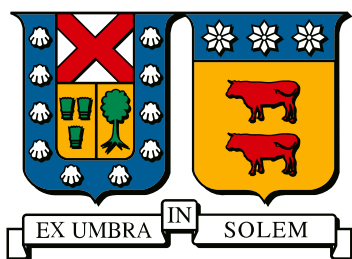


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
METALÚRGICA Y DE MATERIALES

SANTIAGO - CHILE



**“EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA Y PROPUESTA
DE MEJORA EN LA APLICACIÓN DEL SUPRESOR
DE POLVO WATERSOL MPOL 515 EN LAS FRENTES
DE CARGUÍO PARA MITIGAR LA POLUCIÓN EN
LA OPERACIÓN DE MINERA ANTUCOYA”**

Presentado por:

ALEJANDRA CAROLINA FOURNIER MUÑOZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL DE MINAS

Profesor Guía

ING. VICTOR ENCINA MONTENEGRO

Profesores CO-Guía

DRA. FRANCISCA SAN MARTÍN ROBBIANO

ING. CARLOS ÁNGEL ÁNGEL

ING. EXEQUIEL MENDOZA ARAYA

SANTIAGO, DICIEMBRE 2023

Agradecimientos

En primera instancia, quiero agradecer a mi familia por su inmensa labor en lo que respecta a mi formación, quienes desde el amor me brindaron siempre el apoyo y el soporte para lograr cada sueño que tenía en mente.

A mi pololo, a quien tuve la fortuna de conocer desarrollando mis labores como ayudante, una personita esencial para cerrar esta maravillosa etapa universitaria, quien estuvo siempre ahí para acompañarme y apoyarme con sus palabras cargadas de amor y energía.

A mi gran compañero Oscar Navia, con quien tuve la suerte de trabajar gran parte de la carrera, desvelándonos noches enteras para entregar siempre lo mejor de nosotros en los quehaceres universitarios.

A Minera Antucoya, por darme la oportunidad de realizar mi memoria en sus instalaciones, quienes creyeron en mí y me tendieron la mano al ofrecerme esta increíble oportunidad, entregándome la experiencia que, sin duda, perdurará y aportará en todo mi crecimiento profesional. Hago especial mención a Ricardo Pujado, quien me ofreció siempre su incondicional ayuda con una disposición inigualable; lo mismo para Javiera Alfaro y Benedicto Letelier del área de Metalurgia. Quisiera también agradecer a todo el personal de terreno, quienes realizan sus labores con unas ganas y compromiso excepcional, unas personas colmadas de sabiduría que estuvieron siempre dispuestos a enseñarme.

A los profesores de la universidad, por ser parte de mi formación académica, por recibirme siempre cordialmente en cada una de sus oficinas; destacando a Víctor Encina, profesor guía en este estudio, a quien admiré desde el día uno por su calidad humana y su vasto conocimiento en la industria minera.

Finalmente, a todos los que estuvieron conmigo en esta etapa universitaria y creyeron en mí. Sin dudas este año estuvo lleno de aprendizaje, experiencias y rodeada de gente hermosa y, gracias a ello, hoy puedo decir orgullosamente que me he convertido en Ingeniera Civil de Minas.

Resumen

Antucoya es una mina de cobre a cielo abierto que opera mediante el proceso de hidrometalurgia. Este yacimiento, del tipo pórfido de baja ley, actualmente cuenta con una producción promedio anual de 85.000 toneladas de cobre fino y una vida útil de 20 años.

Desde que comenzó su operación, se ha visto amenazada por una condición de polvo abrumadora debido a factores geológicos, geográficos y climáticos que comprometen directamente la salud y seguridad de los trabajadores, y la producción por la escasa visibilidad. Esta condición, sumada a los compromisos que posee el Grupo Minero, ha llevado a Antucoya a proponer una carta de iniciativas para combatir la polución.

A fines del 2022, se comenzó a posicionar fuertemente el supresor de polvo Watersol MPOL 515, un humectante para las frentes de carguío que en fase de prueba mostró excelentes resultados. Con el transcurso del tiempo, el producto se instaló firmemente en la operación de Antucoya, pero el beneficio no era observado pese a la aplicación diaria.

Es por lo anterior, que el objetivo de este trabajo se centra en revisar el actual funcionamiento del proyecto, a fin de plantear las deficiencias halladas y proponer mejoras, para mostrar los beneficios de aplicar correctamente este producto. Para ello fue necesario realizar una prueba que fuera valorizada en términos cualitativos y cuantitativos.

Los resultados obtenidos a partir de esto mostraron un inmenso potencial: el material particulado disminuyó en un 87%, el tiempo de carguío de cada camión se redujo en 24 segundos y el retorno económico en términos de costos de operar equipos eléctricos fue de aproximadamente \$US 1.3 millones. Adicional a ello, se comprobó que la dosificación actual es idónea tanto para mineral como lastre, siempre que esto vaya de la mano con el uso correcto de la metodología.

La búsqueda de oportunidades de este proyecto hace especial énfasis en utilizar de la mejor forma posible los recursos que tiene la minera, pues el poseer bajas leyes lleva a Antucoya a trabajar siempre de la mano con la excelencia operacional, ya que día a día se enfrentan a los inmensos desafíos de la industria minera.

Abstract

Antucoya is an open pit copper mine that operates through the hydrometallurgy process. This deposit, of the low-grade porphyry type, currently has an average annual production of 85.000 tons of fine copper and a useful life of 20 years.

Since its operation began, it has been threatened by an overwhelming dust condition due to geological, geographical and climatic conditions that directly compromise the safety and security of workers, and production due to poor visibility. This condition, added to the commitments that the Mining Group has, has led Antucoya to propose a letter of initiatives to combat pollution.

At the end of 2022, the Watersol MPOL 515 dust suppressant began to be strongly positioned, a humectant for loading fronts, which showed excellent results in the testing phase. Over time, the product became firmly established in the Antucoya operation, but the benefit was not observed despite daily application.

It's for this reason that the objective of this work focuses on reviewing the current operation of the project, in order to raise the deficiencies found and propose improvements, to show the benefits of correctly applying this product. For this it was necessary to carry out a test that was valued in qualitative and quantitative terms.

The results obtained from this show immense potential: particulate matter decreases by 87% (Tapia, 2023), the loading time of each truck is reduced by 24 seconds and the economic return in terms of electrical equipment operation costs. was approximately \$US 1.3 million. In addition to this, it was proven that the current dosage is suitable for both mineral and ballast, as long as this goes hand in hand with the correct use of the methodology.

The search for opportunities in this project places special emphasis on using the resources that the mining company has in the best possible way, since having low grade leads Antucoya to always work hand in hand with operational excellence, since every day it faces to the immense challenges of the mining industry.

Glosario

Frentes de carguío: Zonas de la mina donde se posiciona el equipo de carguío y extrae material.

UGM: Las unidades geometalúrgicas corresponden a agrupaciones de uno o más dominios geológicos con un comportamiento metalúrgico unimodal, que puede ser modelada espacialmente (Adriazola, 2021).

Límite Permisible Ponderado (LPP): Valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos existente en los lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 45 horas semanales (Ministerio de Salud, 2000).

Cachimba: Sistema de llenado de los camiones aljibes donde usualmente cargan agua. Para efectos de este estudio, la cachimba también será utilizada como dispensador del químico estudiado.

Nube de extracción: Zonificación dada por Despacho que le corresponde extraer al equipo de carguío según sea su turno. Esto es visualizado mediante el software Jigsaw en la pantalla de cada operador.

Índice de contenidos

Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract.....	4
Glosario	5
Índice de contenidos	6
Índice de figuras	9
Índice de tablas	12
1. Introducción	15
1.1. Objetivos.....	16
1.1.1. Objetivo general	16
1.1.2. Objetivos específicos.....	16
1.2. Motivación	16
1.3. Antecedentes generales.....	18
1.3.1. Minera Antucoya	18
1.3.2. Localización.....	18
1.3.3. Proceso productivo	19
1.3.4. Mineralización del yacimiento	20
2. Marco teórico	25
2.1. Material particulado	25
2.1.1. Clasificación	26
2.1.2. Normativa chilena.....	27
2.1.3. Enfermedades asociadas	28
2.1.3.1. Neumoconiosis	28
2.1.4. Factores que influyen en su comportamiento	30
2.2. Polución en Minera Antucoya.....	30
2.2.1. Factores que afectan y contribuyen a esta condición	31
2.2.2. Actividades mineras que generan remoción del material particulado	36
2.2.2.1. Perforación y tronadura	37

2.2.2.2.	Carguío y transporte	38
2.2.2.3.	Planta de chancado	39
2.3.	Afectación a las comunidades aledañas	40
2.4.	Afectación en la operación.....	42
2.5.	Actual medición de material particulado	44
2.6.	Iniciativas por parte de la minera.....	46
2.6.1.	SmartRoad	47
2.6.2.	Bischofita.....	48
2.6.3.	Ventiladores Tow & Bow.....	48
2.6.4.	Riego automatizado	49
2.6.5.	Supresor de polvo Watersol MPOL 515	50
2.6.5.1.	Composición.....	50
2.6.5.2.	Mecanismo de acción	51
2.6.5.3.	Parámetros de aplicación.....	52
2.6.5.4.	Esquema de trabajo.....	52
2.6.5.5.	Resultados esperados.....	53
2.6.5.6.	Pruebas previas para determinar la dosificación ideal.....	53
3.	Metodología de trabajo.....	55
3.1.	Actual metodología.....	55
3.1.1.	Hallazgos	59
3.1.2.	Cuantificación del producto.....	64
3.2.	Propuesta de mejora en la metodología	66
3.2.1.	Oportunidades.....	71
3.2.2.	Cuantificación en los equipos de carguío	72
3.2.2.1.	Tiempos de carguío.....	72
3.2.2.2.	Mediciones de MP10	74
3.2.2.3.	Metodología y cálculos asociados a la prueba.....	76
3.2.2.4.	Evaluación económica.....	79
4.	Resultados y análisis	84
4.1.	Cuantificación actual	84
4.2.	Cuantificación metodología propuesta	90
4.2.1.	En condiciones normales.....	90

4.2.2.	Con aplicación de producto	91
4.3.	Beneficios para la compañía	95
5.	Conclusiones	98
6.	Recomendaciones.....	99
7.	Referencias	100
8.	Anexos.....	104
8.1.	Anexo A: Cálculo de prueba 7 de noviembre	104
8.2.	Anexo B: Costos para mantener las palas eléctricas operativas	106
8.3.	Anexo C: Tonelaje movido por palas eléctricas 2022.....	107
8.4.	Anexo D: Aplicación de producto por equipo [lts]	108
8.5.	Anexo E: Estado operativo “Surfactante” [hrs]	113
8.6.	Anexo F: Concentración diaria de MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].	116
8.7.	Anexos G: Tiempos de carguío camiones caex [min].....	121
8.8.	Anexos H: Mediciones de MP10 en frentes de carguío [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	125

Índice de figuras

Figura 1.1: Condición de polución al aplicar supresor de polvo.	17
Figura 1.2: Ubicación proyecto Antucoya.	18
Figura 1.3: Actual rajo Minera Antucoya, Fase 4, 5 (izquierda) y 6 (derecha).	19
Figura 1.4: Proceso productivo.	20
Figura 1.5: Mineralización del yacimiento.	22
Figura 1.6: Modelo UGM 2019.	22
Figura 1.7: Testigo de UGM 10.	23
Figura 1.8: Testigo de UGM 20, 21 y 24.	24
Figura 1.9: Testigo de UGM 30 y 40.	24
Figura 2.1: Comparación de tamaño de partículas inhalables con otros elementos.	25
Figura 2.2: Formación de depósitos de salitre.	31
Figura 2.3: Altitud cerro Buey Muerto y Rajo Antucoya.	32
Figura 2.4: Chusca en Fase 6.	32
Figura 2.5: Inversión térmica en Minera Antucoya.	33
Figura 2.6: Fenómeno de inversión térmica.	34
Figura 2.7: Inversión térmica reestablecida.	34
Figura 2.8: Esquema de circulación de soluciones supérgenas.	35
Figura 2.9: Operación equipos de carguío inmersos en polución Turno A y Turno B.	36
Figura 2.10: Perforación en Minera Antucoya.	37
Figura 2.11: Tronadura en Antucoya.	38
Figura 2.12: Operación de carguío y transporte.	39
Figura 2.13: Planta de chancado.	40
Figura 2.14: Rosa de los vientos cada 3 horas.	41
Figura 2.15: Topografía del sector donde se emplaza la minera.	42
Figura 2.16: Localización de las estaciones de monitoreo de MP10.	45
Figura 2.17: Estación de monitoreo MP10 campamento y Fase 4.	46
Figura 2.18: Plataforma SmartRoad.	47
Figura 2.19: Aplicación de bischofita en caminos.	48
Figura 2.20: Ventilador Tow & Bow en chancador primario.	49
Figura 2.21: Ubicación de las instalaciones del riego automatizado.	49

Figura 2.22: Humectación pobre (izquierda) y buena humectación (derecha).....	50
Figura 2.23: Material aglomerado post humectación.	51
Figura 2.24: Esquema global de trabajo.	52
Figura 3.1: Esquema de trabajo actual.....	55
Figura 3.2: Aplicación de surfactante llevada a cabo en la actualidad.	56
Figura 3.3: Secuencia semanal del 7 al 13 de septiembre 2023.	57
Figura 3.4: Habilitadores semana del 7 al 13 de septiembre 2023.	57
Figura 3.5: Programa de actividades semana del 7 al 13 de septiembre 2023.	58
Figura 3.6: Ilustración mostrada en los diálogos de desempeño.	59
Figura 3.7: Percolación incompleta del supresor de polvo.....	61
Figura 3.8: Producto aplicado directamente en la frente.	61
Figura 3.9: Desconexión aplicación del producto y avance del equipo de carguío.....	62
Figura 3.10: Plataformas mal diseñadas.	62
Figura 3.11: Grúa horquilla del área de mantención.	63
Figura 3.12: Delimitación de producto a aplicar por camión.	63
Figura 3.13: Desperdicio de producto por rebose.....	64
Figura 3.14: Formulario cuantificador de la aplicación del producto.	65
Figura 3.15: Estado “surfactante”.....	66
Figura 3.16: Diseño ideal propuesto para la humectación de frentes de carguío.	70
Figura 3.17: Diseño ideal de aplicación de producto.	71
Figura 3.18: Maniobras del camión caex y ciclo de carguío de este mismo.	73
Figura 3.19: Pala eléctrica P&H 4100XPC (izquierda) y camión Komatsu 930-E (derecha).	73
Figura 3.20: Monitor portátil Thermo pDR-1500.....	75
Figura 3.21: Secuencia semanal del 2 al 8 de noviembre 2023.....	76
Figura 3.22: Elección del sector para construir plataformas.	77
Figura 3.23: Dimensiones aproximadas del sector total a extraer.	77
Figura 3.24: Tipo de material en la zona a extraer.....	78
Figura 3.25: Configuración de la prueba.	78
Figura 4.1: Volumen de supresor de polvo por mes.	84
Figura 4.2: Volumen de supresor de polvo por equipo.	85

Figura 4.3: Volumen de supresor de polvo por turno.	85
Figura 4.4: Volumen de supresor de polvo iniciativas WhatsApp y Código QR.	86
Figura 4.5: Horas imputadas al mes por equipo del estado surfactante.	87
Figura 4.6: Concentración promedio MP10 junio 2023.	87
Figura 4.7: Concentración promedio MP10 julio 2023.	88
Figura 4.8: Concentración promedio MP10 agosto 2023.	89
Figura 4.9: Concentración promedio MP10 septiembre 2023.	89
Figura 4.10: Concentración promedio MP10 octubre 2023.	90
Figura 4.11: Tiempo de carguío en condición de frente seca.	91
Figura 4.12: Humectación con Watersol MPOL 515.	92
Figura 4.13: Extracción y llenado del caex con material humectado.	92
Figura 4.14: Tiempo de carguío para condicion de frentes humectadas.	93
Figura 4.15: Concentración MP10 en frentes de carguío.	94
Figura 4.16: Box Plot Concentración MP10.	95

