parte de las comunidades campesinas aledañas a la operación pues reclamaban la cantidad de polvo que llegaba a sus cultivos y viviendas.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Ubicación**

La Unidad Minera Apumayo es uno de los yacimientos mineros del grupo Aruntani y está situada en la región sur-central de Perú. Se localiza en la provincia de Lucanas, en el departamento de Ayacucho, en una zona que abarca los distritos de Chaviña y Sancos.



Figura 01: Ubicación de la Unidad Minera Apumayo

Fuente: EIA de la U.M. Apumayo

## 2.2. Hidrología

La Unidad Minera Apumayo se encuentra en la región alta de la cuenca del río Yauca, el cual es parte de la vertiente del Pacífico. La unidad se ubica en las subcuencas de varios ríos, entre ellos Paralmayoc y Chaviña, y está en la cabecera de microcuencas como Jallpasca, Jispicahua, Chaviña, Huamanloma, Cuchuhuasi, Parapacancha y Auropata. El río Yauca recibe la contribución de varios afluentes, como el río Pallccarona, río Sangarara y río Lampalla, y cambia de nombre a medida que fluye a través de diferentes zonas, adquiriendo el nombre de río Yauca después de su unión con la quebrada de Languirre, hasta llegar a su desembocadura en el Océano Pacífico.

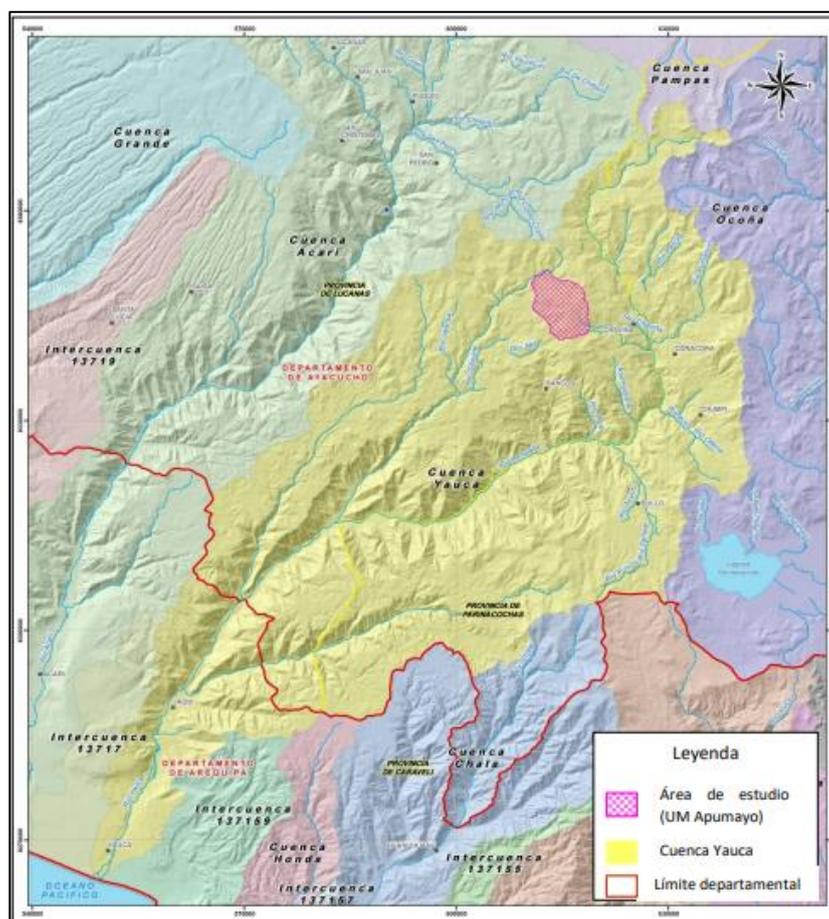


Figura 02. Mapa Hidrográfico U.M. Apumayo

Fuente: EIA de la U.M. Apumayo

### 2.3. Geomorfología

La Unidad Minera Apumayo está situada en el nivel superior de la Cordillera Occidental de los Andes, en la cadena volcánica del sur del Perú, a una altitud de entre 4000 y 4300 metros sobre el nivel del mar. En su ubicación, existen dos quebradas significativas, la Auqueato al sureste y la Jellocasa al oeste, que tienen arroyos de bajo caudal durante la mayor parte del año, excepto durante la temporada de lluvias. La mayor parte de la mina se encuentra dentro de la zona de altiplanicies, que se caracteriza por una superficie sub-horizontal con un relieve suave, con altitudes entre 4000 y 4300 msnm. Sin embargo, una pequeña porción está en la región geomorfológica del valle interandino, que se corresponde con las mesetas disectadas,

que tienen amplios y abiertos perfiles transversales en su parte alta, correspondiente a la etapa del valle entre los 3000 y 4000 msnm.

## **2.4. Geología**

La U.M. Apumayo posee características geológicas que la definen como un depósito de tipo epitermal de alta sulfuración.

### **2.4.1. Geología Local**

La Unidad Minera Apumayo está conformada por dos áreas de exploración, Huamanloma y Apumayo. Desde el punto de vista geológico, la unidad se compone de rocas volcánicas neógenas con una dirección general de NW-SE, las cuales se asignan a la Formación Barroso del Plioceno Superior - Pleistoceno. Estas rocas volcánicas se superponen discordantemente sobre la formación Aniso, la cual está compuesta por secuencias volcano-sedimentarias del Mioceno superior. La mayoría de los prospectos minerales de la Región Tambillos se encuentran dentro de una cúpula silíceo calcedónica que presenta una aureola de alteración que varía desde la silicificación hacia el centro hasta la propilitización en el exterior, y que se aloja dentro de la secuencia volcánica. La geología local se compone de diversas características tales como stocks y domos dacíticos, lava andesítica y piroclásticos.

### **2.4.2. Geología Regional**

El Grupo Barroso hace referencia a las rocas volcánicas que se formaron después de la Formación Capillune pero antes de la glaciación pleistocénica. El final del Grupo Barroso, que está marcado por la glaciación cuaternaria, ha sido establecido cronológicamente mediante el uso de edades K-Ar, las cuales indican que se produjo hace aproximadamente  $0,7 \pm 0,2$  millones de años durante el Pleistoceno (Tosdal et al., 1981). Este grupo se compone de dos miembros distintos, conocidos como Volcánico Barroso Inferior y Volcánico Barroso Superior.

### 2.4.2.1. Volcánico Barroso Inferior

Las formaciones volcánicas presentes en la zona son de tipo estrato volcán, lo cual significa que están compuestas por una serie de capas alternas de derrames y materiales piroclásticos. Los derrames están mayormente compuestos por andesitas y traquiandesitas, mientras que los materiales piroclásticos incluyen brechas y aglomerados volcánicos.

### 2.4.2.2. Volcánico Barroso Superior

La formación geológica conocida como Barroso Superior se compone de una serie de rocas piroclásticas. La parte inferior contiene tobas con aspecto masivo y cavidades vacuolares que contienen pómez, granos angulares de cuarzo, biotita, plagioclasas y vidrio volcánico. El nivel superior, está formado por tobas brechoides y contienen principalmente elementos líticos finos angulosos a sub-redondeados, en su mayoría de origen lávico.

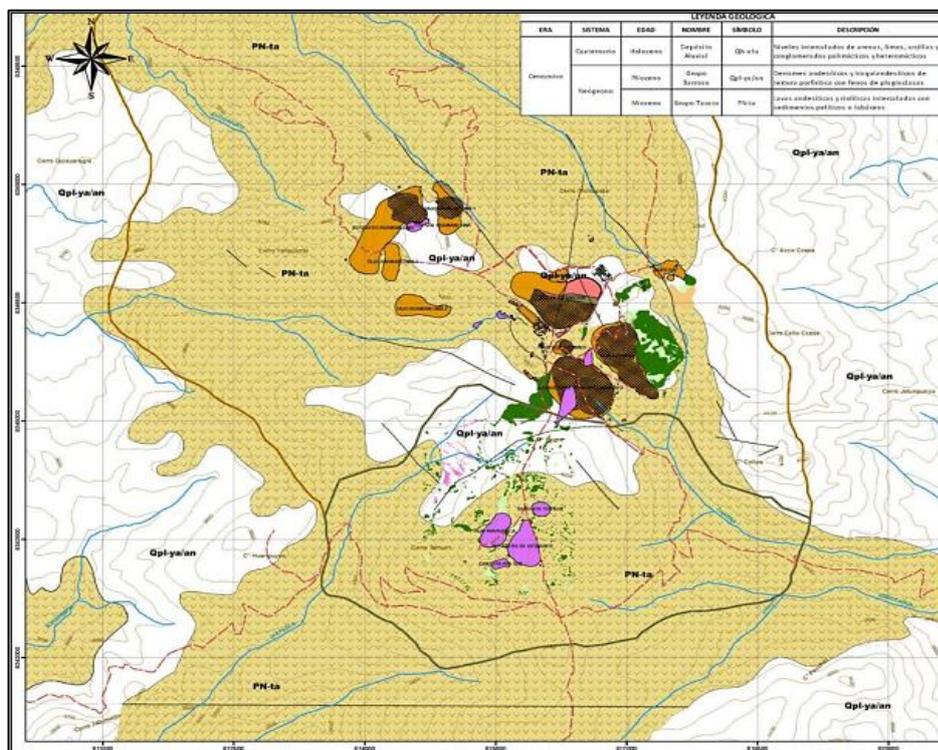


Figura 03. Mapa Geológico U.M. Apumayo

Fuente: EIA de la U.M. Apumayo

### **2.4.3. Geología Estructural**

Se pueden observar áreas de alteración epitermal que se caracterizan por afloramientos estructurales silicificados, los cuales tienen un rumbo preferencial de N60°W, y tienen una forma irregular y una extensión variable de 50 a 300 metros. Otras estructuras presentes en la zona son las brechas hidrotermales, las cuales presentan una silificación masiva y tienen una forma de canales verticales con grosores que varían desde 10 cm hasta 7 m. Las rocas que alojan estas estructuras son principalmente andesitas porfiríticas, brechas silíceas y rocas piroclásticas. En la zona hay fallas locales que están relacionadas tanto con la falla regional andina de dirección NW como con las fallas transversales.

### **2.4.4. Litología**

La Unidad Minera Apumayo se encuentra en una zona donde emergen brechas en los cerros de Huamanloma y Auqueato, ubicados en un grupo de rocas volcánicas que conforman el Grupo Barroso y el Grupo Tacaza.

El Grupo Tacaza, posee una unidad inferior que contiene areniscas con matriz tufácea, lutitas de tonalidades rojizas a violáceas, aglomerados y brechas, mientras que la unidad superior se compone de andesitas y riolitas de color gris a gris violáceo y beige oscuro, que se intercalan con brechas y conglomerados volcánicos con matriz tobácea.

Por otro lado, el Grupo Barroso, posee una unidad llamada Volcánico Barroso Inferior compuesta por andesitas y traquiandesitas y piroclásticos, brechas y aglomerados volcánicos. La unidad superior, llamada Volcánico Barroso superior, está compuesta principalmente por rocas piroclásticas.

## **2.5. Método de explotación**

El método de explotación es a Tajo Abierto (Open Pit). Las características principales del diseño del tajo son bancos de explotación de 8 metros de altura con

rampas de acarreo con 11 m a 12 m de ancho con 8% - 10% de pendiente. El ángulo del talud operacional es de  $55^\circ$  (considerando una roca competente).



Figura 04. Tajo Abierto U.M. Apumayo

Fuente: Elaboración propia

## 2.6. Ciclo de minado

### 2.6.1. Perforación

El área de Perforación y Voladura realiza el diseño de la malla considerando previamente los input de durezas y alteraciones del proyecto a perforar, dicha información es brindada por las áreas de Geotecnia y Geología respectivamente. Luego de realizar el diseño, se envía al área de Topografía para que lo puedan diseñar en Autocad y se pueda realizar el levantamiento de cada taladro en campo, colocando el proyecto, número de taladro y la altura a perforar.

En la Unidad Minera Apumayo se cuenta con 02 perforadoras rotativas DM45, los cuáles perforan con una broca cuyo diámetro es de 6 3/4" y pueden llegar a perforar hasta 9 m de longitud.

Luego de realizar la perforación, personal de geología va al campo para sacar muestras de los Blast Hole.

La toma de muestras depende del tipo de material de la fase donde se perfora:

- Si el proyecto es de mineral, se muestrean todos los taladros perforados.
- Si el proyecto es de desmonte, se muestrean los taladros de forma intercalada.



Figura 05: Perforación primaria con perforadoras DM45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 02: Parámetros de perforación para un material con alteración Sílice Granular Compacta

<b>PARAMETROS POR ALTERACION: SGC</b>		
SGC-Material Burden	B	4,4
SGC-Material Espaciamiento	E	5,1
SGC-Rendimiento mp/h	mp/h	43
SMC-Altura de Banco m	h	8,0
SMC-Sobre-perforación m	s	0,6
SMC-Longitud de taladro	l	8,6
SMC-Densidad Prom. tn/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /t	2,30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 03: Parámetros de perforación para un material con alteración Sílice Granular

<b>PARAMETROS POR ALTERACION: SG</b>		
SG-Material Burden	B	4,8
SG-Material Espaciamiento	E	5,5
SG-Rendimiento mp/h	mp/h	55
SG-Altura de Banco m	h	8,0

SG-Sobre-perforación m	s	0,6
SG-Longitud de taladro	l	8,6
SG-Densidad Prom. tn/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /t	2,14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 04: Parámetros de perforación para un material con alteración Sílice Granular Deleznable

<b>PARAMETROS POR ALTERACION: SGD</b>			
SGD-Material	Burden	B	5,5
SGD-Material	Espaciamiento	E	6,3
SGD-Rendimiento	mp/h	mp/h	65
SGD-Altura de Banco	m	h	8,0
SGD-Sobre-perforación		s	0,6
SGD-Longitud de taladro		l	8,6
SGD-Densidad Prom.	tn/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /t	1,85

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.2. Voladura

Obtenida la información de durezas y alteraciones en el proceso de perforación, se procede a realizar el carguío de taladros de la malla perforada. La

cantidad de explosivo dependerá de los dos parámetros mencionados anteriormente con el fin de obtener una granulometría adecuada post voladura.



Figura 06. Carguío de taladros con camión fábrica

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.3. Carguío

Para el proceso de carguío, se tienen excavadoras Caterpillar 374DL, 374FL y 365CL las cuales serán asignadas a los distintos frentes de carguío según las prioridades del plan de minado. De acuerdo a los anchos de minado que se tengan, se realizará el carguío por un solo carril o a doble carril.