Índice de tablas

Tabla 2.1: Niveles de emergencia para MP2.5 (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).	27
Tabla 2.2: Niveles de emergencia para MP10 (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).	28
Tabla 2.3: LPP según tipo de sílice libre cristalizada (Ministerio de Salud, 2000).	29
Tabla 2.4: Algunas actividades con mayor riesgo de exposición a sílice libre cristalizada, Chile 2005 (Bernal et al., 2008).	29
Tabla 2.5: Emisiones etapa de operación, SEA (Gestión Ambiental Consultores, 2010). ...	36
Tabla 2.6: Reducción de MP4 emitido al ambiente (Cifuentes et al., s. f.).	53
Tabla 3.1: Parámetros días de prueba.	74
Tabla 3.2: Costo por hora efectiva pala eléctrica S01.	81
Tabla 3.3: Costo por hora efectiva pala eléctrica S02.	81
Tabla 4.1: Medición MP10 frentes de carguío (Tapia, 2023)	94
Tabla 4.2: Parámetros en base a mediciones de terreno.	96
Tabla 4.3: Costo asociado a la pala eléctrica para mover una tonelada.	96
Tabla 4.4: Costo asociado a la pala para mover cerca de 24 millones de toneladas.	96
Tabla 4.5: Volumen asociado a una tonelada de material.	97
Tabla 4.6: Costo invertido al humectar cerca de 24 millones de toneladas.	97
Tabla 4.7: Costos asociados al movimiento de pala y producto.	97
Tabla 8.1: Dimensiones del sector a estudiar	104
Tabla 8.2: Costos asociados a pala eléctrica 1 (Carvajal, 2023).	106
Tabla 8.3: Costos asociados a pala eléctrica 1 (Carvajal, 2023).	106
Tabla 8.4: Material movido S01 y S02 (Jigsaw, 2023a).	107
Tabla 8.5: Aplicación de producto por equipo, junio 2023.	108
Tabla 8.6: Aplicación de producto por equipo, julio 2023.	109
Tabla 8.7: Aplicación de producto por equipo, agosto 2023.	110
Tabla 8.8: Aplicación de producto por día, septiembre 2023.	111
Tabla 8.9: Aplicación de producto por equipo, octubre 2023.	112
Tabla 8.10: Estado “Surfactante” julio 2023 (Jigsaw, 2023b).	113
Tabla 8.11: Estado “Surfactante”, agosto 2023 (Jigsaw, 2023b).	114
Tabla 8.12: Estado “Surfactante”, septiembre 2023 (Jigsaw, 2023b).	115

Tabla 8.13: Concentración diaria MP10, junio 2023 (SICEMA, 2023a).	116
Tabla 8.14: Concentración diaria MP10, julio 2023 (SICEMA, 2023b).	117
Tabla 8.15: Concentración diaria MP10, agosto 2023 (SICEMA, 2023c).	118
Tabla 8.16: Concentración diaria MP10, septiembre 2023 (SICEMA, 2023d).	119
Tabla 8.17: Concentración diaria MP10, octubre 2023 (SICEMA, 2023e).	120
Tabla 8.18: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 09 de agosto 2023.	121
Tabla 8.19: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 16 de agosto 2023.	122
Tabla 8.20: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 22 de agosto 2023.	123
Tabla 8.21: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 7 de noviembre 2023.	124
Tabla 8.22: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte I (Tapia, 2023).	125
Tabla 8.23: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte II (Tapia, 2023).	126
Tabla 8.24: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte III (Tapia, 2023).	127
Tabla 8.25: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte IV (Tapia, 2023).	128
Tabla 8.26: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte V (Tapia, 2023).	129
Tabla 8.27: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte VI (Tapia, 2023).	130
Tabla 8.28: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte VII (Tapia, 2023).	131
Tabla 8.29: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte VIII (Tapia, 2023).	132
Tabla 8.30: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte I (Tapia, 2023).	133
Tabla 8.31: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte II (Tapia, 2023).	134
Tabla 8.32: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte III (Tapia, 2023).	135

Tabla 8.33: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte IV (Tapia, 2023).	136
Tabla 8.34: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte V (Tapia, 2023).....	137
Tabla 8.35: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte VI (Tapia, 2023).	138
Tabla 8.36: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte VII (Tapia, 2023).	139
Tabla 8.37: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte VIII (Tapia, 2023).....	140
Tabla 8.38: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte IX (Tapia, 2023).	141
Tabla 8.39: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte X (Tapia, 2023).....	142

1. Introducción

La minería es un rubro de suma importancia para el hombre, debido a que los minerales extraídos tienen múltiples aplicaciones en los diversos campos de la actividad humana, siendo un recurso estratégico y de gran importancia para la economía de los países que los poseen. Tal es el caso de Chile, líder mundial en la producción de cobre con el 26% de participación, donde la minería actualmente es la actividad económica más importante por la generación directa de 14,6% del PIB nacional, aunque gracias a sus efectos indirectos en industrias como construcción, manufactura, transporte, comunicaciones, entre otros, alcanza a aportar una totalidad del 20 % del PIB (Cardemil, 2023).

No obstante, es una industria altamente criticada desde el punto de vista social – ambiental, debido a que ha desencadenado una serie de problemáticas en su entorno, específicamente sobre el suelo, agua y aire. Respecto a esta última, el principal problema son las emisiones de gases y polvo que se dispersan en la atmosfera, provocando afectación a los trabajadores, comunidades aledañas y contribuyendo a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Antucoya pertenece al Grupo Minero Antofagasta Minerals, uno de los diez mayores productores de cobre del mundo que opera actualmente 4 mineras, además de un proyecto en Minnesota, Estados Unidos. Antucoya es la mina más pequeña del grupo privado y tiene una amenaza muy grande en términos de polvo, que afecta directamente la salud, seguridad operacional y la producción, siendo de suma importancia controlar esta problemática, además de estar en línea con la normativa chilena.

Dentro de las iniciativas que ofrece Minera Antucoya para mejorar la calidad del aire en términos de polución, se encuentra el químico Watersol MPOL 515, que funciona como supresor de polvo en las frentes de carguío al proveer de humectación a estas mismas. El aditivo en su marcha blanca mostró resultados positivos, pero dejó de hacerlo con el pasar del tiempo debido a una falta de liderazgo, información y disciplina. Es por ello que se estudiará a fondo la metodología actual que se lleva a cabo y se propondrá una corrección en ella para volver a alcanzar los resultados realmente esperados con el producto.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la actual metodología de aplicación del supresor de polvo Watersol MPOL 515 en las frentes de carguío, visualizando las oportunidades y proponiendo mejoras, a fin de revisar los resultados positivos que ofrece este producto.

1.1.2. Objetivos específicos

- Revisar con las áreas involucradas el procedimiento llevado a cabo para el desarrollo del proyecto.
- Visualizar la operación asociada al químico y plantear mejoras en base a las oportunidades observadas.
- Analizar las formas en que se lleva el control del producto, revisando si el actual registro es fidedigno.
- Solicitar una prueba para demostrar la eficacia de la nueva metodología, evaluando además si a dosificación de mineral, el lastre tiene buenos resultados.
- Revisar el beneficio del mitigador de polvo en términos de material particulado y producción, determinando si el proyecto resulta económicamente viable.

1.2. Motivación

Desde que minera Antucoya entró en producción, se ha visto envuelta en un problema serio de polución que conlleva a desenvolver labores en un entorno poco amigable en términos de salud; al mismo tiempo implica desarrollar una operación lenta y cuidadosa para evitar incidentes por condición de visibilidad.

La gestión ambiental junto con las personas son parte de los pilares de la estrategia para desarrollar minería para un mejor futuro en el Grupo Minero. Igualmente, la responsabilidad por la seguridad y salud, y el compromiso con la sustentabilidad, son dos de los seis valores centrales. Esto debido a que la minería es una actividad que se desarrolla a largo plazo, por ende, deben llevarse adelante operaciones más eficientes, sustentables e inclusivas.

Es por lo anterior, que buscar soluciones innovadoras y prometedoras en términos de polvo son sumamente importantes y enriquecedoras para esta compañía, ya que impacta directamente en la producción, pues mitigar el polvo permite trabajar en entornos más limpios y seguros, cumpliendo con el Artículo 3° del D.S. 594/1999, que establece que *“la empresa está obligada a mantener en los lugares de trabajo las condiciones sanitarias y ambientales necesarias para proteger la vida y la salud de los trabajadores que en ellos se desempeñan....”*

Uno de los proyectos más llamativos y revolucionarios desarrollados para esta minera, es el supresor de polvo Watersol MPOL 515, ideado por la empresa IngerWaterSolutions Tecnologías SA. Este agente humectante, mostró potentes resultados en su fase de prueba en cuanto a disminución de material particulado. Debido a esto, la minera decide firmar un contrato por todo el año 2023.

Gracias a reiteradas visitas a terreno, fue posible observar que el producto no demostraba ninguna mejora, más bien se visualizaba la misma condición de polvo que en las frentes de carguío que no se humectaban, como se puede apreciar en Figura 1.1. Esto, fue motivo de alerta para revisar la forma en que se estaba llevando a cabo la aplicación, pasando por las áreas que planifican hasta la ejecución en terreno.



Figura 1.1: Condición de polución al aplicar supresor de polvo.

Luego de ver todas las falencias que lastimosamente eran reflejadas en terreno, es que se comienza a interiorizar la actual operación, con el fin de buscar la mejor forma de hacerlo.

Esto directamente apuntó a desarrollar, en conjunto con la metodología propuesta por IngerWaterSolutions Tecnologías SA., un plan claro, sencillo y eficiente, adecuado a la minera para obtener los mejores resultados posibles.

1.3. Antecedentes generales

1.3.1. Minera Antucoya

Minera Antucoya pertenece al principal Grupo Minero privado del país: Antofagasta Minerals S.A. (AMSA). Éste, opera en cuatro minas de cobre a rajo abierto ubicadas en Chile, dos de las cuales producen además subproductos como molibdeno y oro. Minera Centinela, Minera Antucoya y Minera Zaldívar están localizadas al norte de la región de Antofagasta; mientras que Minera Los Pelambres se encuentra en la región de Coquimbo.

1.3.2. Localización

Antucoya es una de las mineras más jóvenes del Grupo AMSA. Constituye un yacimiento de óxidos de cobre ubicado en la región de Antofagasta, en las comunas de Mejillones y María Elena, provincias de Antofagasta y Tocopilla, como se puede observar en Figura 1.2. Específicamente la faena se sitúa a 125 km al Noreste de la región, a una altura aproximada de 1.700 m.s.n.m.

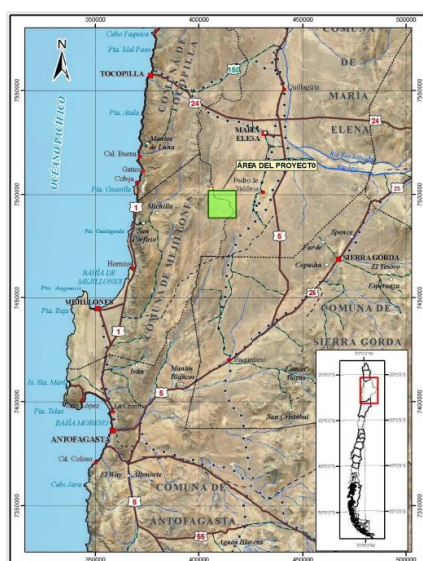


Figura 1.2: Ubicación proyecto Antucoya.

Fuente: (Informe Geología Regional y Geomorfología del Área Proyecto Antucoya, 2011).

1.3.3. Proceso productivo

Inició sus operaciones en el año 2015, con una explotación a rajo abierto y un proceso aguas abajo de hidrometalurgia, debido a la presencia de un yacimiento principalmente de óxidos de cobre. La cuantificación de reservas en la exploración minera contempló un rajo con un total de 13 fases en primera instancia, siendo desarrolladas actualmente la Fase 4, 5 y 6. Esta primera proyección contempla una vida útil de la faena en 20 años, considerando una producción anual de 85.000 toneladas de cobre fino. En Figura 1.3 se puede apreciar la actual configuración de la mina.



Figura 1.3: Actual rajo Minera Antucoya, Fase 4, 5 (izquierda) y 6 (derecha).
Fuente: Registro fotográfico Enaex.

Mediante perforación y tronadura, el material es removido de su formación in situ, para luego ser retirado por los equipos de carguío y ser transportados por los camiones de gran tonelaje directamente a planta. El área de chancado tiene por objeto disminuir el tamaño de la roca mediante 3 etapas consecutivas: chancado primario, secundario y terciario. Posteriormente, el material es aglomerado y lixiviado en dos etapas en una pila dinámica, donde los desechos de este proceso son enviados a rípios para ser depositados y la solución rica de la lixiviación es procesada en la planta de extracción por solventes (SX) y electroobtención (EW). A partir de este proceso hidrometalúrgico, se obtiene el preciado cátodo de cobre con un 99,99% de pureza. El proceso descrito queda representado de mejor forma en Figura 1.4.



Figura 1.4: Proceso productivo.

1.3.4. Mineralización del yacimiento

La mineralización de Antucoya viene dada por un yacimiento del tipo pórfido cuprífero con sobreimposición de procesos supérgenos, que deriva en un desarrollo de una zona lixiviada en superficie y, bajo ella, depositación de oxidados de cobre, zona mixta y sulfuros hipógenos, sin el desarrollo de un enriquecimiento secundario de importancia.

Como es de conocimiento, para que se desarrolle una zona de enriquecimiento secundario, necesariamente debe existir una mineralización hipógena, la cual es transformada por efecto de las soluciones de origen meteórico que desequilibran las asociaciones de minerales primarios, cambiando la mineralogía a asociaciones estables en la nueva condición de presión y temperatura del perfil supérgeno. La mineralogía primaria o hipógena para el caso de Antucoya, corresponde principalmente a calcopirita y pirita, con cantidades menores de bornita, que aparece a 380 metros bajo la superficie (Adriazola, 2021). En la mineralización secundaria o supérgena en cambio, se encuentran desarrolladas las siguientes zonas:

- Zona lixiviada: restringida a zonas ricas en pirita, necesaria para generar las soluciones ácidas susceptibles a lixiviar los sulfuros o eventualmente un horizonte con enriquecimiento cuyo cobre es removilizado. En este yacimiento no se forma una zona de

lixiviación en las unidades en las que se produce directamente el reemplazo de la calcopirita (bornita) por óxidos verdes de cobre. Donde existe pirita, el cobre ha sido totalmente removido, la zona es estéril y la asociación típica de los minerales incluye arcillas y limonitas, principalmente hematita (Ponce et al., 2013).

- Zona de óxidos: caracterizada principalmente por la presencia de atacamita diseminada en la roca y microfracturas, y cantidades menores de crisocola y copper pitch en fracturas, además de malaquita y óxidos de hierro ricos en cobre. Mientras que en el sector Antucoya predomina la atacamita, en Buey Muerto predominan la brochantita y antlerita (Amec Foster Wheeler International Ingeniería y Construcción Limitada, 2019).
- Zona mixta: consiste principalmente en un reemplazo incompleto de la paragénesis primaria de sulfuros y por lo tanto los óxidos de cobre, principalmente atacamita, coexisten con calcopirita y pirita, además de limonitas. Se trata de grados de lixiviación de la mineralización con calcopirita, primariamente homogénea, como efecto de pérdida del poder de lixiviación de las soluciones supérgenas a medida que reaccionan con los minerales circundantes en su recorrido más profundo (Ponce et al., 2013).
- Zona de sulfatos: formada de agregados de sílice oquerosa, sulfatos hidratados de cobre de color amarillo ocre y arcilla. Presentan un halo con óxidos verdes, brochantita/antlerita y, en su parte más externa, un segundo halo de color rojizo, provocado por la presencia de hematita/jarosita en fracturas (Ponce et al., 2013).

Actualmente la zona de óxidos es la que sustenta el proyecto Antucoya y, según la estimación de recursos minerales realizada en 2013, indica que el yacimiento tiene un total de recursos que alcanza a 1.115 millones de toneladas, con una ley media de 0,33% de cobre total, considerando una ley de corte de 0,2% (Aguirre et al., 2013).

A continuación, Figura 1.5 demuestra gráficamente la distribución de la mineralización del yacimiento.

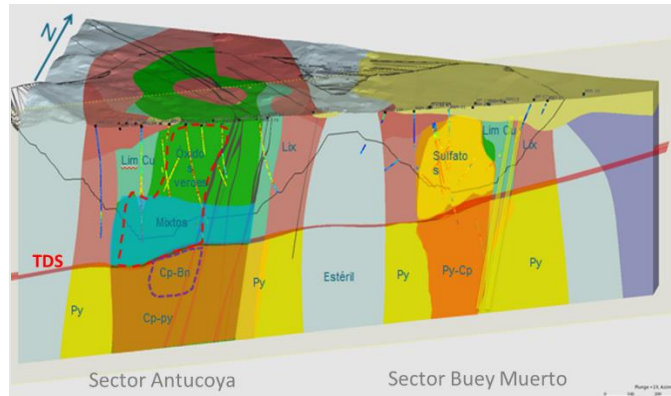


Figura 1.5: Mineralización del yacimiento.
Fuente: (Antofagasta Minerals, 2015).

Estudios geometalúrgicos determinaron que la intensidad de las alteraciones presentes en el yacimiento eran quienes controlaban el comportamiento del mineral en el proceso y en base a ello se definió un índice de alteración cuarzo – sericita (IQS), como se puede apreciar en Figura 1.6. La sobreimposición de eventos supergenos en ambientes ácidos produjo en Antucoya la lixiviación de la pirita (abundante en la alteración QS), generando la precipitación del sulfato de hierro, en especial de la szomolnokita, mineral crítico que funciona como indicador de bajas calidades físicas de la roca en la pila (Adriazola, 2021).

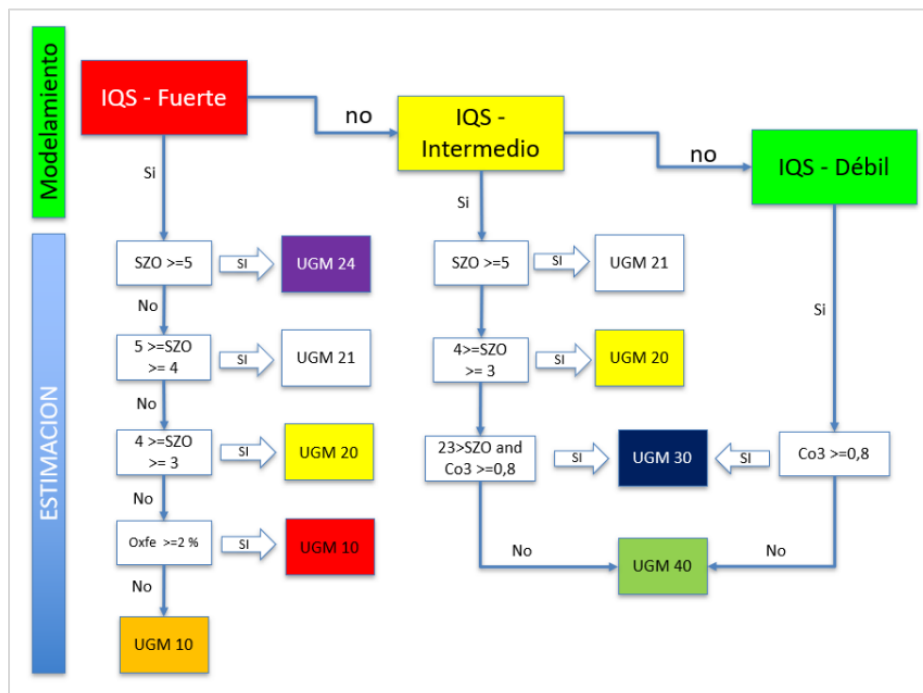


Figura 1.6: Modelo UGM 2019.
Fuente: (Minera Antucoya, s. f.)

En base a este IQS es que en la actualidad se clasifican 6 tipos de Unidades Geometalúrgicas (UGM), además de considerar el contenido de ciertos minerales. A su vez, estas se seccionan en 3 subgrupos:

- UGM 10: Rocas volcánicas indiferenciadas o porfídicas de la zona de contacto, donde predominan óxidos verdes en vetas (crisocola – atacamita) y limonitas de cobre. Es de color rojizo y va de fracturada a molida, como se puede apreciar en Figura 1.7, con alteración cuarzo – sericita a la cual se le sobreimpone una zona lixiviada con caolinita y una zona intensa de óxidos de hierro.



Figura 1.7: Testigo de UGM 10.

Fuente: (Minera Antucoya, s. f.)

- UGM 20 – 21 – 24: Roca porfídica altamente fracturada y molida, de color pardo amarillento como se observa en Figura 1.8, con intensa alteración cuarzo – sericita – pirita y mineralización principal de sulfatos de cobre y óxidos diseminados (atacamita).



Figura 1.8: Testigo de UGM 20, 21 y 24.

Fuente: (Minera Antucoya, s. f.)

- UGM 30 – 40: La UGM 30 corresponde a un pórfido graniodiorítico competente de color oscuro, con alteración potásica de feldespato y biotita. La UGM 40 en cambio, es de color verdoso y más fracturada, con la misma alteración potásica más una sobreimposición de alteración filica o clorítica. La mineralización principal para ambas son los óxidos de cobre y zonas primarias diseminadas. Ambas UGM quedan expuestas en Figura 1.9.



Figura 1.9: Testigo de UGM 30 y 40.

Fuente: (Minera Antucoya, s. f.)

2. Marco teórico

En este capítulo, se presenta el fundamento teórico principal del estudio, desde el material particulado, hasta sus efectos en minería y como controlarlo para minimizar sus consecuencias.

2.1. Material particulado

Según el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, el Material Particulado, MP, (o PM por sus siglas en inglés “Particulate Matter”) es un contaminante atmosférico que corresponde a aquellas partículas líquidas o sólidas que se encuentran en suspensión. La concentración de MP es el valor promedio temporal detectado en el aire y se mide en microgramos por metro cúbico normal, $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, definiéndose como normal, condiciones de presión de 1 atmósfera y a una temperatura de 25° Celsius.

Para efectos regulatorios a nivel internacional, el material particulado se clasifica según su diámetro aerodinámico en MP2,5 y MP10. Si es menor o igual a 2,5 micrones, se habla de MP2,5; mientras que, si es mayor a 2,5 y menor a 10 micrones, se denomina MP10. La particular diferencia entre estas radica en que el tamaño de las partículas determina la probabilidad y el lugar de depositación en el tracto respiratorio (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Para tener una idea de las magnitudes de estas fracciones de tamaño, en Figura 2.1 se hace un símil con objetos conocidos.

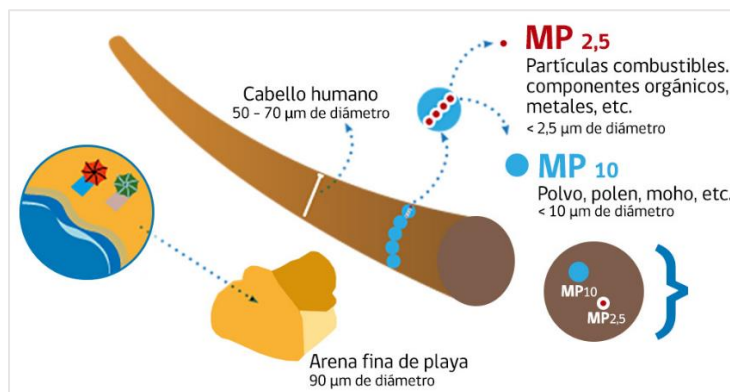


Figura 2.1: Comparación de tamaño de partículas inhalables con otros elementos.

Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, s. f.)

2.1.1. Clasificación

Según el D.S. N°12/2011, el MP10 corresponde a una fracción de tamaño gruesa que comprende un rango de 2,5 a 10 micrones de diámetro. Está constituido por partículas inhalables que pueden penetrar en las vías respiratorias llegando sólo hasta la región torácica, ya que por su tamaño quedan retenidas en la parte superior del sistema respiratorio. La fracción gruesa y la fracción fina del MP10 presentan diferencias en su origen y mecanismos de formación, en las fuentes emisoras, en la composición química y en su comportamiento en la atmósfera. Las partículas finas tienen un tiempo de residencia en la atmósfera más largo, logrando ser transportadas largas distancias e impactando a escala regional. Las partículas de la fracción gruesa tienen una velocidad de sedimentación mayor y por ello, permanecen menor tiempo en el aire y su impacto es más local (Ministerio del Medio Ambiente, 2011). De acuerdo con el D.S. N°12/2022, en Chile las principales fuentes o actividades emisoras de MP10 corresponden a una gran variedad de fuentes naturales y antropogénicas. Estas últimas incluyen los procesos mecánicos, tales como obras de construcción, la erosión de polvo superficial, procesos de molienda y los procesos de combustión, tales como quemas agrícolas, combustión de biomasa y de combustible fósil (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

El MP2,5 en cambio, es considerado fino, pues engloba las partículas de tamaño menor o igual a 2,5 micrones de diámetro, y está compuesta por partículas lo suficientemente pequeñas para penetrar en las vías respiratorias hasta llegar a los pulmones y los alvéolos. Según el D.S. N°12/2011, el MP2,5 tiene su origen en emisiones directas de procesos de combustión de combustibles fósiles, a partir de la condensación de gases, reacciones químicas en la atmósfera a partir de gases precursores como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, amoníaco, y otros compuestos; y a través de procesos de nucleación y coagulación de partículas ultrafinas. Las principales fuentes del MP2,5 son vehículos diésel y a gasolina, plantas termoeléctricas, calderas, procesos industriales, hornos, fundiciones, procesos metalúrgicos, la combustión de biomasa, como la calefacción residencial a leña, las quemas agrícolas e incendios forestales, y emisiones de amonio de las operaciones agrícolas (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Debido a la diversidad que presenta Chile, existe una variabilidad en la composición del material particulado a lo largo del territorio. En la zona norte, su composición es principalmente MP10 de origen natural, resuspendido por el viento y por actividades mineras extractivas. En la zona sur, predomina el MP2,5 de origen antropogénico, principalmente proveniente del uso de leña para calefacción, el transporte y la industria (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

2.1.2. Normativa chilena

La Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente del Ministerio Secretaría Regional de la Presidencia (Ley N°19.300, modificada por la Ley N°20.417/2010), establece en su artículo 32 la existencia de dos tipos de normas de calidad ambiental: primarias y secundarias, siendo la primera de estas, la de importancia para el estudio en cuestión.

Las normas de calidad ambiental primaria tienen como objetivo proteger la salud de la población humana dentro del territorio nacional, por medio del establecimiento de valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población (Ministerio Secretaria General de la Presidencia, 1994).

La norma de calidad del aire para MP2,5, según el D.S. N°12/2011, establece 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como concentración anual y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como concentración de 24 horas. En Tabla 2.1 se muestran los niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para esta fracción de tamaño en concentraciones de 24 horas.

Tabla 2.1: Niveles de emergencia para MP2.5 (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Nivel	Concentración 24 horas MP2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$]
Alerta	80 - 109
Preemergencia	110 - 169
Emergencia	≥ 170

Por su parte, la norma de calidad del aire para MP10, según el D.S. N° 12/2022, establece 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como concentración anual y 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ como concentración de 24 horas. Los niveles de emergencia para MP10 a 24 horas se observa en Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Niveles de emergencia para MP10 (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Nivel	Concentración 24 horas MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$]
Alerta	180 - 229
Preemergencia	230 - 329
Emergencia	≥ 330

2.1.3. Enfermedades asociadas

De acuerdo con el D.S. N°12/2011, la inhalación de MP2.5 ha visualizado mortalidad y admisiones hospitalarias en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica y con enfermedad cardiovascular, exacerbación de los síntomas e incremento del asma, aumento de riesgo de infartos al miocardio, inflamación pulmonar y sistémica, disfunciones endoteliales y vasculares, desarrollo de aterosclerosis, incremento en la incidencia de infecciones y cáncer respiratorio. En cuanto a impactos que radican en esta fracción de tamaño, destacan efectos en la visibilidad, pues el MP2,5 presenta propiedades de absorción y refracción de luz (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Según el D.S. N°12/2022 y en información contenida en este mismo relacionada con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se consideran tres efectos primordiales en salud causados por el MP10: mortalidad, función pulmonar y síntomas crónicos y bajo peso al nacer y otros trastornos neonatales (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

2.1.3.1. Neumoconiosis

El término de neumoconiosis surgió en 1971 en la 4ª Conferencia Internacional de Neumoconiosis, considerándose como la *“acumulación de polvo en los pulmones y las reacciones tisulares con su presencia”*. De dicha definición se deduce el amplio grupo de Enfermedades Pulmonares Intersticiales (EPI) englobadas, debidas a la inhalación de polvos inorgánicos en concentraciones altas y, en su mayoría, relacionadas con la exposición laboral.

La silicosis, más conocida como la enfermedad del minero, es un tipo de neumoconiosis. Esta es una patología pulmonar causada por sobreexposición a la sílice cristalina respirable. La sílice se encuentra principalmente en el cuarzo, el cual es un mineral predominante en la corteza terrestre, se encuentra en forma abundante en rocas, suelo y arena, y está constituido

por un átomo de silicio y dos átomos de oxígeno (SiO_2). El dióxido de silicio o comúnmente denominado cuarzo, puede encontrarse en estado amorfo o cristalino. La sílice cristalina puede presentarse en varias formas: cuarzo, cristobalita y tridimita. Es tan abundante el cuarzo, que en general se usa cuando se habla de sílice cristalina (González, 2016).

Los Límites Permisibles Ponderados (LPP) de exposición de sílice libre cristalizada según el D.S. N°594/1999 del Ministerio de Salud (MINSAL), considerado una jornada laboral de 8 horas por día, son los que se muestran en Tabla 2.3.

Tabla 2.3: LPP según tipo de sílice libre cristalizada (Ministerio de Salud, 2000).

Tipo de sílice libre cristalizada	LPP [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Cuarzo	0,08
Cristobalita	0,04
Tridimita	0,04

Según un estudio realizado en 2005, el valor promedio de sílice libre cristalizada en la gran minería del cobre es de $0,074 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con muestreos representativos a las jornadas de trabajo, con actividades mina y planta de chancado liderando en términos de concentración (Bernales et al., 2008). En Tabla 2.4 se muestran dichas concentraciones.

Tabla 2.4: Algunas actividades con mayor riesgo de exposición a sílice libre cristalizada, Chile 2005 (Bernales et al., 2008).

Rubro	Actividad	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Fábrica de ladrillos	Molinero ladrillo refractario	5,41
	Corte y pulido de enchape de ladrillos	2
Planta de áridos	Puntero	4,18
Minería del carbón	Barretero	3,9
Pulido y grabado de vidrios	Arenador - Pulidor	3,9
Gran minería del cobre	Operador pala mina rajo	2,78
	Operador chancado 2° y 3°	1,28
Pirquineros del oro	Operador perforista	2,74
	Cargador de material	1,44
Arenado	Arenador	2,67
Fundición de hierro	Pulido y desbastado de piezas fundidas	2,04
Empresas de construcción	Desbastado de cemento	1,85
Fábrica de enlozado	Esmaltador	1,55
Molienda de cuarzo	Alimentador chancador	1,3
Fábrica de baldosas	Mezcla arena - cemento	1,28

Lo anterior demuestra que hay que poner especial énfasis en el control de este contaminante, ya que sobrepasa el LPP en varias industrias, lo cual demuestra que no es solo un contaminante presente en minería como usualmente se le atribuye.

Según datos de la OMS, la silicosis aún sigue siendo un problema vigente, es por ello que en el año 1995, esta misma entidad en conjunto con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), establecieron el programa global de Erradicación de la Silicosis en el mundo para el año 2030. Esto llevó a que el Ministerio de Salud en conjunto con el Ministerio del Trabajo y Previsión Social, desarrollaran el Plan Nacional de Erradicación de la Silicosis (PLANESI), como un compromiso de Chile ante la OMS y la OIT. Esta iniciativa, lanzada el 6 de agosto del 2009, busca disminuir la exposición a la sílice en lugares de trabajo, erradicando la morbilidad y mortalidad por esta enfermedad.

2.1.4. Factores que influyen en su comportamiento

El comportamiento del material particulado viene influenciado por diversos factores climáticos, como el viento y sus derivados, la temperatura y humedad.

La velocidad y dirección del viento se consideran como las variables meteorológicas que tienen un efecto directo en la dispersión de los contaminantes en el aire, quienes a la vez están condicionadas por la topografía del sector. La humedad del mineral también juega un papel crucial en las emisiones, puesto que cuando el material está más seco las emisiones aumentan y cuando está más húmedo el desprendimiento de partículas finas disminuye (Arrieta, 2016). Con respecto a la temperatura, aquí entra un fenómeno conocido como “Inversión térmica”, tratado próximamente en el apartado 2.2.1, donde el material particulado se distribuirá en función de este.