Tabla 05: Equipos de carguío en Unidad Minera Apumayo

Modelo de excavadora	Capacidad de cuchara (m3)	Nro pases/volquete	Rendimiento (tn/h)
Excavadora CAT 374 FL	5.1	5	950
Excavadora CAT 374 DL	5.1	5	950
Excavadora CAT 365 CL	4.1	6	820

Fuente: Elaboración propia.



Figura 07. Carguío de mineral con Exc 374 DL a un solo carril en Fase 5 – Tajo Apumayo 01

Fuente: Elaboración propia



Figura 08. Carguío de mineral con Exc 374 FL a doble carril.

Fuente: Elaboración propia

#### 2.6.4. Acarreo

En la Unidad Minera Apumayo el acarreo de material se realiza con volquetes cuya capacidad es de 22 m<sup>3</sup>. Las distancias de acarreo son las siguientes:

- Distancia de acarreo mineral Tajo – Pad Lixiviación: 10.1 km
- Distancia de acarreo desmonte Tajo - Botadero: 5.8 km



Figura 09. Volquete de 22m<sup>3</sup> acarreando mineral de Tajo hacia Pad Lixiviación.

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.5. Servicios Auxiliares

Para los trabajos auxiliares en operaciones mina tales como perfilados, escarificado, limpieza de pozas y cunetas, mantenimiento de vías, empuje de material, entre otros; se cuenta con los siguientes equipos:

Tabla 06: Equipos auxiliares de la Unidad Minera Apumayo

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
EXCAVADORA 336D2L-01	1
CARGADOR FRONTAL 966H	1
CISTERNA DE AGUA NO POTABLE ACTROS	3
MOTONIVELADORA CAT 14M	1
RETROEXCAVADORA J-DEERE 310 SL	1
TRACTOR D8T	1
TRACTOR DE RUEDAS 824H	1

Fuente: Elaboración propia

### 2.7. Uso de agua a nivel nacional

A continuación, se muestra los porcentajes de consumo del agua proveniente de las distintas vertientes (Pacífico, Atlántico y Titicaca) por sectores.

Tabla 07: Consumo de agua de cada vertiente por sectores

Vertiente	USOS			
	Población (%)	Agrícola (%)	Industrial (%)	Minería (%)
Pacífico	12	80	6	2
Atlántico	14	80	2	4
Titicaca	30	64	3	3

Fuente: IIMP, año 2015

### 2.7.1. Uso de agua en el sector minero

La industria minera año tras año se encuentra tomando medidas que le permitan mantener sus operaciones sin impactar el entorno natural donde se encuentran. El consumo de agua en la minería es muy diverso pues dependerá de la magnitud de la operación: minería artesanal, pequeña, mediana y gran minería; así como también al tipo de procesamiento.

El agua también es requerida en procesos como la molienda, flotación, lixiviación, extracción por solventes del PLS (Pregnant Leach Solution), electro-deposición, proceso de filtración y refinación. Además, parte del consumo del agua se da en la población (campamentos, talleres y oficinas).

Tipo de mena	Ley de mineral	Proceso	Consumo directo (m <sup>3</sup> /t)
Sulfuro de cobre	0,75 % Cu	Pirometalurgia	91
Oxido de cobre	0,75 % Cu	Hidrometalurgia	70
Oro no refractario	3,5g Au/t	Carbón en pulpa (CIP)	244.701 (~ 8 m <sup>3</sup> /oz)
Oro refractario	3,5g Au/t	Oxidación a presión, CIP	284.235 (~ 9 m <sup>3</sup> /oy)
Sulfuro de níquel	1,3% Ni	Pirometalurgia	68
Limonita níquel	1,3% Ni	Hidrometalurgia (HPAL)	303

Figura 10. Consumo directo de agua para la obtención de cobre y oro.

Fuente: CEPAL, “Life cycle-based water footprint of selected metal production”

Northey & Haque (2013)

Tabla 08: Relación m<sup>3</sup> de agua/ tonelada de mineral según proceso metalúrgico

Proceso metalúrgico	Relación agua/mineral (m <sup>3</sup> /t)
Flotación – Relave convencional	0.6 – 0.8
Flotación – Relave en Pasta	0.4 – 0.5
Lixiviación en Pilas	0.3 – 0.4

Fuente: IIMP, año 2015

### 2.7.2. Demanda de agua en Minería

En el siguiente cuadro se muestra porcentajes aproximados de consumo de agua en el minado, procesamiento y población (campamentos, talleres, oficinas) en pequeña, mediana y gran minería.

Tabla 09: Consumo de agua de acuerdo al tamaño de la operación

<b>Tamaño Operación</b>	<b>Minado (%)</b>	<b>Procesamiento (%)</b>	<b>Población (%)</b>
Gran Minería	3	85	12
Mediana Minería	14	59	27
Pequeña Minería	8	72	20

Fuente: IIMP, año 2015

## **CAPITULO III**

### **MARCO CONCEPTUAL**

#### **3.1. Polvo como agente físico**

El polvo es un agente físico conformado por partículas pequeñas formadas por desintegración y/o fractura de materiales sólidos. El polvo es cuantificado de acuerdo al tamaño de sus partículas.

En una operación minera, el polvo puede generarse debido a los procesos de carguío, acarreo de material (vías no pavimentadas), perforación, voladura, acción del viento, entre otros. Los equipos auxiliares tales como la motoniveladora, cisternas de agua no potable y rodillos son los equipos encargados del mantenimiento de las vías existentes en la operación.

#### **3.2. Polvo como material particulado**

El polvo es un conjunto de partículas sólidas formadas por desintegración o fractura de materiales sólidos. Algunas partículas son lo suficientemente grandes para poder ser visibles por el ser humano y otras partículas tan pequeñas que solo son visibles con un microscopio electrónico. El polvo o material particulado se clasifica en función de su diámetro en:

### 3.2.1. Partículas PM2.5

Conocidas también como partículas finas, tienen un diámetro igual o menor a 2.5  $\mu\text{m}$ . Este tipo de partículas afectan en mayor proporción al organismo debido a que pueden llegar fácilmente a los pulmones al ser inhaladas. Son partículas finas inhalables cuya exposición considerable puede generar ataques cardiacos no mortales, latido irregular del corazón, irritación de las vías respiratorias, disminución de la función pulmonar y a la larga la enfermedad ocupacional conocida como silicosis.

### 3.2.2. Partículas PM10

Conocidas también como partículas gruesas, tienen un diámetro mayor o igual a 2.5  $\mu\text{m}$ , pero menor o igual a 10  $\mu\text{m}$ . Este tipo de polvo es generado en la vía debido a la fricción de los neumáticos de los vehículos y/o equipos con la superficie de rodadura y la acción del viento. Son partículas inhalables que no afecta considerablemente como las partículas PM2.5, pero pueden traer como consecuencia la irritación de los ojos, la nariz o la garganta.

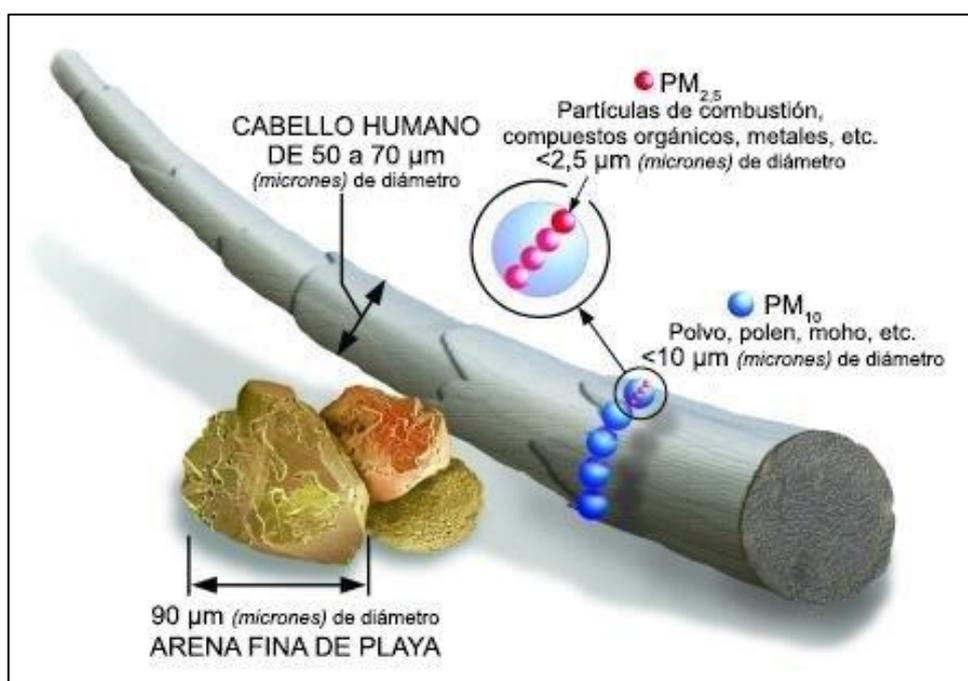


Figura 11. Partículas PM2.5 y PM10

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.

Tabla 10: Estándares de calidad ambiental para aire

<b>Parámetro</b>	<b>Periodo</b>	<b>Valor (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Método de análisis</b>
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	50	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	100	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	anual	50	Media aritmética anual	

Fuente: D.S. N°003-2017-MINAM

### **3.3. Impacto de polvo en operaciones mineras**

El control y la mitigación del polvo que se genera en una operación minera ha representado una oportunidad de mejora importante. El impacto que trae consigo puede ser vista de distintos enfoques los cuales se mencionan a continuación:

#### **3.3.1. Enfoque social**

El polvo representa un problema con las comunidades aledañas a la operación debido al temor de que se vean afectadas las actividades que desarrollan dichas comunidades. Es importante un plan de control y mitigación de polvo para evitar conflictos sociales y darle continuidad a la operación.

### **3.3.2. Enfoque económico**

Con respecto al área de mantenimiento, disminuye la vida de ciertos componentes de los equipos de acarreo como por ejemplo los filtros de aire. La limpieza o lavado de componentes de los equipos es más frecuente disminuyendo la disponibilidad de los mismos.

Con respecto al proceso de acarreo, incrementa los ciclos de acarreo debido a la presencia de equipos auxiliares en la vía, disminuyendo los rendimientos e incrementando el costo de acarreo de mineral y desmonte.

### **3.3.3. Enfoque de seguridad**

El exceso de polvo en las vías de acarreo, genera condiciones subestándares como una menor visibilidad para los operadores de equipos además de que existe la interacción entre equipos auxiliares y equipos de acarreo debido a los trabajos de mantenimiento de vías.

## **3.4. Vías**

Son caminos, cuya pendiente puede ser distinta en determinados tramos, para acceder al tajo, botaderos, Pad Lixiviación u otros componentes de una operación minera.

### **3.4.1. Vías de acarreo**

Son aquellas vías destinadas para el tránsito de equipos pesados, volquetes o camiones mineros, encargados del acarreo de material. Las vías de acarreo están conformadas por material grueso (mayor porcentaje) y material fino, este último generalmente se encuentra en la superficie final de la vía con el fin de evitar cortes o desgastes en los neumáticos de los equipos pesados de acarreo.



Figura 12. Vía principal de acarreo de una operación a Tajo Abierto

Fuente: Elaboración propia

### **3.4.2. Vías auxiliares**

Son aquellas vías destinadas para el tránsito de vehículos livianos o equipos de servicio. Estas vías no requieren mantenimiento constante ya que el peso de los equipos que transitan por dicha vía es menor en comparación a las vías de acarreo.



Figura 13. Vía auxiliar en una operación minera a Tajo Abierto

Fuente: Elaboración propia

### **3.5. Estabilización de vías no pavimentadas**

La estabilización de suelos busca mejorar las condiciones físicas de la vía, tales como la cohesión de partículas, resistencia, incremento de carga portante y disminuir la pérdida de finos a causa del viento, tránsito de equipos y/o vehículos. Existen diversas formas de estabilización los cuales se mencionan a continuación:

#### **3.5.1. Estabilización Mecánica**

También conocida estabilización por compactación, la estabilización física requiere de equipos y mano de obra. Consiste en aplicar energía o fuerzas externas sobre el terreno, la vía o el suelo con el fin de aglomerar las partículas que las conforman. Este método permite reducir los espacios intersticiales y mejorar la densificación del suelo. Generalmente los equipos auxiliares utilizados para esta actividad son los rodillos.



Figura 14. Estabilización mecánica de vías no pavimentadas

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. Estabilización Física

La estabilización física consiste en obtener una adecuada granulometría y mejorar las condiciones del suelo y/o la vía mediante el aporte de materiales granulares como las gravas, arenas y arcillas en una proporción el cual permita mejorar las condiciones de la vía. Para su eficacia requiere como complemento la compactación del terreno.

Otra alternativa también es el uso de materiales cohesivos como geotextiles.

### 3.5.3. Estabilización Química

La estabilización química consiste en aplicar un producto químico en la vía para modificar sus propiedades y lograr una superficie más resistente a la rodadura o tránsito. Como ejemplos de estabilizadores químicos tenemos: las sales y cloruros, productos orgánicos no bituminosos, productos bituminosos, polímeros, productos electroquímicos, entre otros. Todos estos productos poseen distintas características y/o

propiedades, pero tienen la finalidad de mejorar las condiciones de las vías y evitar su deterioro.



Figura 15. Estabilización química de vías no pavimentadas.

Fuente: Elaboración propia

### **3.6. Sistema de riego en minería**

La minería es una actividad que precisa de una enorme cantidad de maquinaria para llevar a cabo las distintas tareas implicadas en sus procesos. En el caso de la minería superficial, se pueden identificar los principales procesos como la perforación, voladura, carguío y acarreo, además de servicios auxiliares como el perfilado, drenaje, mantenimiento de vías, riego de vías, entre otros.

Entre los servicios auxiliares, el riego de vías es fundamental para controlar la generación de polvo, que proviene en un 65% del acarreo de material sobre el camino minero, el 30% de fuentes fijas como chancadoras, stocks y fajas transportadoras, y el 5% restante de factores de entorno natural y climáticos como la erosión eólica de taludes, entre otros. Para ello, se pueden emplear cisternas de agua no potable o sistemas de aspersión a lo largo de las vías de acarreo. A continuación, se muestra distintas maneras de realizar el riego de vías en una operación minera a Tajo abierto:

### 3.6.1. Método de riego convencional

En la minería, es común el regado de las vías de acarreo y auxiliares con agua. La frecuencia de regado depende de las condiciones climáticas y se utiliza para controlar la emisión de polvo en el área de operaciones.

El uso de agua para reducir la generación de polvo es una solución temporal, ya que su capacidad de control disminuye rápidamente en climas secos y cálidos. Se estima que el agua reduce el polvo en un 40%, pero no puede controlar la elevación de partículas más finas. Además, es importante tener en cuenta que el agua es un recurso escaso en la industria minera.

Cuando se usa agua en exceso, se forma barro, lo que aumenta la erosión, genera cortes en los neumáticos y dificulta la limpieza y mantenimiento de los equipos. En áreas con poco tránsito vehicular, el agua puede ser más eficiente, pero es importante considerar sus limitaciones en términos de control de polvo a largo plazo.



Figura 16. Método de riego convencional en minería.

Fuente: Elaboración propia

### **3.6.2. Aditivos supresores de polvo**

Los supresores de polvo son sustancias químicas capaces de atrapar las partículas finas y unir las para generar cuerpos más pesados con mayor cohesión, evitando así la formación de polvo. En la industria minera, es un recurso muy útil debido a la existencia de caminos sin pavimentar y la necesidad de controlar la contaminación. Los tipos de supresores de polvo son\_

#### **3.6.2.1. Sales y Cloruros**

Este tipo de producto para el control de polvo tiene como característica principal la capacidad de absorber la humedad del ambiente donde es aplicado. El cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), debido a su propiedad higroscópica y deliquescente, tiene una gran afinidad por la humedad atmosférica y la absorbe, lo que aumenta el contenido de humedad en el suelo y la tensión superficial de las moléculas de agua. El cloruro de calcio es muy sensible a las condiciones ambientales de temperatura y humedad. El cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ), por su parte, presenta propiedades físico-químicas similares al cloruro de calcio, pero tiene una mayor solubilidad en agua, lo que le permite infiltrarse en el suelo a mayor profundidad y aumentar la tensión superficial. Dicha mayor tensión superficial es beneficioso para desarrollar fuerzas adhesivas más fuertes y una superficie más resistente.

#### **3.6.2.2. Polímeros sintéticos**

El lignosulfonato, también conocido como sulfonato de lignina o lignina sulfúrica, es un polímero polielectrolítico que tiene una excelente solubilidad en agua. La inclusión de lignosulfonato conduce a un incremento en la densidad de la arcilla en las mismas condiciones de compactación, lo que disminuye el volumen de poros en el suelo y mejora su resistencia (Foley et al., 1996; Han, 1992; Lohnes & Coree, 2002). El lignosulfonato es altamente biodegradable y no causa impacto ambiental negativo (Dong et al., 2008; Gargulak et al., 2001). A pesar de lo anterior, existen varios factores que disminuyen su efectividad en la supresión de polvo, tales como la presencia de lluvias.

### **3.6.2.3. Productos orgánicos no bituminosos**

El lignosulfonato de calcio, lignosulfonato de sodio y lignosulfonato de amonio son ejemplos de productos orgánicos no bituminosos. Estos compuestos son efectivos para controlar la emisión de polvo, especialmente en áreas áridas o semiáridas.

Todos estos compuestos pueden formar una fina costra en las superficies de las carreteras o vías tratadas, lo que conduce a una mejora sustancial de la eficacia del control del polvo. Además, tienen una excelente biodegradación, lo que genera un impacto mínimo en el ambiente. Sin embargo, al ser compuestos de alta solubilidad en agua, su eficiencia es casi nula en zonas con presencia de lluvias.

### **3.6.2.4. Productos bituminosos**

En esta categoría de productos para la supresión de polvo, se incluyen los asfaltos cortados y las emulsiones asfálticas, los cuales se caracterizan por su capacidad para unir partículas finas y presentar alta resistencia, no ser solubles en agua, no evaporarse y tener un alto punto de tensión a la rotura. Para lograr la estabilización del suelo, se debe mezclar aire, agua y asfalto en el suelo, lo que resultará en una distribución relativamente uniforme de asfalto en un material de suelo/agregado húmedo que, al compactarse, se convierte en un material sólido y unido.

El uso de emulsiones asfálticas puede ser más costoso en comparación con otros tipos de supresores de polvo, pero proporciona una serie de beneficios a largo plazo, como una mayor resistencia a la humedad y al congelamiento-descongelamiento, y una mayor resistencia no confinada. Además, mejora significativamente la resistencia general del pavimento, la estabilidad y la capacidad de resistencia al tráfico constante de vehículos y/o equipos de neumáticos. Si se aplica correctamente en condiciones adecuadas del suelo, una emulsión asfáltica puede mantener una vía estabilizada y eficiente durante más de un año.

Es importante complementar las emulsiones asfálticas con aglomerantes y emulsificantes para evitar que el agente bituminoso se lixivie, ya que

esto afectaría su eficacia. Las emulsiones de alto contenido bituminoso forman una superficie altamente resistente a la rodadura, con una gran adherencia e hidrorrepelencia, y no son resbaladizas en presencia de agua o humedad.

### **3.6.2.5. Productos electroquímicos**

Los productos electroquímicos son compuestos altamente iónicos que se derivan del petróleo sulfonado. Algunos de los supresores de polvo que se incluyen en esta categoría son los aceites sulfonados, las enzimas y el cloruro de amonio.

Los estabilizadores electroquímicos, como el petróleo sulfonado o la bentonita, tienen la capacidad de neutralizar la afinidad del suelo por el agua. Estos productos son más efectivos en suelos arcillosos, ya que reducen el contenido de agua del suelo, lo que aumenta su compactación. Algunos de estos productos se disuelven en agua, mientras que otros son oxidantes altamente ácidos y pueden reaccionar violentamente con los metales. Aunque estos aditivos pueden actuar como soluciones temporales, es difícil mantenerlos en el tiempo y se requiere maquinaria pesada para trabajar los estabilizadores electroquímicos profundamente en la superficie de la carretera. Por lo tanto, esta opción puede no ser viable para el transporte a varios lugares, especialmente en comunidades rurales.

### **3.6.3. Aditivo H14**

#### **3.6.3.1. Composición**

El supresor de polvo H14 consiste en una mezcla de emulsión asfáltica modificada, sales y surfactantes. La emulsión es una combinación de dos líquidos no miscibles, donde uno se dispersa en pequeñas gotas en el otro. El primer líquido se llama fase dispersa o discontinua, que es generalmente no polar, y el segundo líquido se conoce como fase continua o dispersante, que es generalmente polar. Los surfactantes, también conocidos como agentes emulsificantes, permiten la mezcla de dos componentes insolubles. Si la emulsión se deja en reposo después de su creación, las partículas de asfalto se juntan y se separan del agua. Para evitar este

problema, se agrega un agente emulsionante que envuelve las partículas de la fase dispersa, impidiendo su unión y coagulación de la emulsión.

### **3.6.3.2. Propiedades Físicas**

El aditivo H14 tiene las siguientes características:

- Es deliquescente; es decir, tiene la capacidad de absorber la humedad del aire y disolverse en dicha humedad para formar una solución líquida.
- La presión de vapor es menor a la del agua a cualquier temperatura y humedad relativa lo cual reduce la tasa de evaporación del agua.
- Puede aplicarse en suelos plásticos y suelos no plásticos.
- No altera ni modifica la composición y/o condiciones de la superficie de la vía donde se aplica.
- Posee una alta resistencia a la tensión por lo que evita daños por el tránsito de equipos y/o vehículos en la vía donde es aplicada.

### **3.6.3.3. Logística**

El aditivo H14 es un producto suministrado por una empresa especializada, cuyo personal se encarga de su producción y preparación en una planta. Una vez elaborado, el aditivo es transportado en cisternas en estado líquido hacia la ubicación del cliente donde se utilizará.

### **3.6.3.4. Manejo y manipulación del aditivo H14**

Debido a que el aditivo H14 es una emulsión bituminosa, su almacenamiento prolongado no es recomendable, ya que puede sufrir una separación de fases. Por lo tanto, es necesario aplicar el aditivo diariamente durante el transporte. Dado que el aditivo no se mezcla con el agua, no se produce patinamiento.

## **CAPITULO IV**

### **MARCO METODOLOGICO**

#### **4.1. Modalidad básica de la investigación**

Se realizó un análisis con las condiciones iniciales tales como cantidad de cisternas dimensionadas para el riego de vías, consumo de agua no potable, rendimientos de acarreo, costo unitario de acarreo de mineral y desmonte, costo unitario de mantenimiento de vías y presencia de polución.

Se programó y ejecutó un mantenimiento adecuado de la vía principal de acarreo con equipos auxiliares para posteriormente aplicar el aditivo H14.

Finalmente, se realizó un análisis bajo condiciones de la vía con aditivo con el fin de comparar los resultados obtenidos con los valores y/o indicadores iniciales.

#### **4.2. Tipo de Investigación**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo y es de tipo aplicativo pues busca identificar y aplicar una mejora que contribuya con la reducción del consumo de agua no potable en la unidad minera.

### **4.3. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es experimental de tipo cuasi-experimental, debido a que se basa en analizar y comparar valores; como el volumen de agua requerido para el riego de vías, costos de acarreo y mantenimiento de vías, del antes y después de aplicar el aditivo H14 en la vía de acarreo desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 7+500.

### **4.4. Población y muestra**

#### **4.4.1. Población**

- Conjunto de vías de acarreo y auxiliares de la operación minera.

#### **4.4.2. Muestra**

- Vía de acarreo que abarca desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 7+500.

### **4.5. Criterios de inclusión y exclusión**

#### **4.5.1. Criterios de inclusión**

- Vías de acarreo habilitadas.
- Vías auxiliares habilitadas.

#### **4.5.2. Criterios de exclusión**

- Vías de acarreo deshabilitadas.
- Vías auxiliares deshabilitadas.

### **4.6. Técnicas de recolección de datos**

#### **4.6.1. Observación directa**

Se observó de manera directa el comportamiento de las vías luego de la aplicación del aditivo H14 para verificar si se mantienen las condiciones iniciales antes de aplicar el aditivo.

#### **4.6.2. Análisis de contenido cuantitativo**

Se realizó un análisis con la información que se recopiló luego de la aplicación del aditivo H14 en la vía de acarreo desde la progresiva 0 +000 hasta 7 +500, para comparar dichos resultados con los valores que se tenían antes de la aplicación en dicho tramo.

#### **4.7. Instrumentos de recolección de datos**

##### **4.7.1. Guía de observación**

Se elaboró un plan de observación para realizar el control y seguimiento de las actividades tales como el regado de vías, acarreo de material y mantenimiento de vías.

##### **4.7.2. Cuadro de registros**

Se analizó la base de datos ya existente en la operación. La información analizada fue referente al consumo de agua en la operación, ciclos y rendimientos de acarreo, costos de acarreo y mantenimiento de vías.

## **CAPITULO V**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION**

#### **5.1. Introducción**

En el año 2022, a fines del mes de mayo se aplicó el aditivo H14 en la vía minera con el fin de reducir el consumo de agua no potable en el riego de vías de la operación. El agua es un recurso escaso en la unidad debido a la baja capacidad del dique que almacena el agua destinada para el riego de vías y las restricciones que se tiene para su ampliación. Una vez aplicada el aditivo, se realizó el control, seguimiento y análisis de los resultados obtenidos en el transcurso de los meses siguientes.



Figura 17. Dique 02 con el agua almacenada destinada para el riego de vías.

Fuente: Elaboración propia



Figura 18: Garza de abastecimiento de agua no potable por succión en el dique 02.

Fuente: Elaboración propia



Figura 19: Abastecimiento de cisterna de agua no potable por succión en el dique 02.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Vías de acarreo de la unidad minera

La vía de acarreo que se tiene en la unidad minera tiene un ancho de 20 m además de contar con cunetas y muros de seguridad de acuerdo al estándar de seguridad.

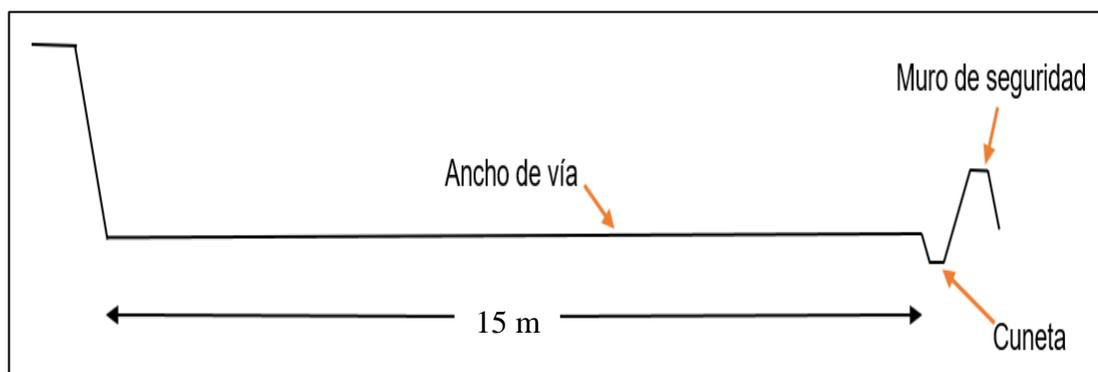


Figura 20: Perfil de la vía minera de la U.M. Apumayo.

Fuente: Elaboración propia

Los tramos que se han identificado son los siguientes:

- Ruta de acarreo de mineral: Tajo – Punto de control – Cruce 01 - Cruce 02- Pad Lixiviación.
- Ruta de acarreo de desmonte: Tajo – Punto de control – Cruce 01 – Botadero.