2.2. Polución en Minera Antucoya

Como se ha reiterado en varias ocasiones, Minera Antucoya actualmente presenta un imponente desafío con respecto a la polución, pues muchas de sus operaciones se ven afectadas por esta problemática. Las frentes de carguío, tema principal de este estudio, es una de las actividades que mayor polución presenta en Antucoya junto con la planta de chancado,

pues depende netamente de la geología, clima y topografía del sector, siendo una operación poco óptima con respecto a una condición normal de visibilidad.

2.2.1. Factores que afectan y contribuyen a esta condición

El desierto de Atacama es el lugar más seco de la Tierra, con suelos con altas concentraciones de sales solubles que incluyen nitratos, cloruros, sulfatos e incluso percloratos, que constituyen una evidencia directa de la extrema aridez. La singularidad del desierto chileno y de la región del proyecto en particular, son los depósitos evaporíticos y, particularmente, de nitratos o salitre, abundantemente distribuidos y explotados en forma limitada en la actualidad (Informe Geología Regional y Geomorfología del Área Proyecto Antucoya, 2011).

Hace unos 200 millones de años, la placa de Nazca comenzó su ingreso bajo la placa continental, formando la Cordillera de la Costa. Se crearon grandes lagunas por las lluvias provenientes del Atlántico, pues aún no existía la Cordillera de los Andes. Posterior a la aparición de esta última, se comenzó a impedir paulatinamente las lluvias en el desierto hasta llegar al inicio de su sequedad hace unos 23 millones de años, formando los depósitos de caliche, tal como se muestra en Figura 2.2.

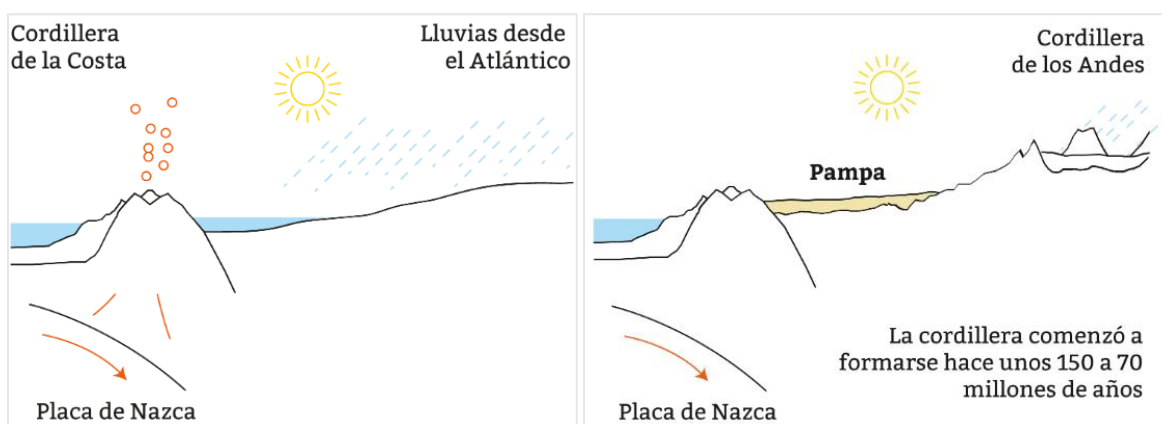


Figura 2.2: Formación de depósitos de salitre.
Fuente: (Sociedad Química y Minera de Chile, s. f.)

Los cerros del Buey Muerto, cercano al yacimiento, son relieves resultantes de esta erosión hídrica inicial y del remate de la erosión eólica posterior como se puede observar en Figura 2.3 (Informe Geología Regional y Geomorfología del Área Proyecto Antucoya, 2011).

Esta última explica la presencia de Chusca o Chuca en la zona donde se emplaza el proyecto, que corresponde a un material fino, arcillas, limos, arenas y sales, principalmente anhídrita o yeso, y otros sulfatos solubles como thenardita, bloedita y humberstonita (Pérez, 2013).

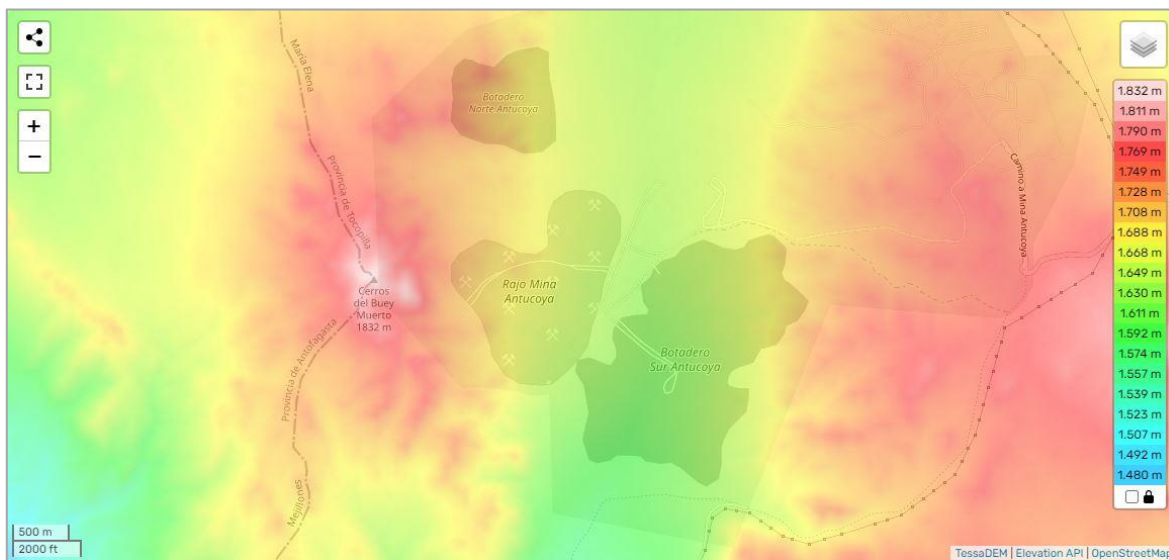


Figura 2.3: Altitud cerro Buey Muerto y Rajo Antucoya.

Fuente: (Topographic Map, s. f.)

Este material sumamente fino, está presente en los primeros 50 metros, correspondiente a los primeros 3 bancos del rajo, predominando actualmente en la recién explotada Fase 6, como se puede apreciar en Figura 2.4.



Figura 2.4: Chusca en Fase 6.

Fuente: Registro Fotográfico Enaex.

El Desierto de Atacama y, más generalmente, la región costera del norte de Chile y sur del Perú, son conocidos por su extrema aridez. La combinación del efecto barrera de la alta Cordillera de los Andes, de la permanencia del anticiclón del Pacífico Suroriental y la existencia del sistema Corriente de Humboldt – surgencia costera, explica que esta región no

reciba las masas de aire húmedo del Atlántico y que la poca humedad que se evapora del Pacífico quede bloqueada bajo la forma de "camanchaca" en una estrecha franja al pie de la Cordillera de la costa (fenómeno de inversión térmica) (Ortlieb, 2022). Las casi nulas precipitaciones en esta zona, respalda la humedad aproximada del macizo rocoso de Antucoya de 0,7%, valor sumamente bajo que aflora aún más la condición de polvo en la faena.

Minera Antucoya a su vez, se ve afectada por una especie de inversión térmica, un fenómeno por el cual la temperatura, en lugar de disminuir con la altura, aumenta. Lo anterior implica que, a ciertas horas del día, se intensifique la situación polvo en el rajo. En Figura 2.5, se puede observar el funcionamiento de este.

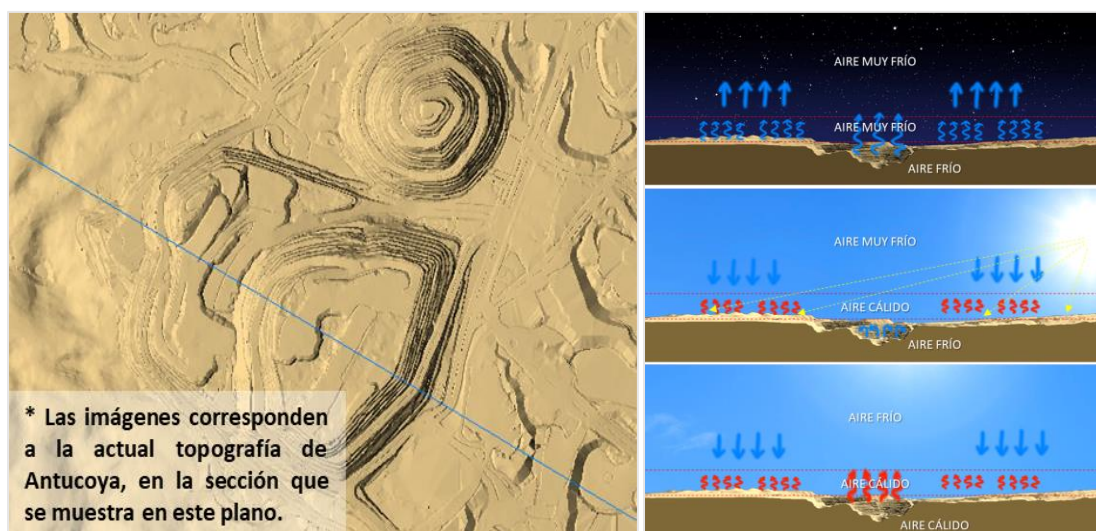


Figura 2.5: Inversión térmica en Minera Antucoya.
Fuente: (Superintendencia Geología, s. f.)

Como bien menciona la literatura, conforme ascendemos a las capas de la atmosfera, la temperatura comienza a disminuir. Sin embargo, muchos lugares del planeta se ven expuestos a lo contrario, es decir, un aumento de temperatura a medida que ascendemos. Situación similar ocurre en esta minera, ya que al amanecer, la superficie terrestre comienza a calentarse con la aparición de la radiación solar, no así el rajo que queda en zona de penumbra. Lo anterior provoca el encajonamiento del polvo en el fondo del pit, pues el aire cálido que se posiciona justo encima del rajo funciona como tapón, provocando una retención de las corrientes convectivas, como se puede apreciar en Figura 2.6.



Figura 2.6: Fenómeno de inversión térmica.

Al medio día, cuando el sol esta alineado con el rajo, éste comienza a tomar temperatura, provocando la mezcla de ambos aires cálidos y la ascensión de la nube de polvo a las capas superiores de la atmosfera como se presencia en Figura 2.7.



Figura 2.7: Inversión térmica reestablecida.

Cuando llega la noche, la superficie terrestre pierde temperatura debido a la ausencia del sol, de modo que se reestablece la inversión térmica, pues el aire de arriba es más frio que el que se posiciona en la tierra. Este fenómeno se ve acentuado por la poca ventilación natural que posee el área del yacimiento y su impacto es aún mayor durante los meses de invierno, ya que las bajas temperaturas se hacen notar, provocando el estancamiento del polvo en el pit.

En cuanto a la geología, en la superficie las estructuras son realizadas por el efecto de la alteración argílica y la oxidación, dando lugar a una roca de baja competencia. La superposición de eventos supérgenos en ambientes muy ácidos produjo en el yacimiento la lixiviación de la pirita, generando la precipitación de sulfatos de hierro (szomolnokita) como se menciona en el apartado 1.3.4, de modo que la roca resultante queda intensamente

fracturada. Estas soluciones penetran las rocas adyacentes más reactivas depositando cobres verdes y argilización moderada y, si continúan circulando, precipita hematita y jarosita pulverulentas en microfracturas, como se observa en Figura 2.8 (Antofagasta Minerals, 2015). El rumbo de las franjas de vetillas de pirita es coincidente con el de las franjas de intensa fracturación asociada a los procesos de intemperismo (Amec Foster Wheeler International Ingeniería y Construcción Limitada, 2019). Está marcada presencia de sulfatos es uno de los factores desencadenantes de polvo, pues estos son sumamente inestables y de escasa dureza.

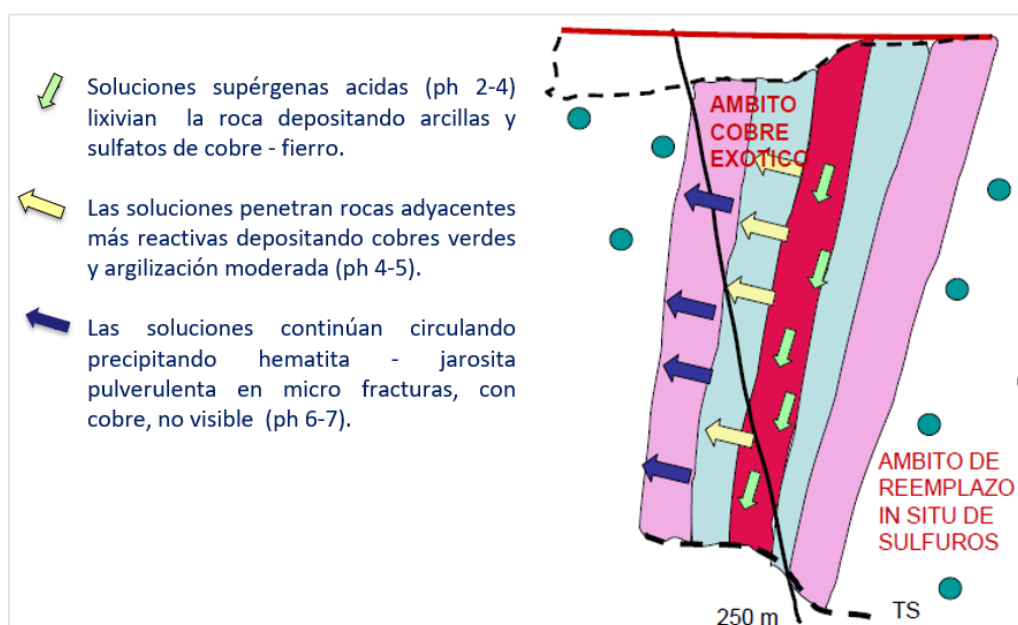


Figura 2.8: Esquema de circulación de soluciones supérgenas.
Fuente: (Antofagasta Minerals, 2015).

Todos los factores mencionados, conllevan a un problema de polución sumamente grande que pone en riesgo la salud de todas las personas que allí trabajan. Como es de esperarse, debido a la magnitud del problema, muchas veces se ha tenido que detener la operación por problemas de visibilidad, ya que resulta riesgoso continuar con las labores mina. La criticidad del problema queda expuesta en Figura 2.9 y demuestra el por qué la minera está en una búsqueda incansable de iniciativas para mejorar las condiciones de trabajo.



Figura 2.9: Operación equipos de carguío inmersos en polución Turno A y Turno B.

2.2.2. Actividades mineras que generan remoción del material particulado

En julio del 2011, el Servicio Evaluación Ambiental, SEA, cuantificó las actividades mineras que generan grandes masas de material particulado en Antucoya, llegando a una emisión total de 3.277,3 toneladas por año (Gestión Ambiental Consultores, 2010). En Tabla 2.5 se presentan las emisiones unitarias.

Tabla 2.5: Emisiones etapa de operación, SEA (Gestión Ambiental Consultores, 2010).

Fuente	Emisión [g/s]	Emisión [kg/día]	Emisión [ton/año]
Rajo (Tronadura hasta Transporte)	41,12	3.552,80	1.296,77
Camino Rajo - Botadero Norte	0,00	0,00	0,00
Camino Rajo - Botadero Sur	6,20	535,80	195,57
Camino Rajo - Pila ROM	3,60	310,95	113,50
Camino Rajo - Planta Chancado	4,11	355,42	129,73
Camino Acceso - Planta	3,10	267,75	97,73
Camino Acceso - Estanques ácido	1,57	135,74	49,54
Camino estanques de ácido - Planta	0,27	23,45	8,56
Botadero Norte	0,68	58,89	21,49
Botadero Sur	4,38	378,58	138,18
Pila ROM	0,69	59,62	21,76
Planta de Chancado	38,20	3.300,02	1.204,51
Total	103,92	8.979,02	3.277,34

De lo anterior, se puede desprender que las emisiones se concentran tanto en el rajo como en la planta de chancado, las cuales en conjunto representan casi el 80% de las emisiones.

Respecto a esta cuantificación mencionada, se describen las actividades más pulverulentas que contribuyen a esta condición.