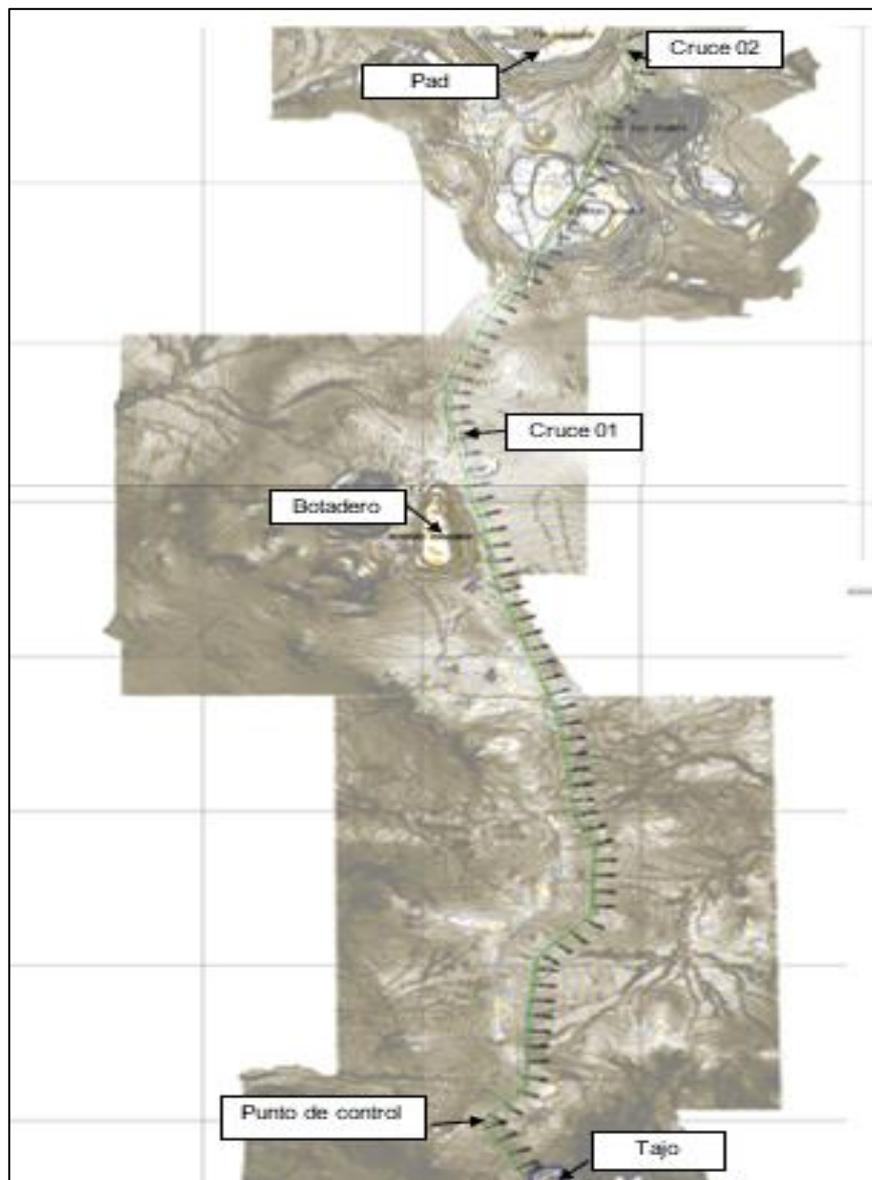


Figura 21: Plano de ruta de acarreo de la Unidad Minera Apumayo.

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Plan para reducir el consumo de agua en la operación minera

Se elaboró un plan de aplicación del aditivo H14 en un tramo de la vía minera que sea permanente con el fin de reducir el consumo de agua no potable utilizado para el riego de vías.

Hay un tramo de la vía que se tiene en común en la ruta de mineral y desmante el cual es Punto de control – Cruce 01, dicho tramo es el que se considerará en el momento de aplicar el aditivo, además de considerarse también el tramo del Cruce 01 – Cruce 02. La distancia del tramo de la vía minera a aplicar es de 7.5 Km (progresiva 0 +000 hasta la progresiva 7+500).

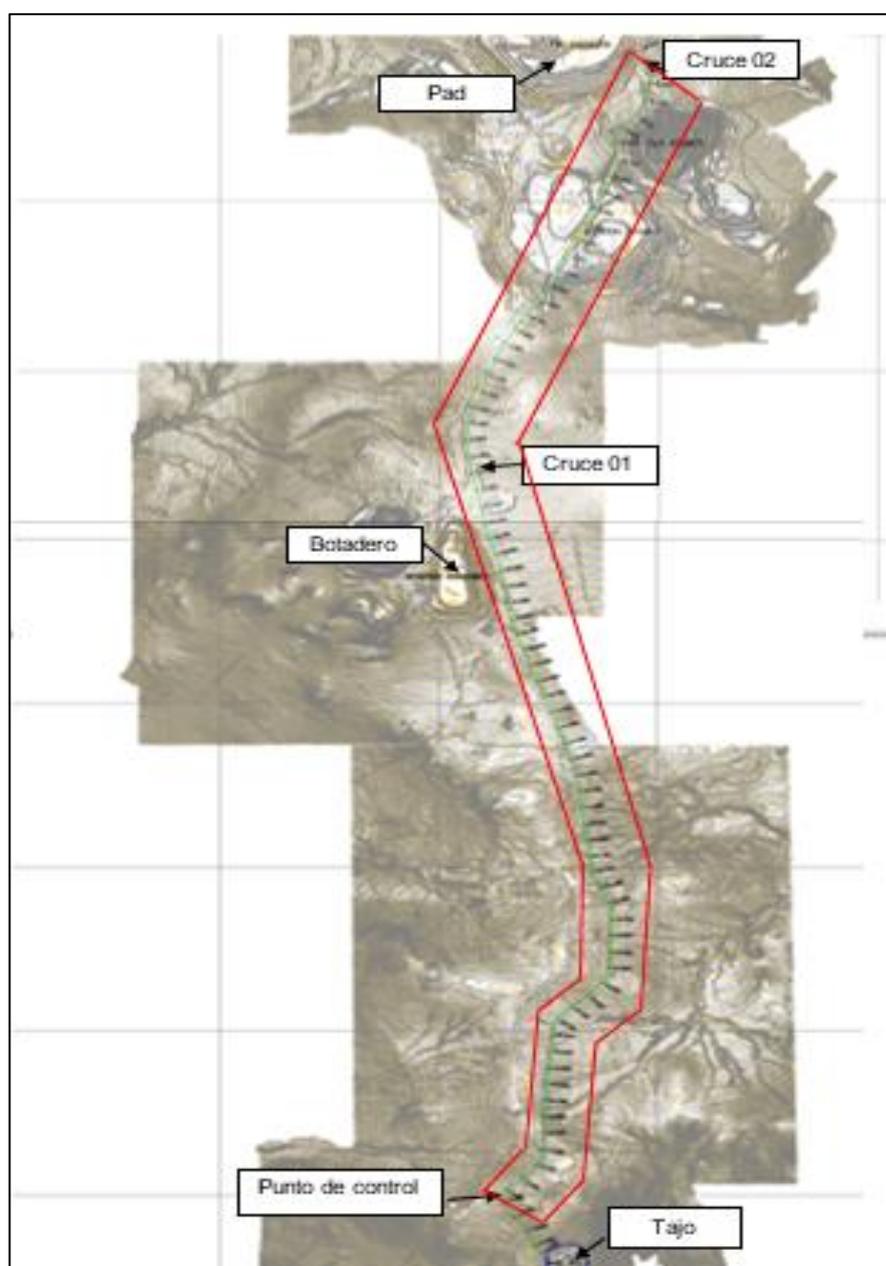


Figura 22: Tramo de la vía de acarreo al que se aplicará el aditivo H14.

Fuente: Elaboración propia

### **5.3.1. Estabilización de vías de acarreo con aditivo H14**

El aditivo H14 está compuesto de una emulsión asfáltica con sales y surfactantes el cual es muy utilizado para la estabilización de vías no pavimentadas en vías mineras con el fin de mantener las condiciones de las vías y mitigar la polución. El aditivo H14 tiene las siguientes características:

- Es deliquescente; es decir, tiene la capacidad de absorber la humedad del aire y disolverse en dicha humedad para formar una solución líquida.
- La presión de vapor es menor a la del agua a cualquier temperatura y humedad relativa lo cual reduce la tasa de evaporación del agua.
- Es aplicable en suelos plásticos y no plásticos.
- Mantiene las condiciones de la superficie de la vía evitando daños por el tránsito de equipos y/o vehículos.

### **5.3.2. Proceso de aplicación del aditivo H14**

#### **5.3.2.1. Antes de la aplicación**

Se realizó un recorrido con el supervisor de la empresa encargada en la aplicación del aditivo donde se identificó el tramo a aplicar y se recomendó realizar un mantenimiento de vías (escarificado, reemplazo de material adecuado en los tramos que se requiera, nivelación, retiro de material sobredimensionado en la vía, regado de vías y compactación de la misma) antes de realizar la aplicación.

Por lo cual se elaboró y ejecutó un plan de mantenimiento de vías con el fin de aplicar el aditivo sobre una vía cuyas condiciones sean óptimas.

Tabla 11: Plan de ejecución para la aplicación del aditivo H14 en la vía minera.

Tipo de dosis	Área (m <sup>2</sup> )	Avance estimado (m <sup>2</sup> /día)	Tiempo de ejecución (días)
Dosis de impacto	127,500	12,000	11
Dosis de conservación	127,500	40,000	3

Fuente: Informe de aplicación de aditivo H14 en la Unidad Minera Apumayo – Empresa Liplata

Los equipos auxiliares que se utilizaron para los trabajos de mantenimiento de vías fueron la motoniveladora, rodillo y cisterna de agua.



Figura 23: Cisterna de agua no potable realizando el riego de la vía minera antes de aplicar el aditivo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 24: Motoniveladora 140K realizando mantenimiento de vías en la vía minera antes de la aplicación del aditivo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 25: Rodillo 20 TN realizando la compactación de la vía minera antes de la aplicación del aditivo.

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2.2. Durante la aplicación

Luego de realizar el mantenimiento de vías solicitado por la supervisión de la empresa encargada de aplicar el aditivo en la vía, se procedió a aplicar el aditivo en la hora de refrigerio.

Al ser la vía minera una vía con un ancho de 15 m de ancho, se procedió en aplicar el aditivo por carril.

La cisterna que aplicará el aditivo H14 tiene una capacidad de 5000 gal. Inició la aplicación desde el ingreso al Pad de Lixiviación hacia el punto de ingreso al Tajo para luego retornar y culminar con la aplicación en ambos carriles de la vía.



Figura 26: Cisterna aplicando por primera vez el aditivo en la vía minera.

Fuente: Elaboración propia



Figura 27: Cisterna aplicando el aditivo una segunda vez para reforzar la primera aplicación.

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2.3. Después de la aplicación

Antes de reiniciar operaciones, se esperó 04 horas con el fin de dar un tiempo a que el aditivo impregne de manera correcta y evitar daños con el tránsito de los equipos y/o vehículos livianos.

Pasada las cuatro horas, los volquetes que trasladaban tanto mineral como desmonte tuvieron el visto de transitar sobre la vía con aditivo. Se disminuyó un 20% la velocidad de cargados y vacíos con el fin de compactar el tramo con aditivo.



Figura 28: Vía minera con el aditivo aplicado.

Fuente: Elaboración propia

#### **5.4. Consideraciones luego de la aplicación del aditivo**

Luego de la aplicación del aditivo mencionaron tener las siguientes consideraciones:

- No realizar riego de vías sobre el tramo donde se ha aplicado el aditivo.
- Evitar que transiten equipos de orugas por la vía donde se aplicó el aditivo.
- Evitar realizar mantenimiento de vías con cualquier equipo auxiliar que afecte el estado de la vía.
- La empresa enviará un encargado cada mes y medio para inspeccionar el comportamiento del tramo de la vía minera donde se ha aplicado el aditivo.
- En caso se requiera reforzar un tramo debido a la poca adherencia del aditivo en la vía, la empresa especializada asumirá el refuerzo bajo su propio costo.

### 5.5. Duración y rendimiento de la aplicación del aditivo

La aplicación del aditivo H14 tiene una duración de siete meses, desde el mes de abril hasta el mes de noviembre, meses donde no hay presencia de lluvias.

### 5.6. Costo de aplicación del aditivo

El costo de aplicación del aditivo es de \$132,750.00 lo cual incluye todo el proceso de logística, aplicación y el seguimiento post-aplicación por parte de la empresa encargada.

Tabla 12: Costo de aplicación del aditivo H14 en la U.M. Apumayo

Ancho de vía	15 m
Longitud al que se aplicará aditivo	7,500 m
Área de aplicación de aditivo	112,500 m <sup>2</sup>
P.U de aplicación del aditivo	1.18 \$/m <sup>2</sup>
Precio total de aplicación	\$ 132,750 .00

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO VI**

### **ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

#### **6.1. Beneficios del uso del aditivo H14 en las vías**

El uso del aditivo H14 en la vía minera permitió reducir el consumo de agua no potable para riego de vías ya que mantuvo las condiciones de las vías tal como se encontraban en el momento de aplicar el aditivo; además, gracias a sus propiedades y características, mantuvo humectado las vías por lo que la frecuencia de riego fue considerablemente menor.

Se analizaron dos escenarios: en el primer escenario la vía se encuentra sin aditivo y en el segundo escenario se tiene un tramo de la vía minera con aditivo. Como se mencionó anteriormente, solo aplicó aditivo a 7.5 Km de la vía minera. Se consideró la siguiente información:

Tabla 13: Capacidad de volquete y densidad de material

Consideraciones por volquete		
Capacidad Volq.	22	m <sup>3</sup>
Densidad Mineral	1.8	tn/m <sup>3</sup>
Densidad Desmante	1.4	tn/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Plan de distancias de mineral y desmante por mes

MES	Distancia Mineral (Km)	Distancia Desmante (Km)
ENE	10.2	6.4
FEB	10.3	6.5
MAR	10.5	6.7
ABR	10.7	6.9
MAY	10.3	6.4
JUN	10.4	6.5

JUL	10.5	6.5
AGO	10.6	6.6
SEP	10.8	6.8
OCT	11.0	7.0
NOV	11.3	7.2
DIC	11.4	7.2

Fuente: Plan de minado U.M. Apumayo

## 6.2. Situación antes de la aplicación del aditivo H14

Inicialmente en la operación minera, se tenían dimensionadas las siguientes cisternas de agua no potable

Tabla 15: Modelo, capacidad y tarifas de cisternas de agua no potables en la operación.

Descripción	Cisterna 1	Cisterna 2	Cisterna 3
Modelo	Mercedes Benz	Volvo	Volvo
Capacidad (gln)	7000	6000	6000
Tarifa (\$/mes)	10,590.00	8,430.00	8,430.00

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.1. Frecuencia de riego

Tabla 16: Frecuencia de riego en época de estiaje de la vía de acarreo sin aditivo H14

Cisterna	Capacidad (gal)	Frecuencia riego turno día	Frecuencia riego turno noche
CC.018	7000	6	2
CC.019	6000	2	0
CC.027	6000	6	0

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.2. Consumo de agua no potable por mes

A continuación, se muestra el consumo aproximado de agua no potable durante un año sin aplicar el aditivo H14 en la vía minera.

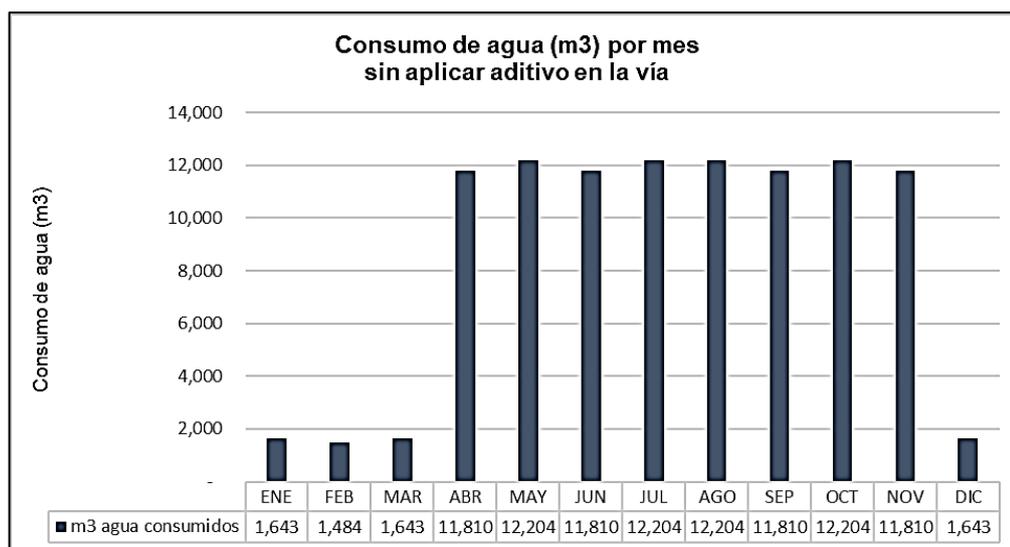


Figura 29: Consumo de agua m<sup>3</sup> sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.3. Cantidad de cisternas de agua no potable por mes

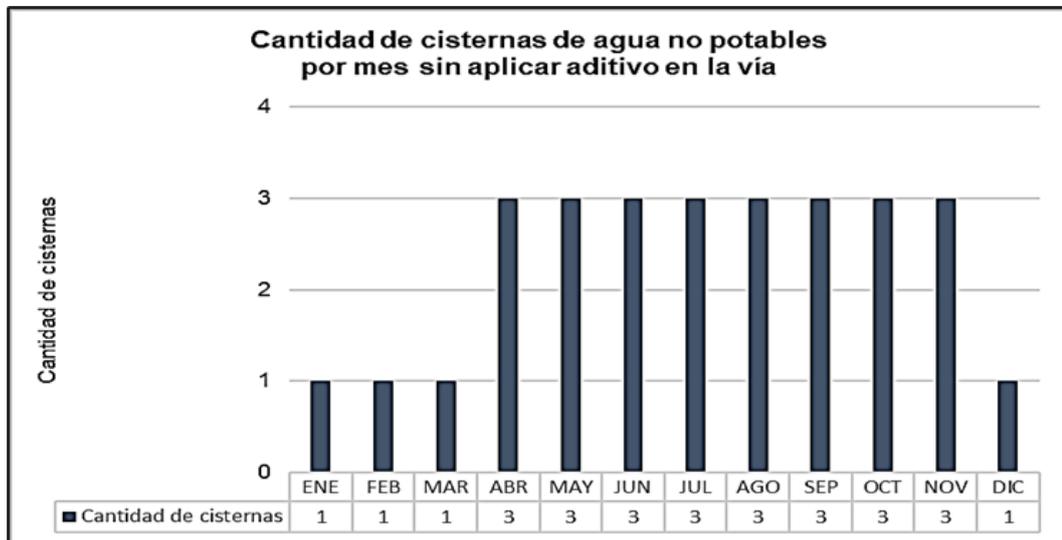


Figura 30: Cantidad de cisternas de agua no potable por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.4. Cantidad de viajes promedio por mes

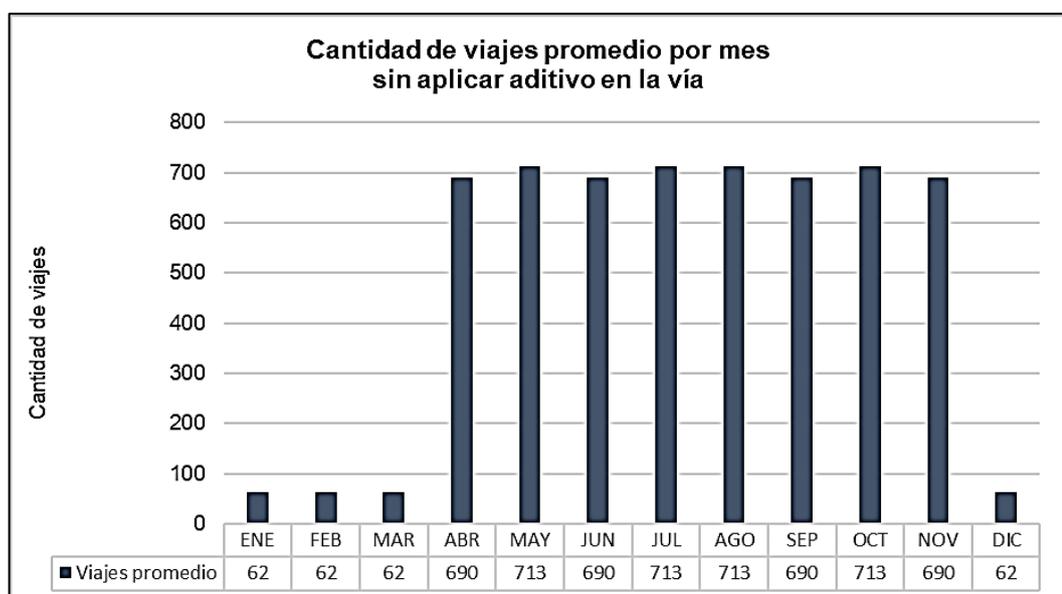


Figura 31: Cantidad de viajes promedio de las cisternas de agua no potables sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.5. Costo de alquiler de cisternas de agua no potable por mes

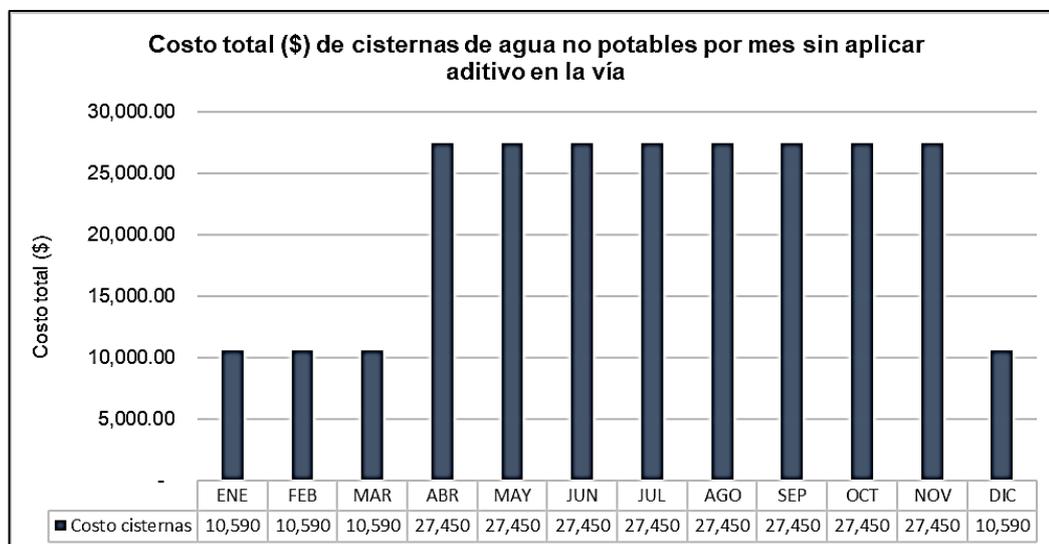


Figura 32: Costo total por alquiler de cisternas de agua no potables por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.6. Ciclos y distancias de acarreo de mineral

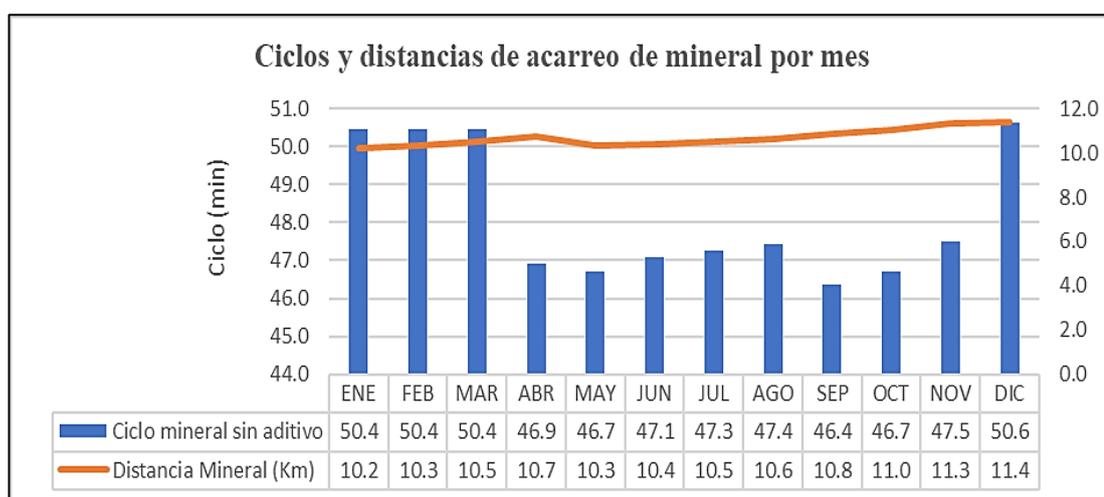


Figura 33: Ciclos y distancias de acarreo de mineral por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.7. Rendimientos y distancias de acarreo de mineral

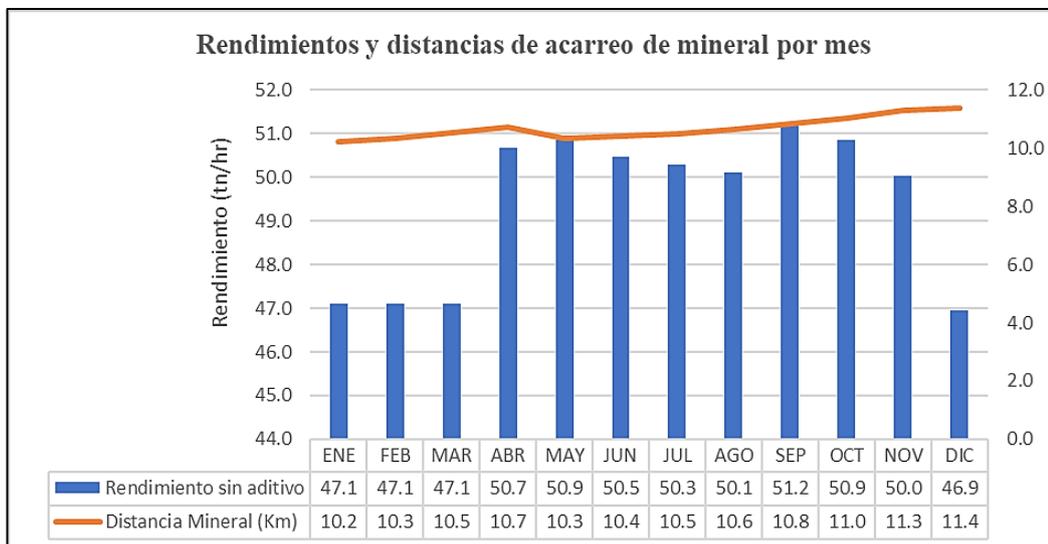


Figura 34: Rendimientos y distancias de acarreo de mineral por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.8. Ciclos y distancias de acarreo de desmante

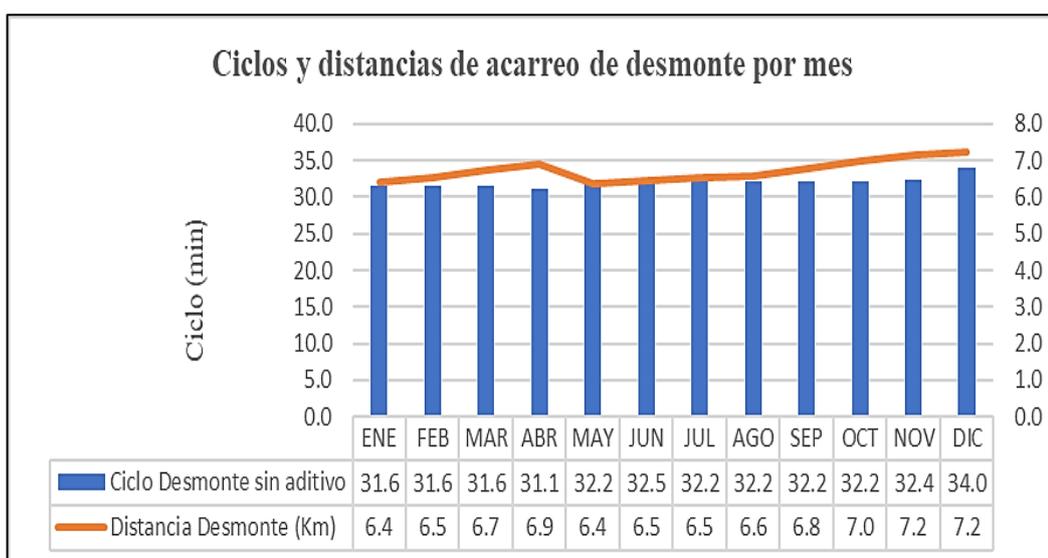


Figura 35: Ciclos y distancias de acarreo de desmante por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.9. Rendimientos y distancias de acarreo de desmonte