2.2.2.1. Perforación y tronadura

La perforación y tronadura son dos etapas fundamentales en el proceso de fragmentación de rocas en la minería. La perforación es la operación que da comienzo al proceso de producción de cobre, pues con ella se da inicio a lo que será la extracción de mineral. Ésta, tiene por finalidad el abrir huecos en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuada, en donde se alojan las cargas de explosivos y sus accesorios iniciadores (López Jimeno et al., 2017). En Figura 2.10 se muestra como la perforadora va realizando los pozos que posteriormente se cargarán y detonarán.



Figura 2.10: Perforación en Minera Antucoya.
Fuente: Registro fotográfico Enaex.

A continuación, viene la tronadura, primer proceso de conminución que se aplica al material, que consiste en disponer el explosivo en los pozos de perforación con sus respectivos accesorios, para posteriormente establecer una secuencia de detonaciones entre los distintos tiros, de manera que la roca sea fragmentada en etapas, partiendo de la cara expuesta del banco hacia adentro, con diferencias de tiempo de fracciones de segundo entre cada detonación. La detonación dura una fracción de segundos y el resultado es el mostrado en Figura 2.11.



Figura 2.11: Tronadura en Antucoya.
Fuente: Registro fotográfico Enaex.

Como es posible notar, estas dos actividades son generadoras de grandes cantidades de polvo, pues mientras en perforación se impacta y se produce fricción entre la broca de la perforadora y la roca; en tronadura se produce la fragmentación de la roca como tal al aplicar energía.

Actualmente la faena cuenta con 5 perforadoras, 3 de producción y 2 de precorte, y se llevan a cabo alrededor de 3 tronaduras por semana, siendo una operación poco habitual a diferencia de otras mineras, que justamente ayuda en no incrementar aún más la polución en el día a día. Aunque si se considera el evento puntual, es una fuente de gran importancia en términos de polvo.

2.2.2.2. Carguío y transporte

Una vez tronado el mineral, éste se debe retirar para enviarlo a planta, acopio o botadero según sea el caso. Este proceso consiste en cargar este material en camiones de gran tonelaje mediante palas o cargadores frontales, para posteriormente trasladarlo a la planta o acopio si cumple con la ley de corte, o a botadero, donde es directamente descargado por no tener interés económico. Una vez realizada la descarga, los camiones retornan a buscar más material de ser necesario. En Figura 2.12 se hace referencia al proceso recién mencionado.



Figura 2.12: Operación de carguío y transporte.

La composición del polvo en el carguío es la misma que la de la mineralización y roca encajante; mientras que al transporte se le suma el polvo levantado por el proceso de traslado proviene directamente de las pistas y que puede ser tratado mediante el riego de caminos.

Esta es una de las operaciones de mayor costo, ya que es el proceso con mayor cantidad de equipos y menor rendimiento productivo por equipo. El costo del proceso total, varía entre el 45% y el 65% del costo mina, razón por la que se debe garantizar un ambiente de operación apto para maximizar el rendimiento de estos equipos, pues el carguío oscila entre un 10% y un 20% del costo y el transporte un 35% y un 45% (Portal Minero S.A., 2006).

La faena cuenta con 20 equipos para esta área: 5 de carguío, 18 de transporte y 16 de apoyo. Estos son los equipos que más sufren en términos de polución, pues son quienes se ven involucrados día a día en la criticidad del problema.

2.2.2.3. Planta de chancado

El chancado, constituye la primera etapa de la conminución a ejecutarse en la planta, no así la tronadura, que es la primera etapa de conminución en mina. El objetivo de este proceso es reducir el tamaño de los fragmentos de rocas enviados desde la mina hasta obtener un tamaño uniforme. Para ello, se utilizan chancadores, equipos mecánico-eléctricos de grandes dimensiones que su función principal es triturar la roca mediante movimientos de atrición. Es importante mencionar que son necesarias varias etapas de fragmentación y más de un equipo por etapa, considerando que se alimentan grandes cantidades de mineral a diario. Dentro de las etapas de fragmentación, encontramos chancado primario, secundario y

terciario, donde cada uno de estos tienen por objetivo fragmentar aún más la roca. En Figura 2.13 se muestra la línea de chancadores completa.



Figura 2.13: Planta de chancado.

En el 2020 surgió en Antucoya un llamativo proyecto multidisciplinario denominado 32M, donde se apuntaba sacar el máximo potencial a la planta de chancado, con 32 millones de toneladas procesadas anualmente. Este objetivo se logró a fines del 2022, con una proyección diaria de alimentación a la planta cercana a 120.000 toneladas por día. El desafío hoy en día es apuntar a los 35M, en donde la conminución estresada y la búsqueda de una granulometría específica, provocará una acentuación aún más marcada de polución en planta.

Cabe destacar que la minera particularmente cuenta con 2 chancadores primarios, 3 secundarios y 12 terciarios, encontrándose operativo solo 6 de estos últimos.

2.3. Afectación a las comunidades aledañas

De acuerdo con el D.S N° 1162/1993 del Ministerio de Salud, la localidad de María Elena y Pedro de Valdivia han sido declaradas Zona Saturada, es decir, los valores promedio de 24 horas para el contaminante atmosférico material particulado respirable, excedió la norma de calidad ambiental primaria (Ministerio de Salud, 1993). Con el objetivo de proteger la salud de la población que reside en dicha área, se dispusieron planes de descontaminación según el D.S. N° 37/2004 (Ministerio Secretaria General de la Presidencia & Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2004). No obstante, el proyecto Antucoya no se encuentra emplazado dentro del área declarada como Zona Saturada, sino que se encuentra ubicada a aproximadamente 40 km de distancia de la zona receptora más cercana (Gestión Ambiental

Consultores, 2010). Frente a esto, asume la responsabilidad La Sociedad Química y Minera de Chile S.A., SQM, quien a partir del 1° de abril de 2006 no debe exceder las 25 ton/año como emisión de material particulado respirable en las operaciones de chancado y clasificación de material en la Planta de Producción de María Elena (Ministerio Secretaría General de la Presidencia & Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2004).

De igual forma, entre marzo y octubre del 2010, se corroboró esta información con el registro de velocidad y dirección del viento por parte de estaciones coincidentes con la ubicación de las fuentes emisoras del proyecto. En Figura 2.14 se presenta un registro de un día completo.

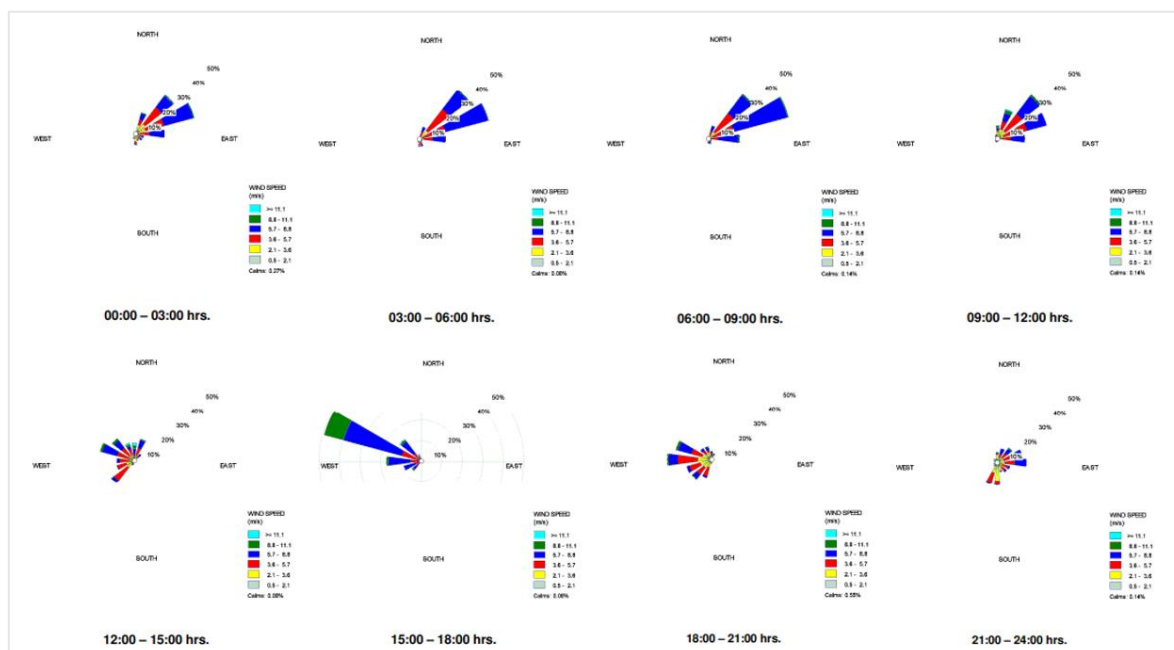


Figura 2.14: Rosa de los vientos cada 3 horas.
Fuente: (Gestión Ambiental Consultores, 2010).

De aquí se desprende que el viento en la madrugada proviene casi exclusivamente desde el segundo cuadrante (ENE y NE); situación que se mantiene durante la mañana. Iniciada la tarde se aprecia una variación, predominando los vientos provenientes del primer cuadrante (NW y WNW) y apareciendo una componente suroeste que pierde relevancia entre las 15 y las 21 horas. Con ello, se afirma que el proyecto Antucoya no generará un impacto en la calidad del aire sobre estos sectores poblados, pues el viento esencialmente proviene desde donde se emplaza la comuna, NE, y el NW (Gestión Ambiental Consultores, 2010).

Destaca también la topografía como parte de este estudio, pues el proyecto se emplaza en una quebrada limitada tanto al este como al oeste por dos perturbaciones cuya cota superior supera en 150 metros la cota al fondo de la quebrada, como se muestra en Figura 2.15. Inmediatamente al norte de esta quebrada, se presenta una zona relativamente plana, de escasa pendiente, seguida por una nueva perturbación, que en términos de la dispersión de material particulado implicará que este último, en presencia de viento sur, se disperse hacia el norte y luego en sentido este – oeste, limitando la posibilidad de alcanzar, por ejemplo, la localidad de María Elena, ubicada al noreste de la faena y separada de ésta por la última perturbación mencionada (Gestión Ambiental Consultores, 2010).

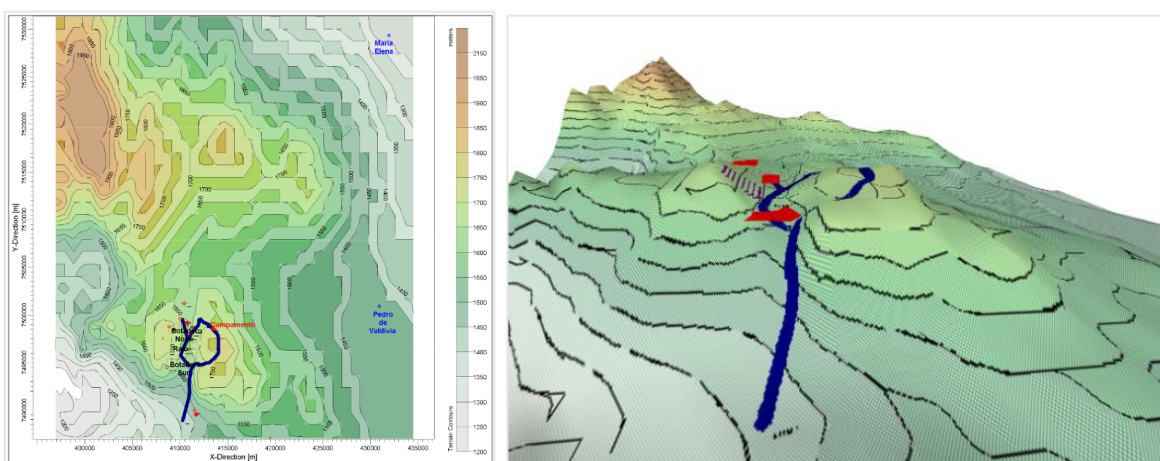


Figura 2.15: Topografía del sector donde se emplaza la minera.

Fuente: (Gestión Ambiental Consultores, 2010).

Los resultados arrojados indican que las emisiones de la minera no aportarían a las concentraciones preexistentes en la localidad de María Elena, lo que lleva a la minera a buscar iniciativas para mitigar el polvo en suspensión centradas solo en términos de salud y seguridad operacional al interior de su recinto, al mismo tiempo de mejorar la visibilidad de los trabajadores al momento de desarrollar sus labores.

2.4. Afectación en la operación

Debido a lo recientemente mencionado en términos de visibilidad, los trabajadores constantemente dejan de producir por temas de polución, ralentizando directamente la producción; a la vez que salvaguardan su integridad física. Dentro de los posibles accidentes que se han ocasionado, según los operadores de los equipos de carguío, destacan:

- La colisión entre equipos era un suceso habitual en la operación de Antucoya, pues cada equipo involucrado en labores mina se veía expuesto a la poca o nula visibilidad. Frente a esto, en el año 2022 se implementó el Sistema Alerta de Colisión (CAS), que monitorea en tiempo real el entorno de los equipos y vehículos que transitan en la mina, de forma que se alerta al operador cuando detecta una situación de riesgo. El sistema apunta a una conducción segura mediante alarmas visuales y auditivas que se activan ante la presencia de otro vehículo liviano o equipo pesado que cuente con la tecnología.
- Impacto del balde del equipo de carguío con la tolva del camión de extracción, ya que cuando se produce la toma de material, se genera una masiva nube de polvo, y mientras que el camión se aculata para ser depositada la carga, la nube sigue suspendida, haciendo perder la visibilidad al operador del caex del balde de las palas. Esta situación se ve ayudada en gran medida por el estándar internacional que indica el accionamiento de la bocina por parte del equipo de carguío, de forma que se indica cuando el camión está próximo al balde para que se detenga; de la misma forma se les indica cuando el equipo está en su máxima capacidad para darles la salida.
- También sucede que la carga no es depositada homogéneamente en la tolva del camión, provocando un problema en la estabilidad del mismo, lo cual lleva al operador de este equipo a vaciar la carga lo más próximo posible para no provocar un posible volcamiento. En esta misma condición de poca visibilidad, podría llevar a depositar la carga sobre la cabina del camión; no obstante, la vasta experiencia de los operadores de equipos de carguío, minimiza todos estos tipos de riesgos.
- Choque entre la tolva del camión al ser levantada y la protección existente en el sector del chancador primario, por falta de visibilidad.

Debido a esta y otras posibles situaciones que ocurrieron o podrían pasar, se cuenta con un procedimiento de operación para los equipos, que dice expresamente: *“Si las condiciones de polvo, iluminación, sol, etc., no permiten una adecuada visibilidad (visibilidad cero), se deberá suspender las actividades hasta que la condición de visión mejore, aplicando todos*

los frenos para evitar inercia de movimiento, manteniendo el balde por seguridad en la frente de carguío.”.

Además de presenciarse incidentes por condición de polución, sucede que la operación de carguío es más lenta con respecto a otras mineras, afectando de cierta forma a los KPIs a los que se apunta. El mismo aculatamiento de los camiones de gran tonelaje inciden en los indicadores de las palas, pues su demora en acular impacta desde que entra a su radio de trabajo.

2.5. Actual medición de material particulado

Como se verificó que la minera no contamina a las comunidades más próximas, no se necesita de una estación de representatividad poblacional, más bien estaciones de MP10 para el control interno.

Anteriormente se contaba con mediciones de días puntuales, de las cuales no se tiene registro. En la actualidad, esto se lleva de forma más controlada, con tres estaciones de monitoreo instaladas para el registro diario de las concentraciones de material particulado: una en campamento conocida como “Estación Chacabuco”, otra en el mirador de la Fase 4 denominada “Estación Meteorológica Móvil 1” y finalmente una ubicada en el Truck Shop mencionada como “Estación Meteorológica Móvil 2”, estando implementada la primera en 2019 y las dos restantes desde mayo del presente año. La ubicación de estas queda mostrada en Figura 2.16.