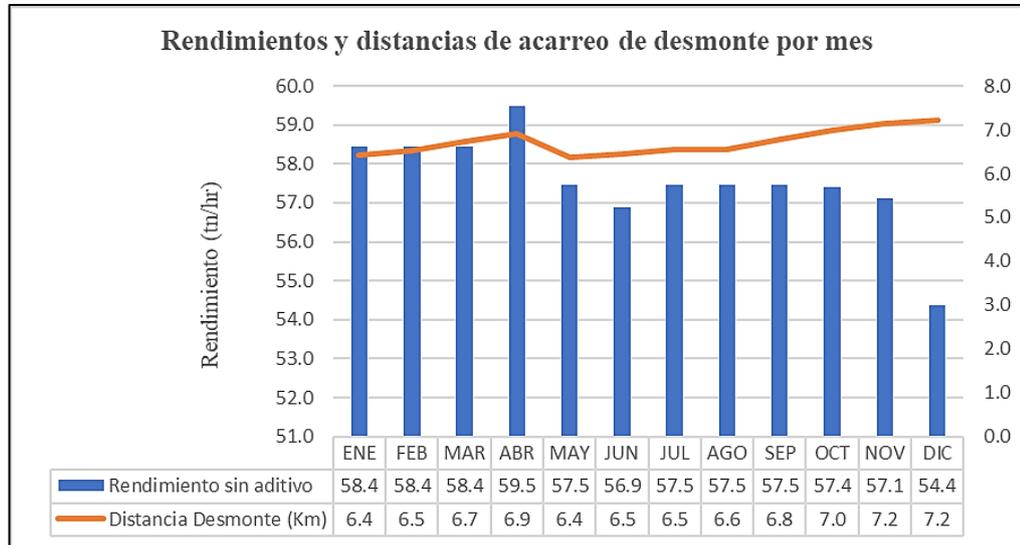


Figura 36: Rendimientos y distancias de acarreo de desmonte por mes sin aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.10. Costo total de mantenimiento de vías

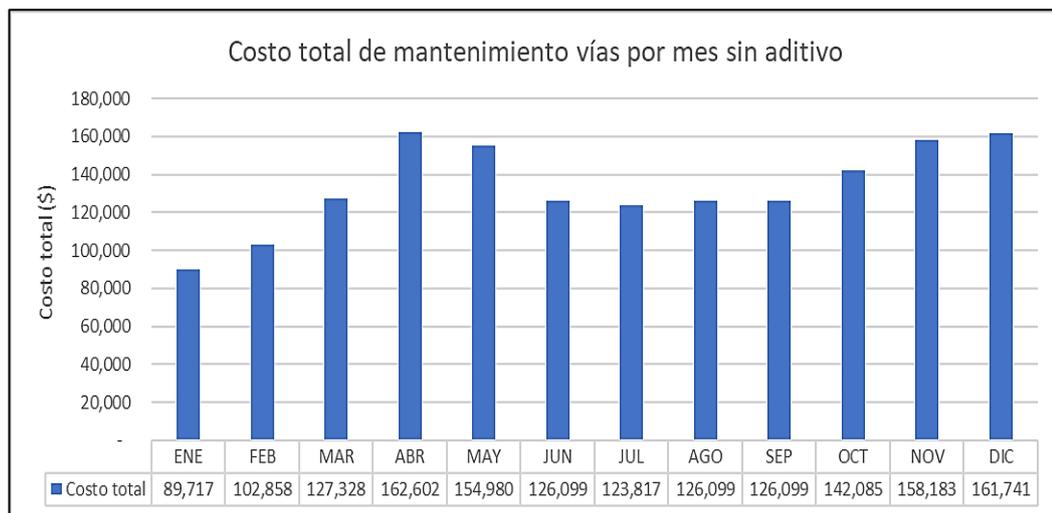


Figura 37: Costo total de mantenimiento de vías por mes sin aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.11. Costo unitario de mantenimiento de vías

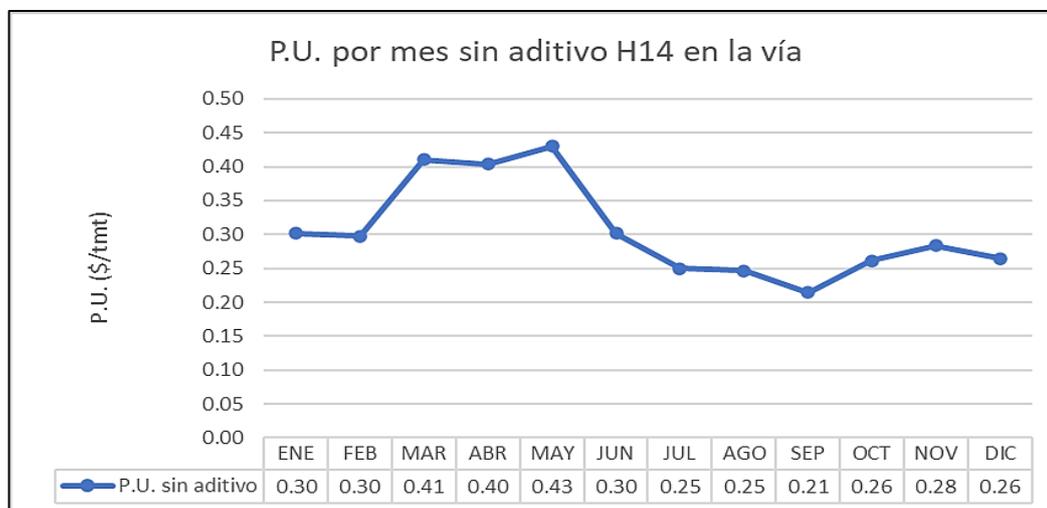


Figura 38: Costo unitario de mantenimiento de vías por mes sin aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3. Situación después de la aplicación del aditivo H14

El aditivo se aplicó a fines de mayo; por lo que, por fines prácticos de medición y análisis de datos se considerará desde el inicio del mes de junio hasta el mes de noviembre.

Tabla 17: Modelo, capacidad y tarifa de cisterna de agua no potables en la operación.

Descripción	Cisterna 1
Modelo	Mercedes Benz
Capacidad (gln)	7000
Tarifa (\$/mes)	10,590.00

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.1. Frecuencia de riego

Tabla 18: Frecuencia de riego en época de estiaje de la vía de acarreo con aditivo H14

Cisterna	Capacidad (gal)	Frecuencia riego turno día	Frecuencia riego turno noche
CC.018	7000	3	1

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2. Consumo de agua no potable por mes

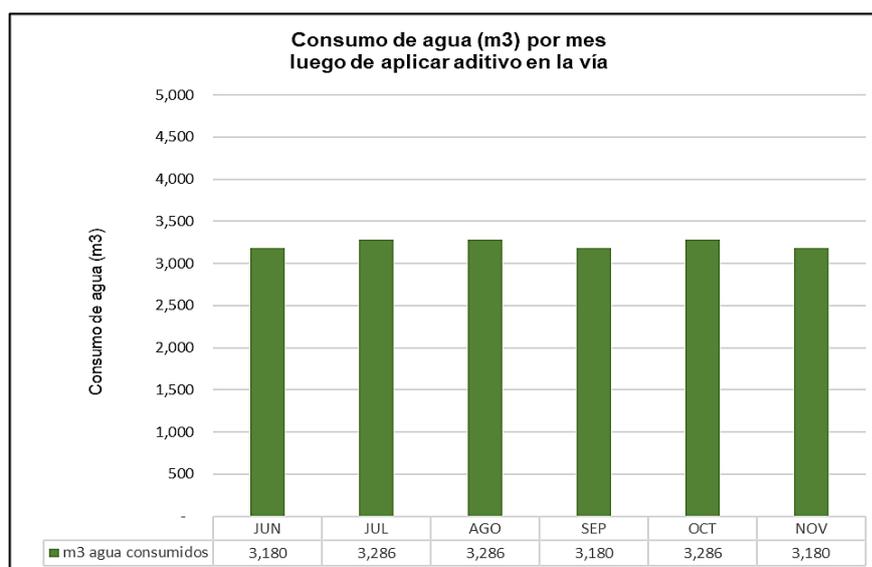


Figura 39: Consumo de agua no potable m<sup>3</sup> por mes luego de aplicar aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.3. Cantidad de cisternas de agua no potable por mes

La aplicación del aditivo H14 en la vía minera trajo como consecuencia la necesidad de una sola cisterna de agua no potable para el riego de vías por lo que optó por alquilar la cisterna de agua no potable de mayor capacidad.

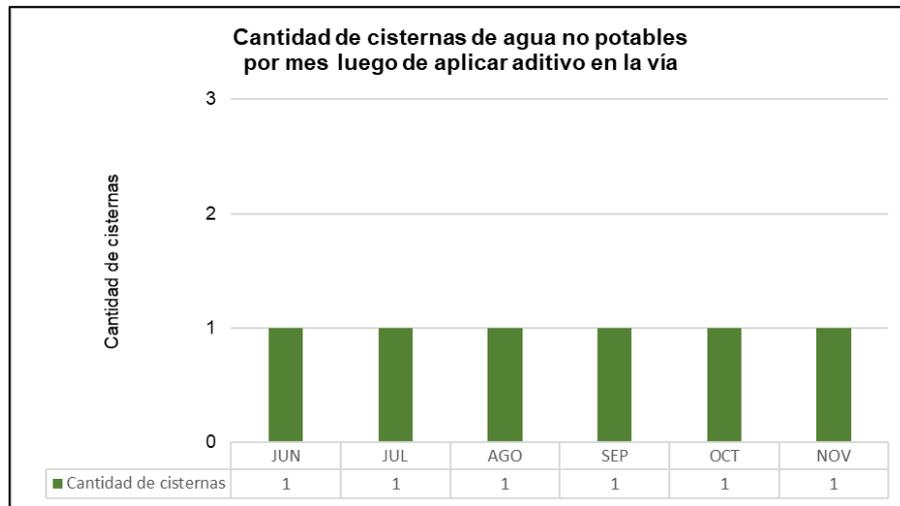


Figura 40: Cantidad de cisternas de agua no potable por mes con aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.4. Cantidad de viajes promedio por mes

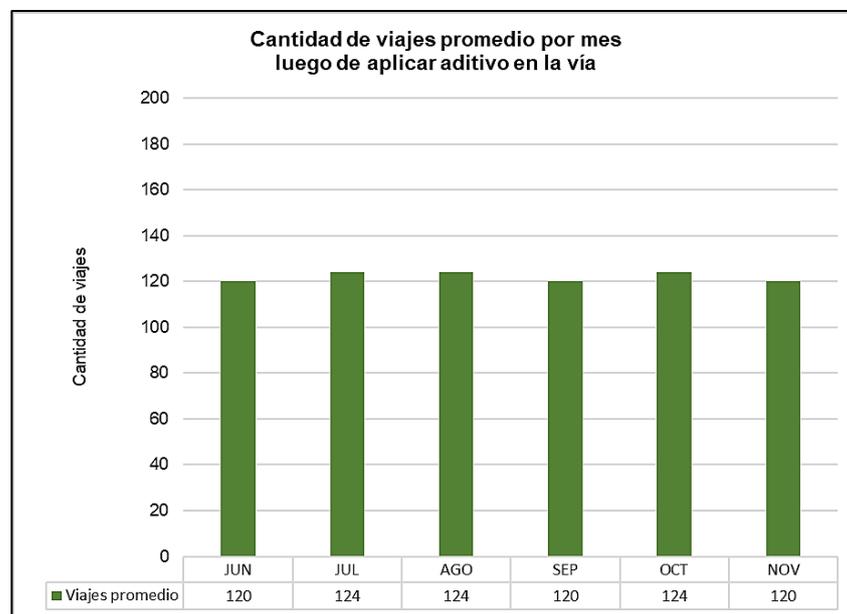


Figura 41: Cantidad de viajes en promedio de las cisternas de agua no potable por mes con aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.5. Costo de alquiler de cisternas de agua no potable por mes

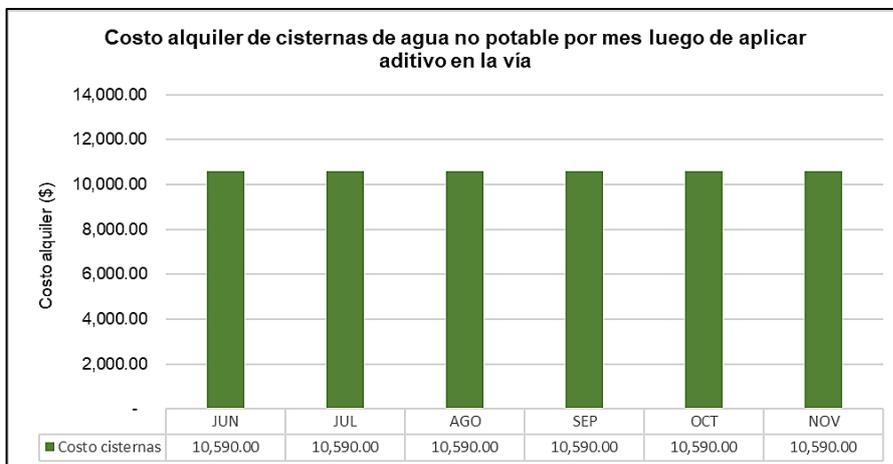


Figura 42: Costo de alquiler de cisternas de agua no potable por mes con aditivo en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.6. Ciclos y distancias de acarreo de mineral

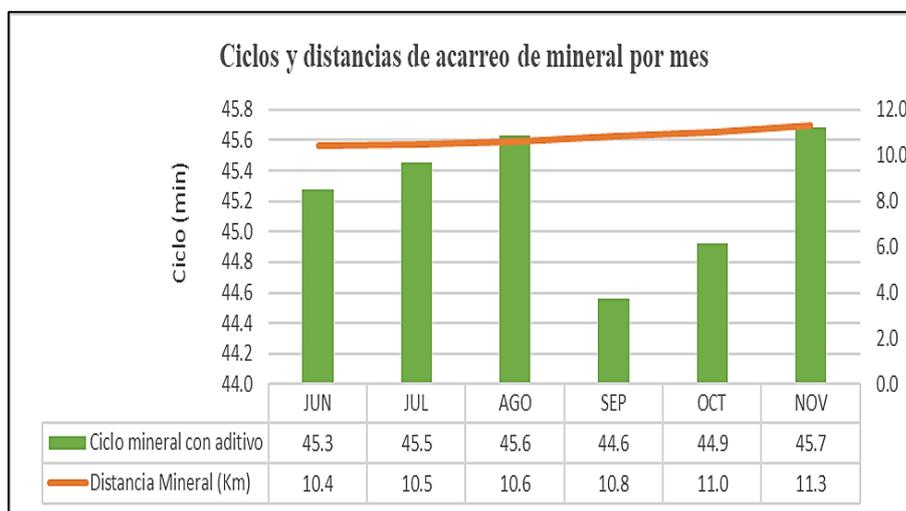


Figura 43: Ciclos y distancias de acarreo de mineral por mes con aditivo en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.7. Rendimientos y distancias de acarreo de mineral

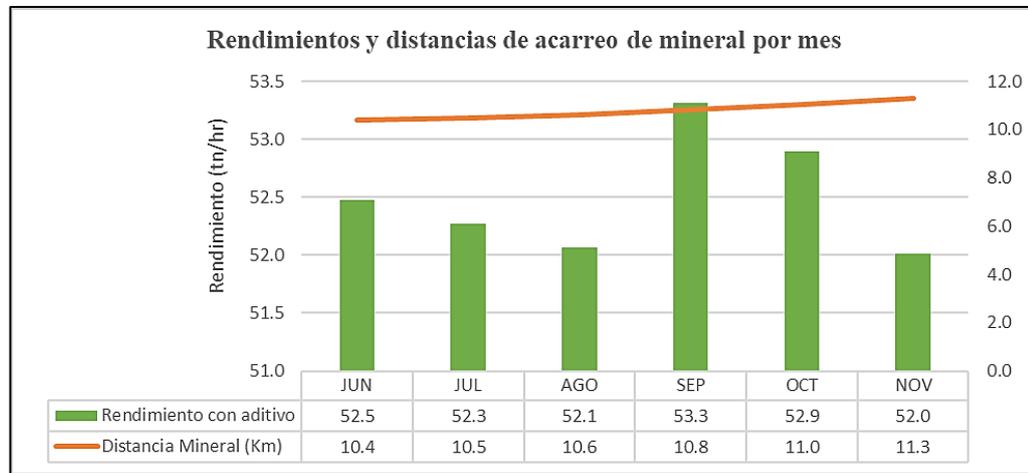


Figura 44: Rendimientos y distancias de acarreo de mineral por mes con aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.8. Ciclos y distancias de acarreo de desmante

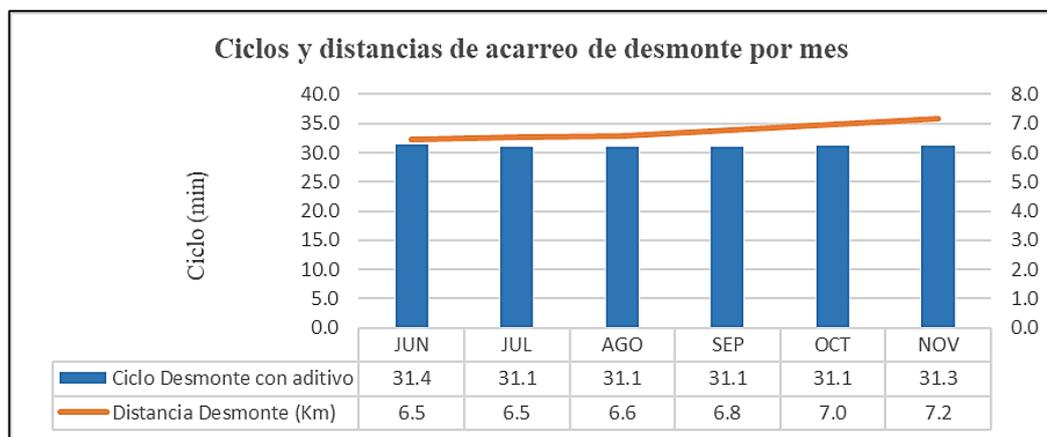


Figura 45: Ciclos y distancias de acarreo de desmante por mes con aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.9. Rendimientos y distancias de acarreo de desmorte

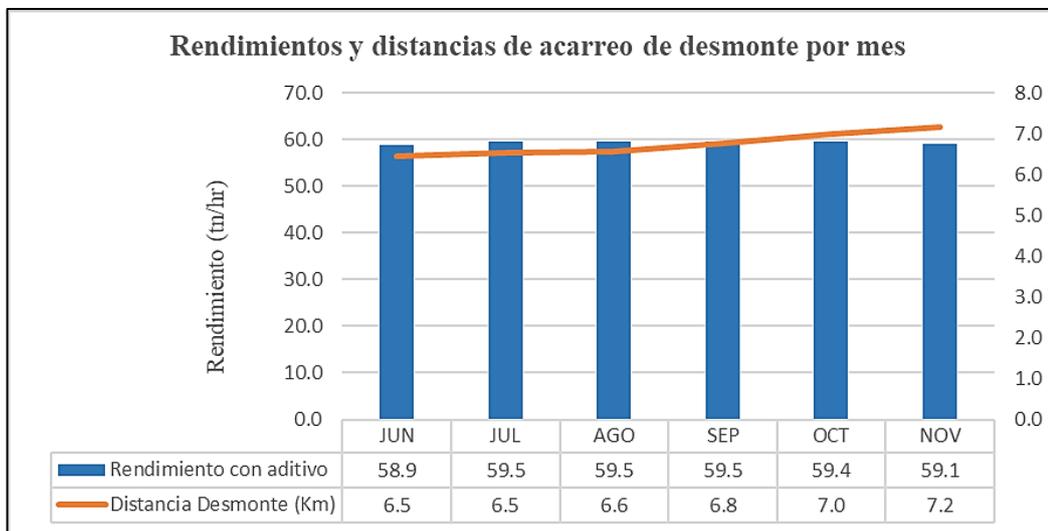


Figura 46: Rendimientos y distancias de acarreo de desmorte por mes con aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.10. Costo total de mantenimiento de vías

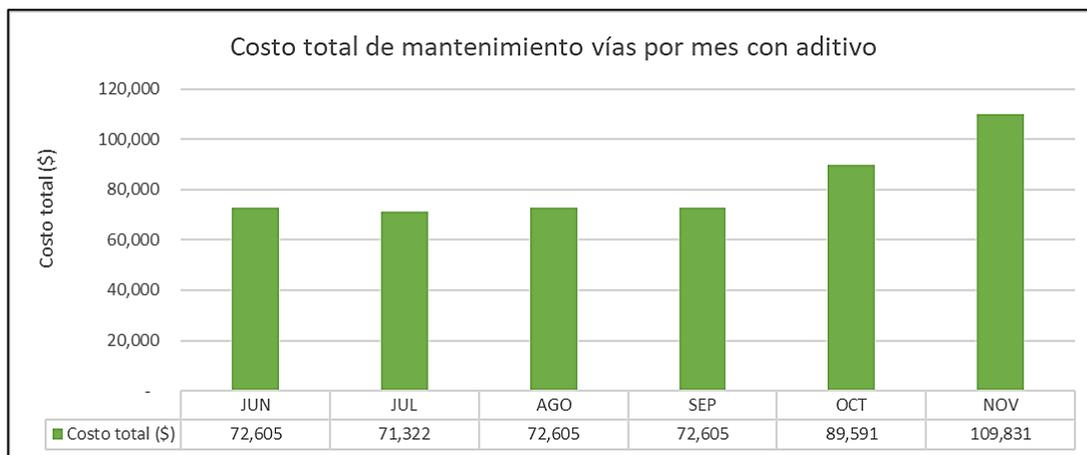


Figura 47: Costo total de mantenimiento de vías por mes con aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3.11. Costo unitario de mantenimiento de vías

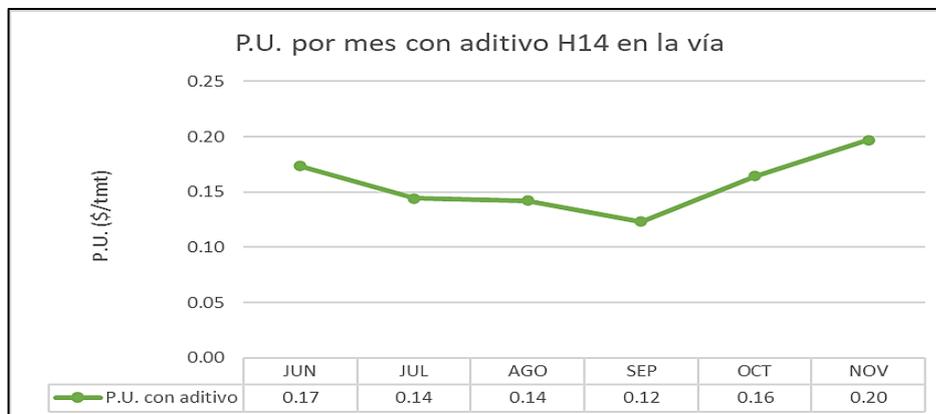


Figura 48: Costo unitario de mantenimiento de vías por mes con aditivo H14 en la vía.

Fuente: Elaboración propia

## 6.4. Comparación de resultados

El seguimiento, control y análisis de los resultados obtenidos luego de la aplicación del aditivo se realizó hasta fines de noviembre. Para la presente investigación, los valores del mes de enero hasta mayo y diciembre se consideraron los mismos en ambos escenarios para realizar un balance anual.

### 6.4.1. Consumo de m<sup>3</sup> de agua no potable para riego de vías por mes

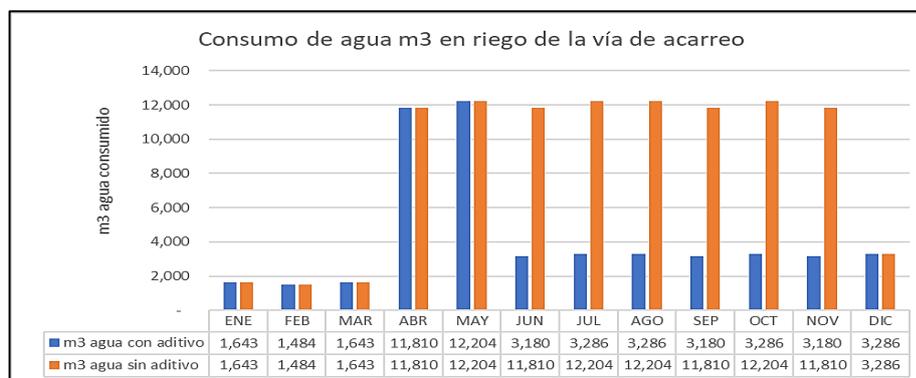


Figura 49: Comparativo de consumo m<sup>3</sup> de agua no potable por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.2. Comparativo de rendimientos de acarreo de mineral

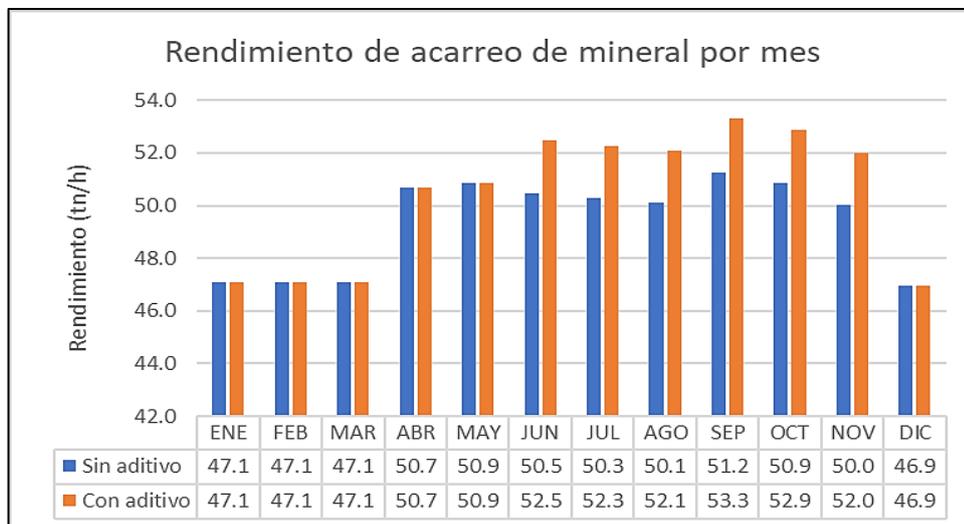


Figura 50: Comparativo de rendimientos de acarreo de mineral por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14

Fuente: Elaboración propia

### 6.4.3. Comparativo de rendimientos de acarreo de desmante

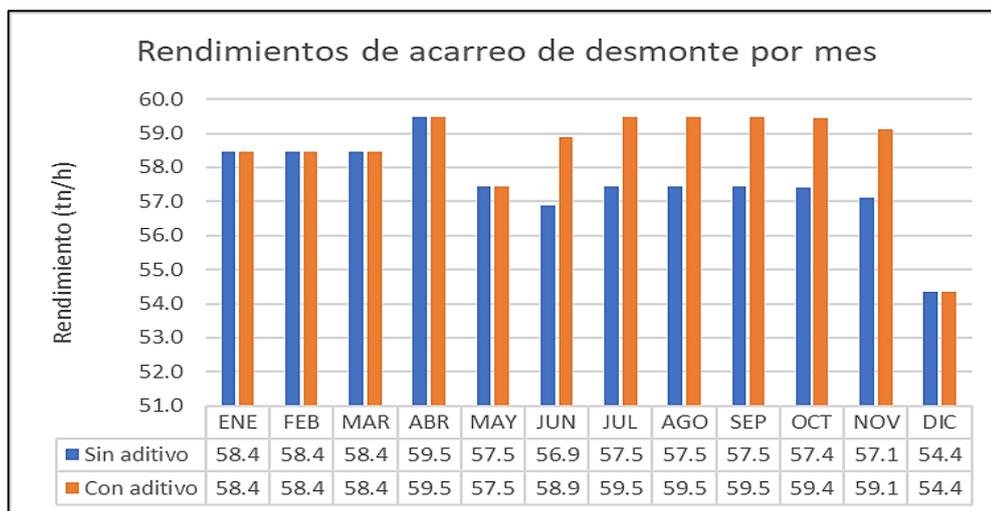


Figura 51: Comparativo de rendimientos de acarreo de desmante por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.4. Comparativo de costo unitario de acarreo de mineral