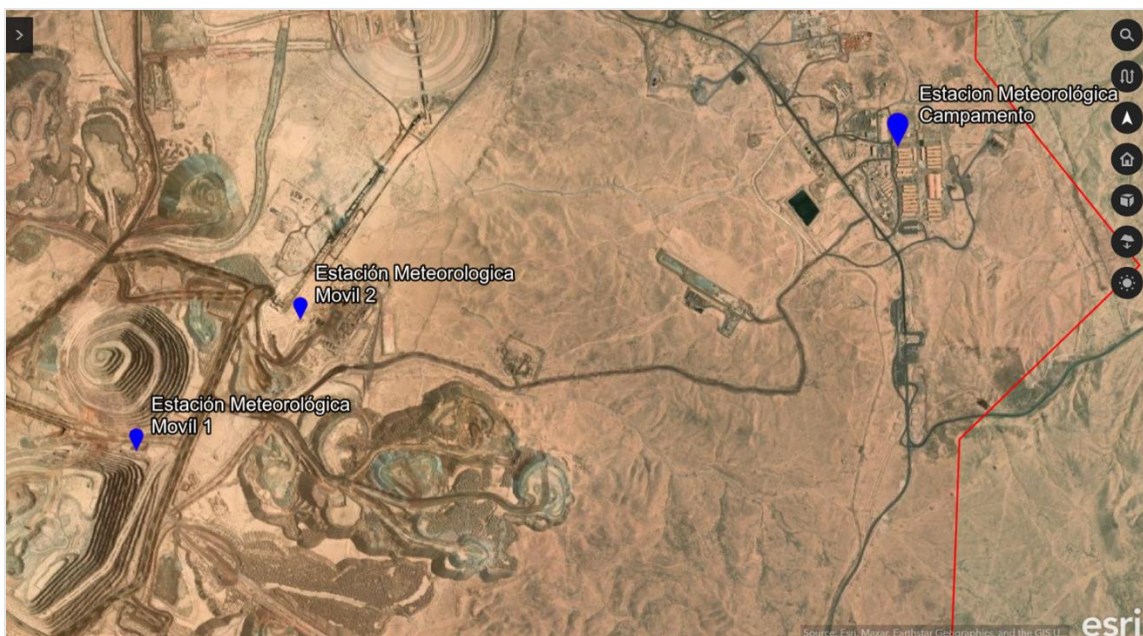


Figura 2.16: Localización de las estaciones de monitoreo de MP10.
Fuente: ArcGIS Earth.

La estación de campamento se emplaza a unos 150 metros del edificio principal, ubicada estratégicamente en la zona poblada más cercana a la faena, que está libre de elementos que podrían alterar la toma de muestras. Este equipo, toma información como dirección y velocidad del viento, máxima ráfaga de este mismo, MP10, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar y precipitaciones. Las otras estaciones mencionadas, se localizan en la superficie del rajo en la Fase 4 y en el Truck Shop, y registran estos mismos datos, salvo los últimos dos parámetros. El objetivo de estos equipos allí instalados es revisar día a día las condiciones de polvo para mantenerse en línea con la normativa chilena. La estación de campamento y Fase 4 son mostradas a continuación en Figura 2.17.



Figura 2.17: Estación de monitoreo MP10 campamento y Fase 4.

La estación situada en campamento realiza un monitoreo de MP10 con los equipos BAM – 1020 y E – Sampler de Met One Instruments, Inc. El primero de ellos funciona bajo el principio de atenuación Beta; mientras que el segundo utiliza dos tecnologías: combina la medición en tiempo real de la dispersión de la luz con el método gravimétrico en filtros. La estación ubicada en la Fase 4 y en el Truck Shop en cambio, solo manejan el monitoreo del E – Sampler, pero finalmente todas son utilizadas para determinar la concentración de partículas en tiempo real.

Por temas de ubicación e interés, solo se evaluarán datos de la estación emplazada en Fase 4, pues las otras reciben y registran mayormente la polución proveniente de la planta de chancado.

2.6. Iniciativas por parte de la minera

Desde comienzos de la operación, la empresa minera se encuentra en una persistente búsqueda por iniciativas que ayuden a mitigar la polución, pues la salud y seguridad de sus trabajadores, y el rendimiento de los equipos, en un tema intransable para esta compañía. Dentro de la carta de soluciones actual que se están poniendo en marcha en mina, destacan iniciativas como SmartRoad, Bischofita, Ventiladores Tow and Bow, Riego automatizado y

el supresor de polvo Watersol MPOL 515, las cuales son independientes, pero en su conjunto contribuyen efectivamente en la disminución de material particulado.

2.6.1. SmartRoad

Corresponde a un grupo de herramientas tecnológicas que permiten saber el estado de emisiones de polvo en los caminos debido al polvo operacional que se genera por los equipos móviles mina. Esta tecnología actualmente la posee una flota de 10 camiones caex, 3 camiones regadores y 2 estaciones fijas (GIMP25 y GIMP26), por lo tanto, se realizan mediciones directas y continuas sobre el estado de los 104 caminos mina, entregando datos en tiempo real como mapas de concentración de polvo, riego, meteorología y emisiones de caminos. A partir de esta información entregada en la plataforma que se presenta en Figura 2.18, se gestionan decisiones para mitigar los focos con mayores emisiones de polvo (demarcadas en color rojo), esto mediante un despacho inteligente de regadores, impactando positivamente en la calidad del aire normado ambientalmente. La zonificación en azul en cambio, indica los caminos previamente regados y que aún no presentan criticidad por levantamiento de polvo.

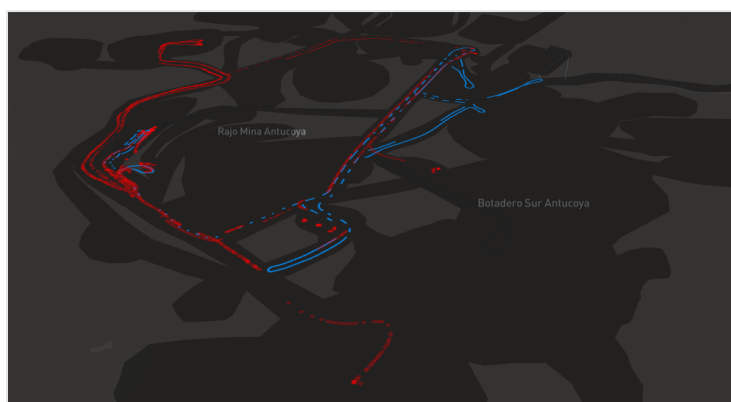


Figura 2.18: Plataforma SmartRoad.

Fuente: Think Mining.

Es importante mencionar que los camiones aljibes realizan tramos de riego, es decir, 40 metros se humectan y 40 metros no, con el fin de que los camiones no se vean afectados en los caminos con pendiente y ellos mismos humecten con el rodado del neumático el sector faltante.

2.6.2. Bischofita

La Bischofita es un mineral de cloruro de Magnesio hexahidratado, utilizado como estabilizador químico de capas de rodadura y como tratamiento para el control de polvo de caminos no pavimentados y con baja humedad. La propiedad fundamental de esta sal es la higroscopía, es decir, la capacidad de captar y/o retener el agua del ambiente, logrando una humectación superficial de los caminos que impacta directamente en la durabilidad de estos mismos. En Figura 2.19 se aprecia la compactación de los caminos cuando a estos se les aplica bischofita.



Figura 2.19: Aplicación de bischofita en caminos.

2.6.3. Ventiladores Tow & Bow

Hace unos años, Antucoya adquirió 2 hélices portátiles Tow & Blow 250H de la empresa Zimex, diseñados para áreas de la agricultura para controlar heladas, secado de fruta, disminución de insectos, etc. En Figura 2.20 se muestra uno de estos listos para su puesta en marcha, comprados por la minera como medio de ventilación para los chancadores para dispersar el polvo en suspensión.



Figura 2.20: Ventilador Tow & Bow en chancador primario.

En la actualidad, se está tramitando la llegada de un tercer ventilador, más robusto que su versión anterior, ya que se observa una inmensa efectividad en términos de visibilidad.

2.6.4. Riego automatizado

Proyecto en proceso de montaje, consta de un riego automatizado en el camino principal de la mina cercano al abastecimiento de agua de los camiones aljibe: la cachimba. El principio se basa en instalar aspersores cada cierta distancia para apoyar el regado de caminos, tal como se presenta en Figura 2.21.



Figura 2.21: Ubicación de las instalaciones del riego automatizado.

Fuente: Google Earth.

De esto se proyectan iniciativas futuras como la conexión de instalaciones que lleguen a las fases actuales y se pueda efectuar un tipo de pulverización de agua para mitigar el polvo suspendido en la mina.

2.6.5. Supresor de polvo Watersol MPOL 515

A inicios de este año se implementa en Minera Antucoya el supresor de polvo conocido como Watersol MPOL 515 de la empresa IngerWaterSolutions Tecnologías SA, quienes ofrecen soluciones integrales en temas de agua y procesos.

Este corresponde a un agente humectante para las frentes de carguío, que basa su funcionamiento en el cambio de tensión superficial del agua, haciendo que el contacto entre las partículas sólidas y líquidas sea más afín (Cifuentes et al., s. f.). En Figura 2.22 se muestra a mayor detalle el mecanismo de acción mencionado por la empresa.

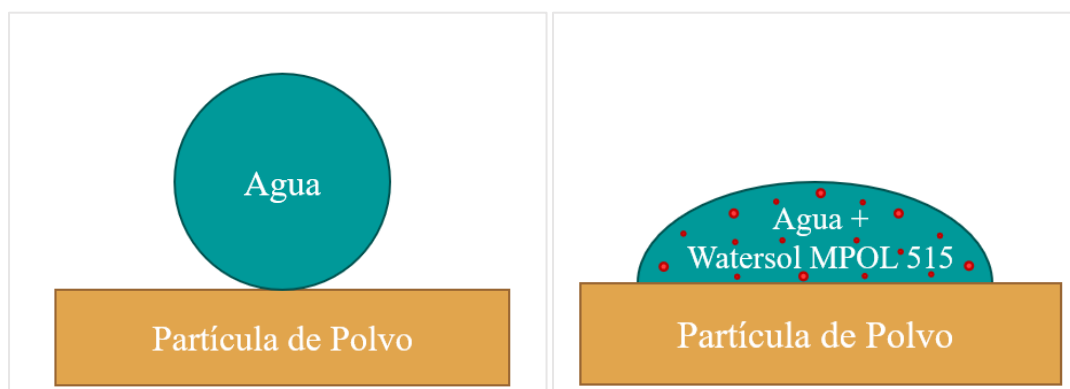


Figura 2.22: Humectación pobre (izquierda) y buena humectación (derecha).
Fuente: (IngerWaterSolutions Tecnologías SA., s. f.-b).

2.6.5.1. Composición

La formulación como tal, es contenido privado de la empresa proveedora, aun así, se describe la composición del producto como una mezcla de agentes no iónicos: polietitenóxido y polietilenglicol trimetil nonileter (IngerWaterSolutions Tecnologías SA., s. f.-a).

Los glicoles de polietileno, también conocidos como polietilenglicoles (PEG), son un poliéster que tiene muchos usos que van desde la industria manufacturera hasta la industria medicinal. Comercialmente es usado como agente tensoactivo en alimentos, cosmética, biomedicina, etc (Chemfluid, 2022).

El éter nonilfenol de polietilenglicol, también conocido como nonilfenol etoxilado, es un compuesto químico viscoso que sirve como emulsificante en una gran cantidad de elementos de limpieza de uso doméstico. También es un excelente surfactante (Productos Químicos Chile, s. f.).

Esto en conjunto con otros componentes, dan origen al producto Watersol MPOL 515, en faena llamado informalmente como “Surfactante”, el cual fue fabricado específicamente para plantas hidrometalúrgicas.

2.6.5.2. Mecanismo de acción

Con respecto a la forma de actuar del producto, este por sí solo no presenta efecto, no así cuando se encuentra en presencia de agua. Tanto el mineral como el lastre son de carácter hidrofóbico, lo que desencadena en una baja eficiencia al momento de aplicar solamente agua, de ahí la innovación con este producto, que potencia ampliamente las propiedades físico – químicas de este recurso vital (IngerWaterSolutions Tecnologías SA., s. f.-b).

Finalizadas las 24 horas de humectación señaladas por la empresa, se espera encontrar el material aglomerado como se muestra en Figura 2.23.



Figura 2.23: Material aglomerado post humectación.

2.6.5.3. Parámetros de aplicación

La concentración varía desde los 200 hasta los 1.400 ppm en función de la humedad aportada. De acuerdo a la experiencia de la empresa, se necesita añadir, a lo menos, 0,5 a 3,0% de humedad adicional al material, según sea el estudio particular del terreno a tratar (Cifuentes et al., s. f.)

Para el estudio realizado en Antucoya, la dosificación idónea es de 800 y 1.333 ppm, según sea mineral o lastre, con una humedad de 1,5% y 3,0% respectivamente.

2.6.5.4. Esquema de trabajo

La forma adecuada para llevar a cabo las labores de aplicación según la empresa IngerWaterSolutions Tecnologías SA se plantean en Figura 2.24.

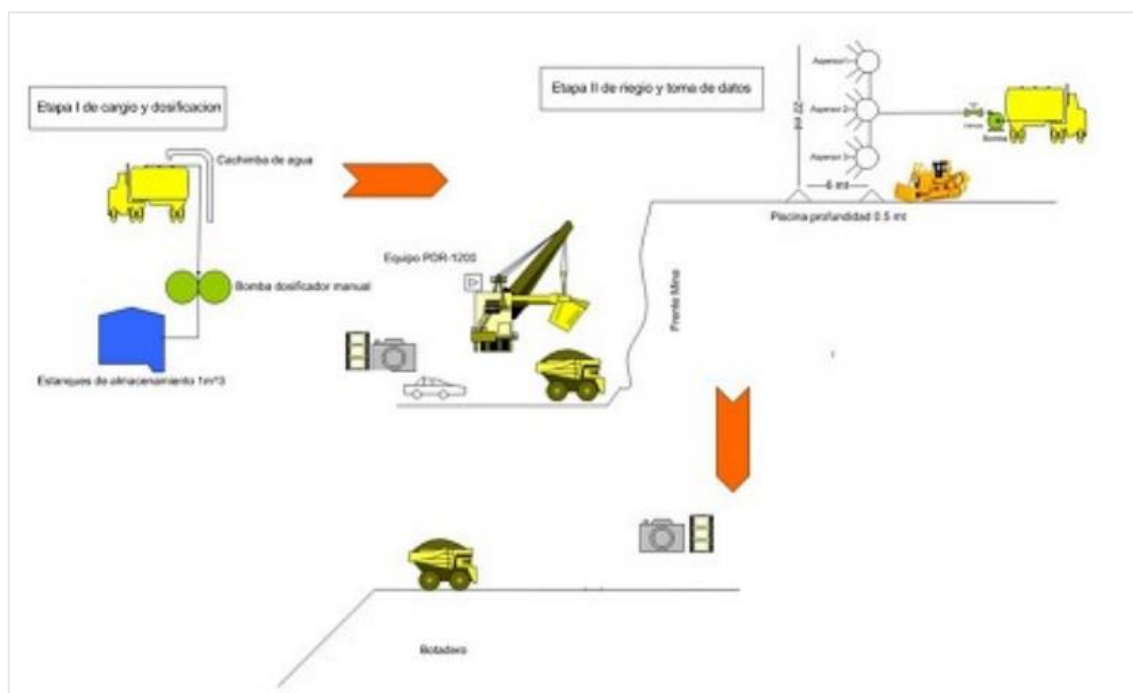


Figura 2.24: Esquema global de trabajo.

Fuente: (Cifuentes et al., s. f.).

En Figura 2.24 se describe el proceso por etapas, partiendo por la carga de los camiones aljibes en la cachimba de agua, mediante una bomba dosificadora. La segunda etapa consta del riego de las plataformas alejadas de la frente de carguío, delimitado por pretilos de

seguridad, y una vez que la pala se acerque al sector humectado, se comienza la toma de datos.

2.6.5.5. Resultados esperados

Las pruebas realizadas a fines del 2022 demostraron que en el mineral la percolación alcanzó 13 a 14 metros de una altura de banco de 16 metros, lo que corresponde a más de un 80% de humedad en el área tratada. Para el caso del lastre, la percolación fue casi total, apreciándose 15 metros de irrigación, es decir, sobre un 90%. Con respecto a la reducción de MP4, medición realizada para ese entonces, mostró en mineral una disminución de un 90% versus en lastre que fue de un 85 a 97%, como se aprecia en Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Reducción de MP4 emitido al ambiente (Cifuentes et al., s. f.).

Fecha	Pala	Fase	Material	% Reducción de emisión [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
30-10-2022	S02	5	Mineral	90%
16-11-2022	S02	6	Lastre	85%
05-12-2022	S02	6	Lastre	97%

Los índices de efectividad de este producto, muestran un inmenso potencial en la mitigación de material particulado, favoreciendo las condiciones de operación y de salud, estando en directa colaboración con el PLANESI, que, si bien no se han detectado casos en la faena, no es un tema indiferente.