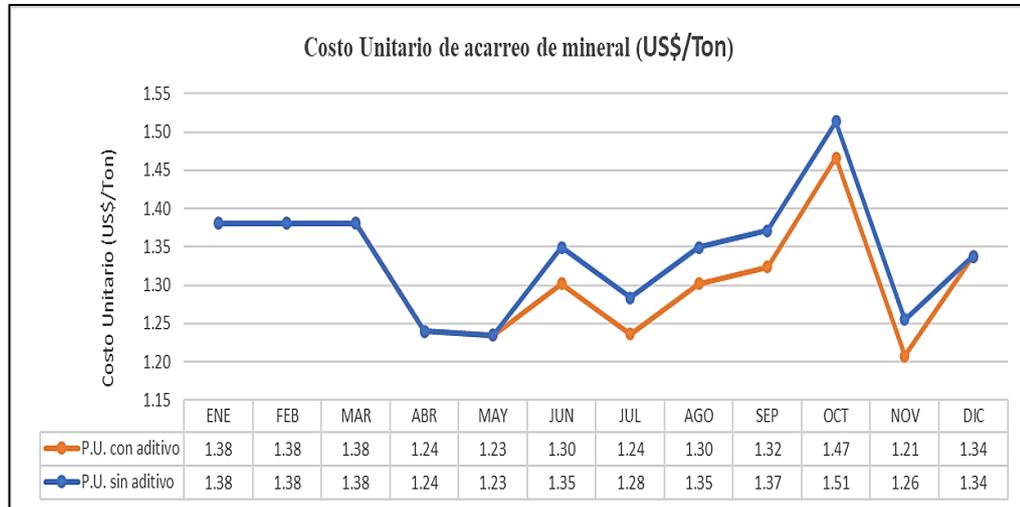


Figura 52: Comparativo de costo unitario de acarreo de mineral por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.5. Comparativo de costo unitario de acarreo de desmonte

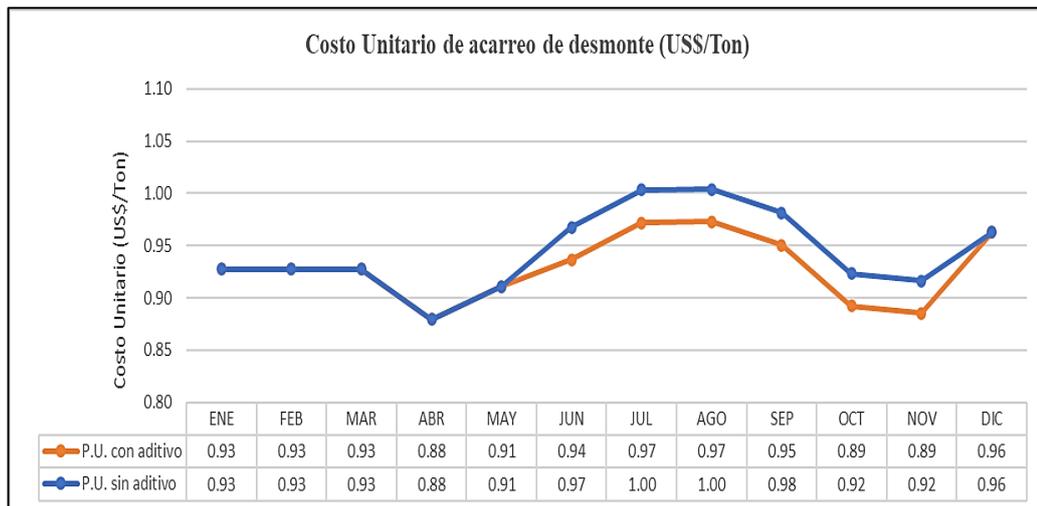


Figura 53: Comparativo de costo unitario de acarreo de desmonte por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.6. Comparativo de costo total de mantenimiento de vía

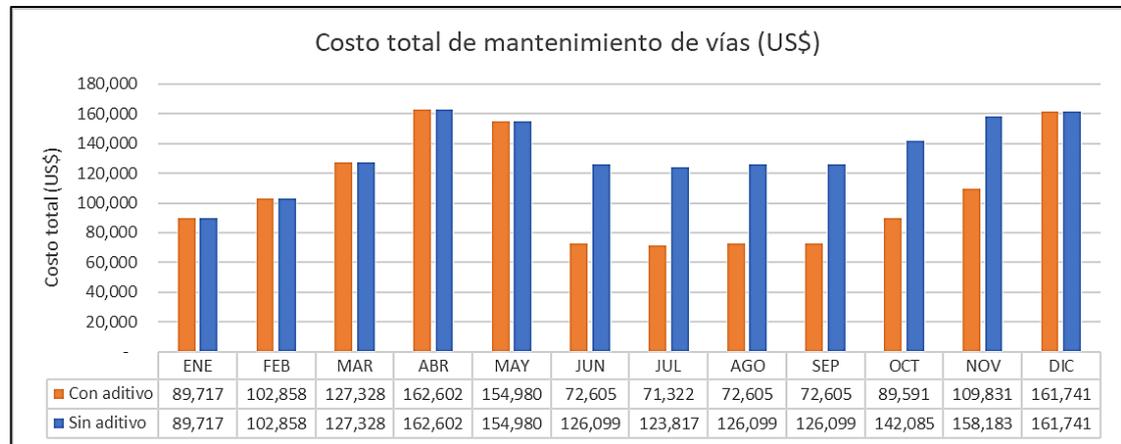


Figura 54: Comparativo de costo total de mantenimiento de vías por mes sin aditivo H14 – con aditivo H14

Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.7. Costo unitario de mantenimiento de vías por mes

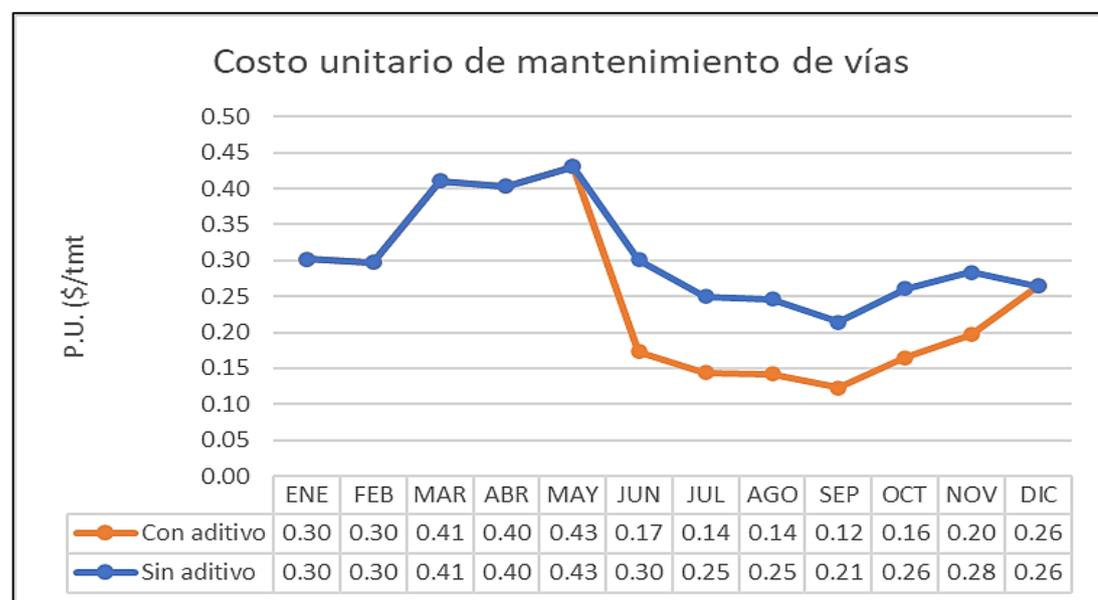


Figura 55: Comparativo de costo unitario de mantenimiento de vías por mes sin aditivo – con aditivo.

Fuente: Elaboración propia

### 6.5. Cuadro de resumen

Tabla 19: Cuadro de resumen con los valores antes de usar aditivo y luego de aplicar el aditivo H14 durante el año

Descripción	Vía sin aditivo H14	Vía con aditivo H14	Variación
Consumo de agua (m <sup>3</sup> /año)	102,471	51,466	-51,005
Ciclo acarreo de mineral (min)	48	46.9	-2.3%
Ciclo acarreo de desmonte (min)	31.9	31.35	-1.7%
Rendimiento acarreo de mineral (Ton/h)	42.1	43.8	4.0%
Rendimiento acarreo de desmonte (Ton/h)	57.3	59.3	3.5%
Costo total de acarreo mineral (US\$)	7,302,125	7,153,851	-148,274
Costo total de acarreo de desmonte (US\$)	12,284,463	12,073,893	-210,570
P.U. acarreo mineral (US\$/Ton)	1.34	1.31	-2.2%
P.U. acarreo desmonte (US\$/Ton)	0.95	0.93	-2.1%
Costo alquiler cisterna de agua (US\$)	417,368	248,598	-168,769
Costo total mantenimiento de vías (US\$)	1,601,607	1,287,784	-313,824
P.U mantenimiento de vías (US\$/tn)	0.29	0.24	-19.5%

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- La aplicación del aditivo H14 en el tramo de la vía minera progresiva 0+000 hasta la progresiva 7+500 permitió reducir entre los meses de junio a noviembre el consumo de agua no potable en la actividad de riego de vías en 51,005 m<sup>3</sup>; evitando así, tener problemas de escasez con dicho recurso en la operación durante la época de estiaje.
- La cantidad de cisternas de agua no potable entre los meses de junio y noviembre se redujo a una sola cisterna, lo cual permitió tener un ahorro en alquiler de cisternas de agua no potable de US\$ 168,769.
- Se tuvo un ahorro en el costo total de mantenimiento de vías de US\$ 313,824 entre los meses de junio a noviembre. El costo unitario de mantenimiento de vías se redujo de 0.29 US\$/Ton a un costo unitario de 0.24 US\$/Ton, equivalente a una variación de -19.5 %.
- La vía minera se mantuvo en buenas condiciones por lo que no se tuvo equipos realizando mantenimiento del mismo, evitando así tener demoras en el ciclo de acarreo de los volquetes de mineral y desmonte. Se tuvo una reducción en los ciclos de acarreo en promedio de 3.8% en mineral y un 3.4% en desmonte; en consecuencia, incrementaron los rendimientos de acarreo de mineral en 4.0% y el desmonte en 3.5%.
- Con la mejora de los rendimientos de acarreo se redujo el costo total de acarreo US\$ 148,274 en mineral y US\$ 210,570 en desmonte entre los meses de junio a noviembre. El costo unitario de acarreo de mineral se redujo de 1.34 US\$/Ton a 1.31 US\$/Ton teniéndose una variación de -2.2% y el costo unitario de

acarreo de desmonte se redujo de 0.95 US\$/Ton a 0.93 US\$/Ton teniéndose una variación de -2.1%.

- Se tuvo un costo de aplicación de US\$ 132,750 y un ahorro total de US\$ 672,668, considerando lo ahorrado en el proceso de acarreo y mantenimiento de vías; por lo que se concluye, que es beneficioso dicha inversión.
- Se redujo la polución en la vía minera el cual evitó reducir las velocidades de los equipos de acarreo y tener conflictos con habitantes de las zonas aledañas a la operación minera, conflictos que se habían tenido anteriormente por la generación de polvo.
- La falta de equipos auxiliares encargadas al mantenimiento de la vía de acarreo, evita tener como peligro equipos en movimiento en la vía de acarreo, por lo que la operación se vuelve más segura al eliminar dichas condiciones.

## RECOMENDACIONES

- La aplicación del aditivo H14 se debe realizar en época seca ya que la presencia de lluvias en la operación tendría como consecuencia que se pierda el aditivo aplicado en la vía minera.
- Realizar un análisis de la carpeta de rodadura de la vía donde se desea aplicar el aditivo permitirá realizar una adecuada dosificación y evitar que se utilice poco o demasiado aditivo donde no se requiera.
- Antes de realizar la aplicación del aditivo H14 en la vía minera, es muy importante realizar un buen mantenimiento de la vía con equipos auxiliares como motoniveladora y rodillo, e incluso reemplazar el material en los tramos que sean necesarios para evitar que se encalaminen o se formen badenes tiempo después de haber aplicado el aditivo. Además, es importante humectar la vía antes de la aplicación.
- En caso el proveedor indique la posibilidad de regar tramos de la vía minera que tenga aditivo, se debe realizar la difusión a los operadores de cisternas de agua no potable que realicen un riego controlado, evitando saturar la vía con agua.
- Aunque el aditivo permita trabajar rápidamente una vez aplicado, es importante restringir el tránsito de equipos ni de vehículos para no perder aditivo por el paso de dichos equipos y/o vehículos.
- Evitar el tránsito de equipos de orugas por la vía tratada con el aditivo H14.

## BIBLIOGRAFÍA

- Morales Morales, S. J. (2020). Reducción del consumo de agua en el mantenimiento de vías y mitigación de polvo, mediante la aplicación de Bischofita y el aditivo H14 en mina Cuajone. Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Perú.
- Hinojosa Arenaza, C. C. (2020). Control de material particulado generado en el proceso de transporte de mineral mediante la red de monitoreo Rocky en Mina Justa Empresa Minera MARCOBRESAC [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología, Geofísica y Minas].
- Astudillo Prado, M. & Gallardo Alvarado, F. (2019). Propuesta de supresión de polvo optimizando el recurso hídrico en proyecto Rajo Dulcinea del 1-4, comuna de Petorca. Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar – José Miguel Carrera, Chile.
- Comisión Chilena del Cobre. (2019). Consumo de agua en la minería del cobre al 2019. Ministerio de Minería: Dirección de estudios y políticas públicas.
- Ulate Castillo, A. & Vargas Sobrado, C. (2018). Control de polvo en caminos no pavimentados. Boletín técnico: Pitra-LanammeUCR, Costa Rica.

- Duran Paiva, M. & Peña San Martín, D. (2018). Métodos de supresión de polvo para evitar el gasto excesivo del recurso hídrico en minería. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
- Guivar Pereda, P. M., & Zelada Alaya, R. (2018). Estudio comparativo de supresores de polvo Dasaut, DL10 Plus y Knockout Dustply para la mitigación de material particulado en vías Yanacocha 2018. Universidad Nacional Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Perú.
- Campos Dinamarca, G. y Espinosa Orellana, E. (2016). Análisis comparativo de la eficiencia de supresores de polvo mediante el uso del equipo Dustmate y el efecto económico para la conservación rutinaria y periódica de carpetas granulares. Chile: Maule.
- De Piérola C., J. N. (2017). El agua y su uso en Minería y Agricultura en el Perú.
- Araneda Gallardo, F. A. (2016). Análisis crítico sobre la emisión de polvo en minería: Caminos mineros y propuesta de una estrategia de supresión. Tesis de maestría. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Chile.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2015). Avances de la minería peruana en el uso del agua.
- Cavada Vera, D. I. (2015). Evaluación económica del control de polución y reconstrucción de carpeta de rodado en camino industrial Los Bronces con supresor de polvo. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Gutiérrez Montes, C. A. (2010). Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio. Tesis de grado. Universidad Ricardo Palma, Perú.