2.6.5.6. Pruebas previas para determinar la dosificación ideal

Debido al buen resultado que mostró visiblemente el producto en terreno durante su fase de prueba, el área de Metalurgia solicita estudios para verificar que el supresor no interfiere en procesos posteriores, con el fin de implementar de lleno su uso en faena.

Es por ello que se le pide a la empresa distribuidora de químicos Pochteca, verificar que el producto no genera efectos negativos en el proceso de Extracción por Solventes a una concentración de reactivo a 800 ppm, dosis mínima recomendada por el proveedor y que Antucoya utilizaría para todo el material a tratar. Se realizaron pruebas de contacto y para ello fue necesario proveer a la empresa con los efluentes de SX, para ser caracterizados al inicio y al final de la prueba por su densidad, viscosidad, tensión superficial e interfacial.

Posterior a los contactos, se midió el tiempo de separación de fases (TSF), para ver si estos se veían impactados. El resultado de estas pruebas fue exitoso, puesto que los parámetros críticos de SX se mantuvieron estables; no obstante, se recomendó realizar un estudio acumulativo con el fin de evaluar el efecto en el tiempo (Letelier, s. f.).

Frente a lo anterior, Minera Antucoya decide contactar a la empresa consultora en procesos mineros y metalúrgicos Proexito Ltda., para que estudie, a través de pruebas de multicontacto, el efecto del aditivo controlador de polvo. Para ello, la minera debió proveer nuevamente los insumos de la planta de SX, con una concentración del reactivo de 12 ppm. Básicamente las pruebas consideraron una extracción y una reextracción para los 10 ciclos, controlando en cada etapa el TSF en ambas continuidades, y los parámetros físicos y químicos de la fase orgánica, como: densidad, viscosidad, tensión superficial e interfacial, carga máxima, contenido de cobre y los sólidos en suspensión. Los parámetros químicos evaluados en el PLS demostraban compatibilidad en todas las pruebas ejecutadas en el control de calidad; los parámetros físicos en cambio alertaban un mayor TSF en continuidad acuosa (CA) que en continuidad orgánica (CO), lo que potencialmente vulnera una condición de que se puedan invertir la continuidad de fases en la etapa de extracción, con el riesgo de incrementar arrastres de una fase en otra. Es por lo anterior, que se sugirió disminuir la dosis del reactivo con el objetivo de no vulnerar los parámetros físicos (Cruz, et al., 2023a).

Debido a los resultados un tanto desalentadores, se propone evaluar nuevamente el producto Watersol MPOL 515 a una dosificación menor, con el objetivo de verificar que los tiempos de separación de fases no se vean invertidos en ningún momento y, por tanto, no afecte los procesos de SX y EW. Esta última prueba fue realizada bajo una lógica similar que la recientemente mencionada, pero a concentraciones de 3 y 6 ppm, comparando siempre con una línea base. Los resultados fueron positivos, concluyéndose directamente que el producto no compromete los procesos de Extracción por Solventes para esas concentraciones (Cruz, Rojas, et al., 2023b).

Finalmente, con ambas pruebas realizadas, la empresa Proexito recomienda iniciar la adición del aditivo controlador de polvo en dosis de 9 ppm (Cruz, et al., 2023b).

3. Metodología de trabajo

3.1. Actual metodología

Gracias a extenuantes visitas a terreno, se logró percibir que, a pesar de que el producto se aplicaba en las frentes de carguío, la condición de polvo seguía siendo abrumadora. Esto conllevó a revisar el procedimiento de trabajo, encontrando varias falencias en el manejo y disposición del producto mitigador de polvo, lo cual hizo poner en duda el cómo se llevaba a cabo la planificación, desde la revisión de los espacios disponibles en la mina hasta la toma del material humectado por parte de los equipos de carguío.

Para comenzar, se visualizó el protocolo que indica la configuración de cómo debe aplicarse el producto.

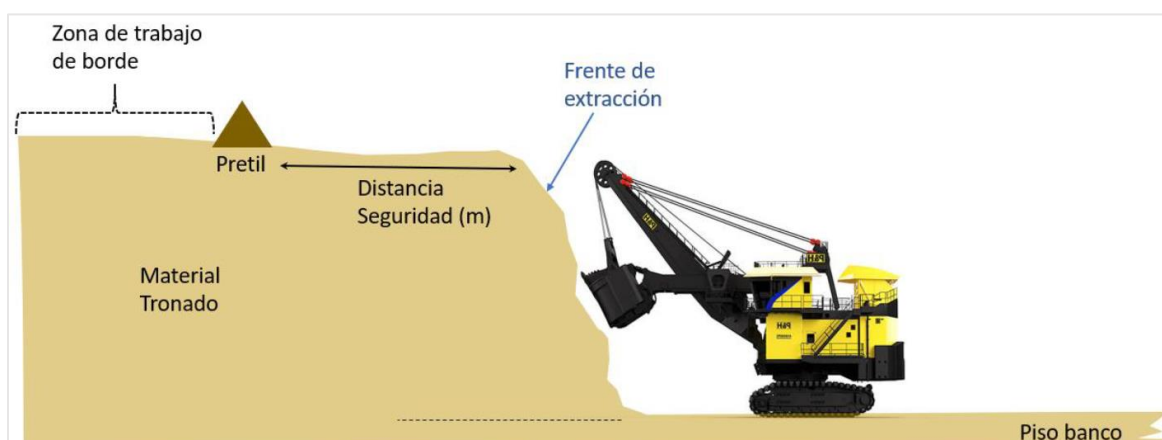


Figura 3.1: Esquema de trabajo actual.
Fuente: (E. González & Poblete, 2023).

En Figura 3.1 se resumen los defectos del proceso que se estaba llevando a cabo en términos de planificación y operación mina, debido a que el pretil demarca la zona de trabajo de borde con la distancia de seguridad, es decir, es fácil interpretar que el producto debe aplicarse en esta zona de seguridad, considerando que este montículo es quien indica hasta donde está permitido avanzar por el equipo regador. En Figura 3.2 se demuestra este malentendido.



Figura 3.2: Aplicación de surfactante llevada a cabo en la actualidad.

Lo anterior, deja en evidencia que el aditivo Watersol MPOL 515 no se está aplicando como propuso en un inicio la empresa proveedora, pues existe descoordinación entre las áreas que planifican las plataformas y, por ende, la operación misma de terreno.

En términos de planificación, el área de Geomensura realiza un levantamiento topográfico día a día con el objetivo de ver el avance de la mina. Con ello, estima los avances de los equipos y envía esta información al área de Planificación Corto Plazo (PCP), quien gestiona esta data y libera un plan semanal todos los jueves, en donde se indican las secuencias de posiciones de los equipos de carguío, los trabajos prioritarios y datos extras relacionados a las mantenciones, tronaduras y producción como tal para la semana. En Figura 3.3 se hace referencia a las posturas de los equipos para la semana del 7 al 13 de septiembre, indicándose en colores el avance por día.

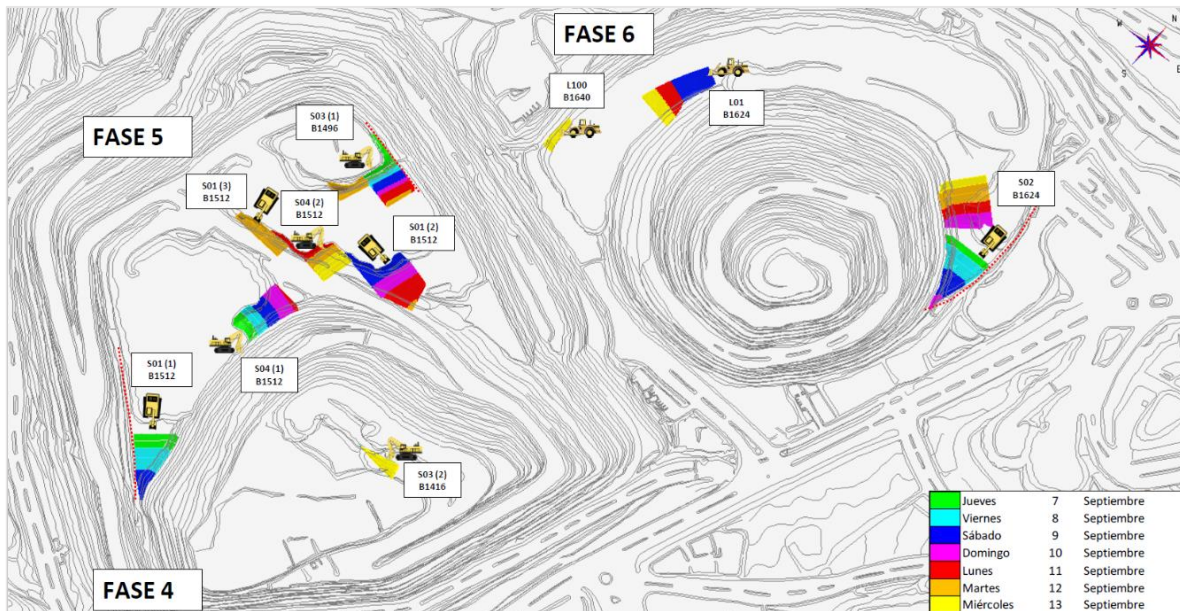


Figura 3.3: Secuencia semanal del 7 al 13 de septiembre 2023.
Fuente: (Superintendencia de Gestión y Programación Operacional, 2023).

Esto es enviado al área de Gestión y Programación Operacional (G&PO) para ser materializado en términos de diseños, proponiéndose accesos y espacios para la creación de plataformas de regadío cuando se trata del supresor de polvo. Estimado el espacio, se deja por escrito en el respectivo Plan Operacional de la semana, como se aprecia en Figura 3.4.

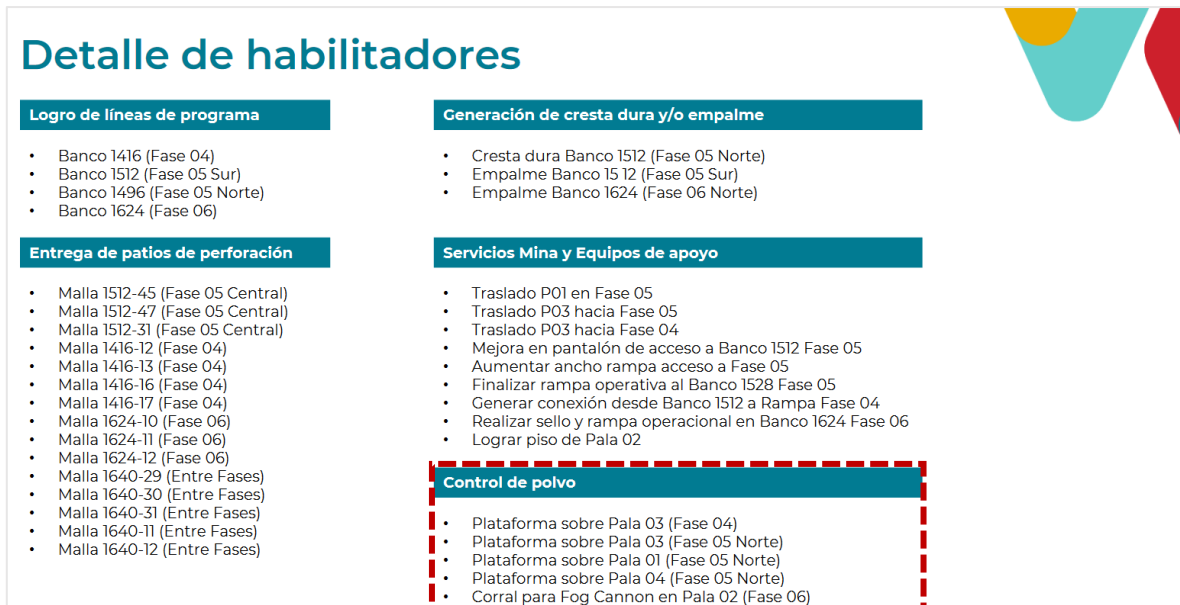


Figura 3.4: Habilitadores semana del 7 al 13 de septiembre 2023.
Fuente: (Superintendencia de Gestión y Programación Operacional, 2023).

Siguiendo con esta misma área, destaca el despacho de equipos de apoyo, los cuales se destinan por día y deben ser asegurados para la construcción de las piscinas de regadío. En Figura 3.5 se puede observar que estos se asignan para diversas actividades.



Figura 3.5: Programa de actividades semana del 7 al 13 de septiembre 2023.

Fuente: (Superintendencia de Gestión y Programación Operacional, 2023).

Esta información, es enviada a las personas pertinentes, incluyendo a los jefes de turno mina, que tienen la labor de explicar las actividades que deben llevar a cabo sus operadores, cumpliendo con las 7 vueltas por turno de 45 litros de producto en cada camionada, siendo el target diario 630 litros a contar del 9 de agosto (antes eran 420 litros).

Semanas puntuales se realizaron diálogos de desempeño al inicio de cada turno donde se buscaba instruir a los operadores de los equipos, mediante la premisa expuesta en Figura 3.6.

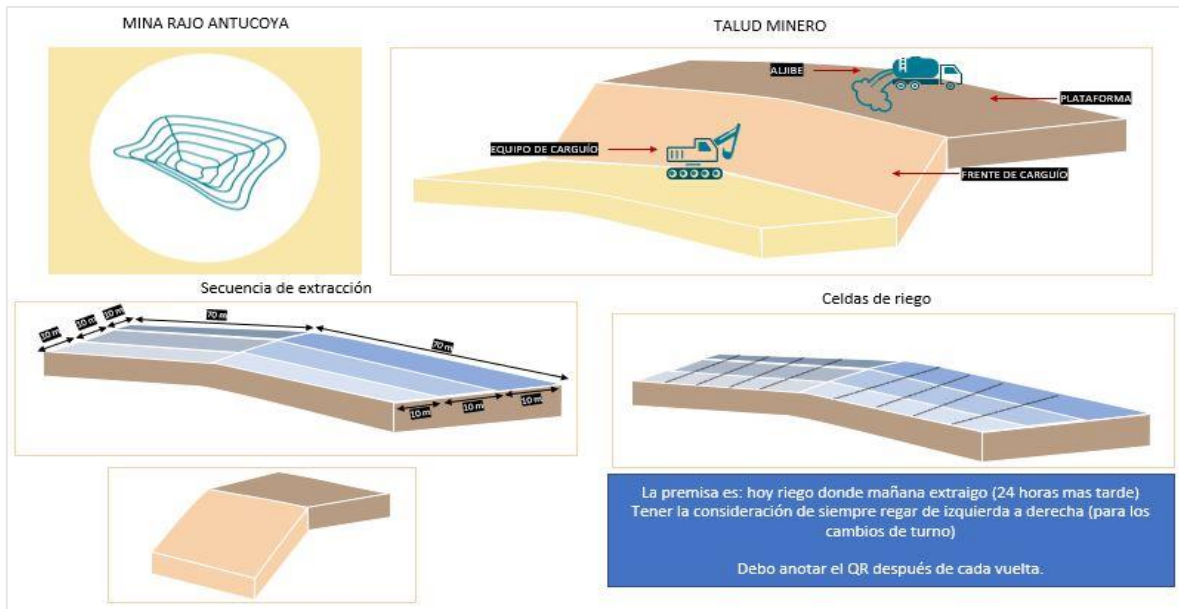


Figura 3.6: Ilustración mostrada en los diálogos de desempeño.
Fuente: (Mendoza & Hernández, 2023).

A pesar de que se recalcan las 24 horas de humectación, se repite la masificación de una incorrecta ejecución, no permitiendo ver la eficacia del químico.

3.1.1. Hallazgos

Dentro de las observaciones que se pudieron apreciar en terreno, que impactan directamente en la disponibilidad y efectividad del producto, destacan:

Desde la planificación:

- Existe desinformación en las personas que intervienen en este proyecto, lo cual desencadena en una mala ejecución desde los orígenes.
- Se elige el espacio de trabajo sobre los equipos de carguío y se deja por escrito el sector (Figura 3.4 y 3.5), no señalándose el espacio efectivamente a utilizar que sea prudente para cumplir con las distancias seguras y el tiempo de humectación.
- No se realizan cálculos respectivos que respalden la cantidad de producto a aplicar en una determinada zona; más bien, solo se eligen los sectores a humectar y se cumplen 7 camionadas por turno, aplicadas en cualquiera de estas áreas.

- Los equipos de apoyo usualmente son priorizados para otras actividades, como entrega de patios de perforación, rampas operacionales, mantención de botaderos y stock, etc; no estando siempre disponibles para el aplanamiento y creación de pretilas que conforman las plataformas. De aquí también se desprende la falta de equipos que posee la minera, ya que la confiabilidad es baja de los que operan actualmente. Si los bulldozer o wheeldozer no construyen canchas, se deja de aplicar producto, y si los camiones regadores fallan, también sucede esto mismo.
- En las reuniones al inicio del turno, no se hace referencia a la aplicación del producto por parte de los jefes de turno para ninguno de los equipos que involucra llevar esta iniciativa (bulldozer, wheeldozer y aljibes).

La acumulación de estos y otros aspectos, se ven visualizados en terreno bajo las siguientes conductas:

- No existe demarcación in situ de donde deben ser creadas las plataformas, por tanto, el operador del equipo de apoyo, quien posee cierto grado de desconocimiento en la ejecución del proyecto, diseña un pretil general que no respeta ningún criterio de aplicación y seguridad, lo que desencadena en la incorrecta humectación debido a que los camiones aljibes se dirigen a los sectores creados por estos últimos. Cuando es aplicado de esta forma, el aditivo no logra alcanzar el tiempo de percolación requerido, notándose una humectación pobre de unos cuantos centímetros, como en Figura 3.7.



Figura 3.7: Percolación incompleta del supresor de polvo.

- También suele ocurrir una mala práctica en el vaciado, pues muchas veces se presenció que este se riega en la misma frente de carguío, como se muestra en Figura 3.8, logrando que el material humedecido sea sacado de inmediato por la pala.



Figura 3.8: Producto aplicado directamente en la frente.

- Cuando el mitigador de polvo logra percolar, sucede porque existe una desconexión en la planificación del vaciado del producto y el avance de la pala, como se aprecia en Figura 3.9, ya que este percola las horas necesarias cuando la nube de extracción de la pala va en otro sentido y no extrae de allí; y cuando se aplica y no se deja humectar las 24 horas, es

porque el avance va en línea con la pala. Muchas veces este fenómeno se da para cumplir con la alimentación a la planta, buscando siempre las mejores leyes.



Figura 3.9: Desconexión aplicación del producto y avance del equipo de carguío.

- En Figura 3.10 también es posible observar canchas mal diseñadas que no cumplen con la distancia de seguridad y, por ende, el mitigador de polvo escurre en vez de ser retenido para percolar. Si esta forma de crear canchas se diese respetando el avance del equipo de carguío, este diseño no estaría mal, ya que con los pretiles respectivos lograría humectar eficientemente.



Figura 3.10: Plataformas mal diseñadas.

En términos de manipulación del aditivo Watersol MPOL 515, también se presentan carencias, como por ejemplo:

- Existe dependencia de la grúa horquilla del área de mantención para la descarga y acomodo de los isocontenedores, como se muestra Figura 3.11. Esto conlleva a quedar sin producto en ocasiones por la falta de disponibilidad de esta maquinaria.



Figura 3.11: Grúa horquilla del área de mantención.

- Demarcación precaria para delimitar los 45 litros de producto. En Figura 3.12 se deja en evidencia que esto se realiza *in situ* con un “molde” basado en la geometría del isocontenedor.



Figura 3.12: Delimitación de producto a aplicar por camión.

- El medidor de la capacidad del aljibe se encuentra defectuoso, por tanto, se espera a que rebose para detener el flujo, desperdiciando parte del supresor de polvo, como se muestra en Figura 3.13.



Figura 3.13: Desperdicio de producto por rebose.

- De acuerdo con una conversación sostenida con los operadores de los camiones aljibes, la falta de activos impacta directamente en la aplicación del mitigador de polvo. La minera actualmente cuenta con 5 de ellos, donde 3 son utilizados para esta labor y, según la planificación que ellos comentan con sus pares, se basa netamente en que siempre se encuentren estos tres equipos trabajando con agua y producto a la vez, considerando posibles casos de incendio u otro tipo de emergencia. En caso de que dos equipos queden fuera, el que quede operativo siempre se priorizará para el riego de caminos con agua.
- No se focaliza el riego sobre un equipo de carguío, más bien, se aplica un poco sobre cada sector donde trabajan las palas. Esto conlleva a que una zona en específico no sea humectada con los litros pertinentes, perdiéndose la efectividad real del producto.

3.1.2. Cuantificación del producto

Como fuentes de registro para este producto, se tienen las siguientes iniciativas:

- Código QR: Mediante un dispositivo móvil, el operador del camión aljibe escanea un código QR dispuesto en su cabina que lo lleva a un Form de Office, con el objetivo de

dejar un registro de las vueltas hechas con producto al final de su turno. En Figura 3.14 se muestra esta plataforma en donde se deja registro de la fecha, el turno en el que se encuentra el trabajador (Turno A o Turno B), grupo al que pertenece, equipo aljibe que opera, fase donde regó, equipo sobre el cual aplicó el producto, el número de descargar que hizo durante su horario de trabajo, para finalmente dejarle un espacio para comentarios u observaciones.

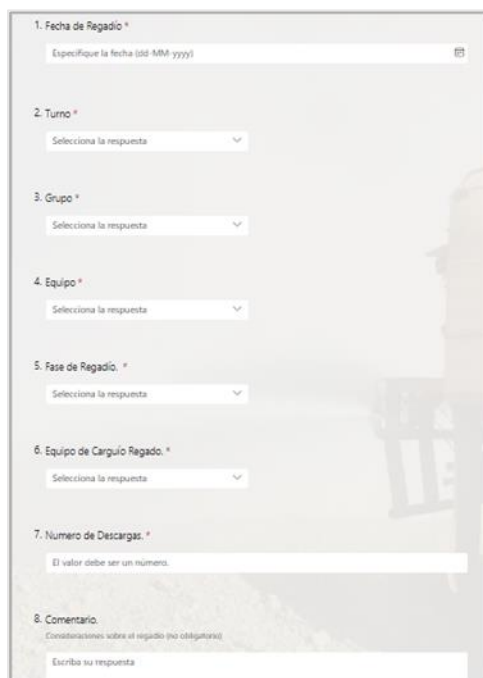


Figura 3.14: Formulario cuantificador de la aplicación del producto.

- Grupo de WhatsApp: Al final de cada turno se menciona el movimiento de material, KPIs de los equipos y afectaciones, entre otros, para finalmente reportar la cantidad de camiones que regaron sobre las palas. Esta información proviene directamente del reporte que genera el operador aljibe verbalmente con el despachador.
- Estación meteorológica 1: como su nombre lo indica, es una estación meteorológica que, además, mide la concentración de MP10 en la mina. El apartado 2.5 explica más a detalle este dispositivo.
- Estado operativo “Surfactante”: Implementado en las palas, se encuentra un monitor que indica al operador los polígonos y nubes de extracción, junto con su respectiva información asociada. Adicional a ello, destacan ciertas ventanas desplegables donde se

encuentran los estados de la pala: operativo, mantención, demora y reserva. En Figura 3.15 se presenta el despliegue del estado operativo “surfactante”, ideado para ser imputado cuando el operador visibilice la frente humectada con el supresor de polvo.



Figura 3.15: Estado “surfactante”.

- Verificación en terreno por parte del Líder de Servicio: Se visualiza si existe consistencia entre las descargas dichas por los operadores y el vaciado *in situ* de los estanques.

3.2. Propuesta de mejora en la metodología

Lograr el beneficio esperado del proyecto supresor de polvo Watersol MPOL 515 requiere de compromiso y un cumplimiento riguroso de un plan que, por cierto, tiene a varias áreas involucradas.

Para comenzar y tal como se ha hecho hasta ahora, el área de PCP debe asegurar, todos los jueves, la entrega de un plan semanal que indica las posturas de los equipos para la semana en curso, es decir, debe dar a saber con precisión el movimiento de las maquinarias al interior del rajo.

Este recurso, es enviado al área de G&PO, quienes tienen a cargo el revisar si existe una zona para aplicar producto, al mismo tiempo que debe ver la viabilidad de construir un acceso para que el camión aljibe pueda ingresar a la zona, esto considerando netamente el espacio para disponer carga sobre el banco.

El paso a seguir es dimensionar el sector con potencial a tratar. Para ello es imprescindible conocer esta información con el área de Geomensura, quienes realizan levantamientos

topográficos día a día con escáner I-Site o, en su defecto, GPS si las condiciones ambientales no lo permiten.

Adicional a ello, resulta enriquecedor conocer el tipo de material que se tiene allí para saber la densidad y humedad a aportar según sea mineral o lastre. La densidad de estos es conocida por la minera cuando se trata del macizo rocoso, pero cuando se trata de material tronado solo se maneja un valor estándar de 1,8 ton/m³. Para el caso de la humedad a aportar, según estudios confidenciales en terreno por parte de la empresa IngerWaterSolutions Tecnologías SA., esta es de 1,5% para mineral y 3,0 % para lastre.

Para comenzar a realizar los cálculos que propone la empresa proveedora del producto, es necesario conocer el largo, ancho y alto de la frente donde extraerá el equipo seleccionado, con el objetivo de conocer el volumen a tratar, según Ecuación 1.

$$v = l * a * h \quad (1)$$

Donde:

- l: largo de la frente [m]
- a: ancho de la frente [m]
- h: altura del banco [m]

Como es de esperarse, todas estas variables dependerán del espacio disponible, no así la altura, que se dejará fija sabiendo que el banco mide aproximadamente 16 metros. También es importante conocer la nube de extracción diaria de estos equipos, para saber el avance diario que tienen y no se construyan las plataformas encima de la extracción.

- Para el largo:
 - Palas hidráulicas: 60 metros aproximadamente
 - Palas eléctricas: 80 metro aproximadamente
- Para el ancho:
 - Palas hidráulicas: 10 a 15 metros aproximadamente
 - Palas eléctricas: 20 a 25 metros aproximadamente

Conocido el volumen y utilizando la densidad del material tronado, con Ecuación 2 se calcula la masa del bloque de interés.

$$m = \rho * v \quad (2)$$

Donde:

- m : masa a tratar [ton]
- ρ : densidad del material [ton/m³]
- v : volumen a tratar [m³]

Luego de obtener la masa a tratar, se procede a determinar la masa a humectar mediante Ecuación 3. Esto se realiza considerando la humedad aportada según sea mineral o lastre.

$$m_h = \frac{m * H}{100\%} \quad (3)$$

Donde:

- m_h : masa a humectar [ton]
- m : masa a tratar [ton]
- H : humedad [%]

Si se considera una densidad del Watersol MPOL 515 de 1 ton/m³, información proporcionada por el proveedor, se puede obtener el volumen a humectar, v_h , siguiendo Ecuación 2.

Posterior a ello, se considera la capacidad del camión aljibe de 75 m³, con lo que puede determinarse el número de camiones necesarios para humectar la zona, siendo este mismo valor, considerado como el número de canchas a construir. Lo anterior queda expresado en Ecuación 4:

$$N_c = \frac{v_h}{c_a} \quad (4)$$

Donde:

- N_c : número de camiones
- v_h : volumen a humectar [m³]

- c_a : capacidad del camión aljibe [m^3]

Para determinar los litros de producto, previamente se debe conocer la concentración de producto por cada tonelada de material, el cual resultó ser 9 ppm, según los estudios previos mencionados en el apartado 2.6.5.6.

Ahora, y retomando la información anterior, con Ecuación 5 se evalúa la masa de producto supresor de polvo:

$$m_p = \frac{m * c_p}{n_c} \quad (5)$$

Donde:

- m_p : masa de Watersol MPOL 515 aplicada por camión [g]
- m : masa a tratar [ton]
- c_p : concentración del producto [g/ton]
- n_c : número de camiones

Que resultará en 45.000 gramos, por estar siempre en relación con la masa y los camiones a utilizar. Para calcular los litros, se debe considerar nuevamente la densidad del producto y utilizando Ecuación 1, resulta 0,045 m^3 , o 45 litros en su defecto.

La idea esencial de cómo aplicar el producto supresor de polvo, se basa en la construcción de piscinas pequeñas, acotadas y cerradas en sus cuatro extremos, para apuntar a que el producto percole homogéneamente, pues según estudios de la empresa proveedora del producto, construir plataformas grandes e irregulares conlleva a la concentración del producto en un determinado punto, no logrando el efecto deseado. Además, se debe tener en cuenta un día completo de percolación, es decir, desde que se completa el riego del sector deseado, se comienza el conteo de horas necesarias.

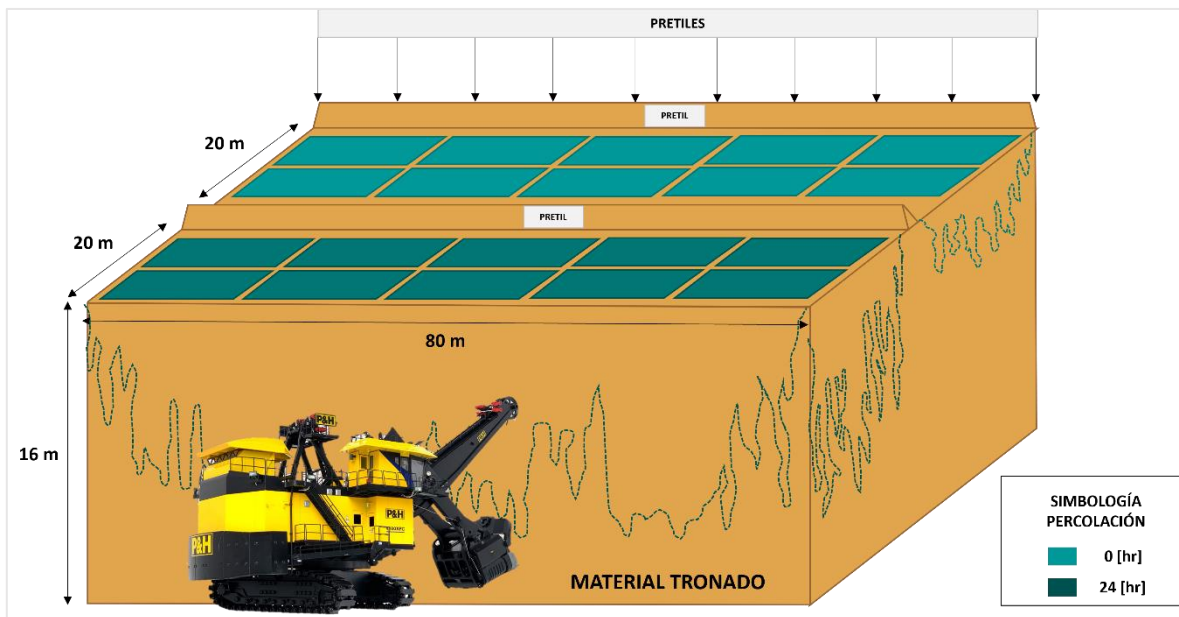


Figura 3.16: Diseño ideal propuesto para la humectación de frentes de carguío.

En Figura 3.16 se presenta un diseño lógico de como debiese funcionar el proceso y se señalan sectores de 20 metros de ancho, por 80 de largo y 16 de alto, considerando que este es el avance diario aproximado de una pala eléctrica P&H 4100XPC. Para este sector dimensionado, se necesitan cerca de 10 camiones aljibes, quedando 5 piscinas de 20 metros de ancho por 8 de largo. En vista de que quizás no sean muy eficientes, se propone la cubicación de 10 plataformas de 10 metros de ancho por 16 metros de largo, así se asegura una percolación más homogénea. Como es posible observar, la disposición de las piscinas queda a criterio de quien realiza estos cálculos, obviamente cumpliendo siempre con la metodología mostrada.

Con respecto a las labores de terreno, los pretiles los llevarán adelante equipos de apoyo mina, como bulldozer o wheeldozer, previamente distribuidos por el área de G&PO. No menos importante, se considera el apoyo del área de Geomensura para demarcar en terreno la ubicación de los pretiles, para que los operadores de estos lo realicen tal y como se planificó. De no ser posible, se podrían cargar estos puntos a la pantalla que opera el equipo bulldozer o wheeldozer, para que sepan el lugar específico donde realizar estos montículos de roca. Según se mencionaba en este estudio, la falta de estos activos impacta en la aplicación del producto, es por ello que se propone realizar, al menos, la creación de los pretiles más importantes que delimitan el sector, tal como se muestra en Figura 3.17. La idea

principal es que la fragmentación creada en el macizo rocoso permita la distribución y percolación del químico a través de las grietas.

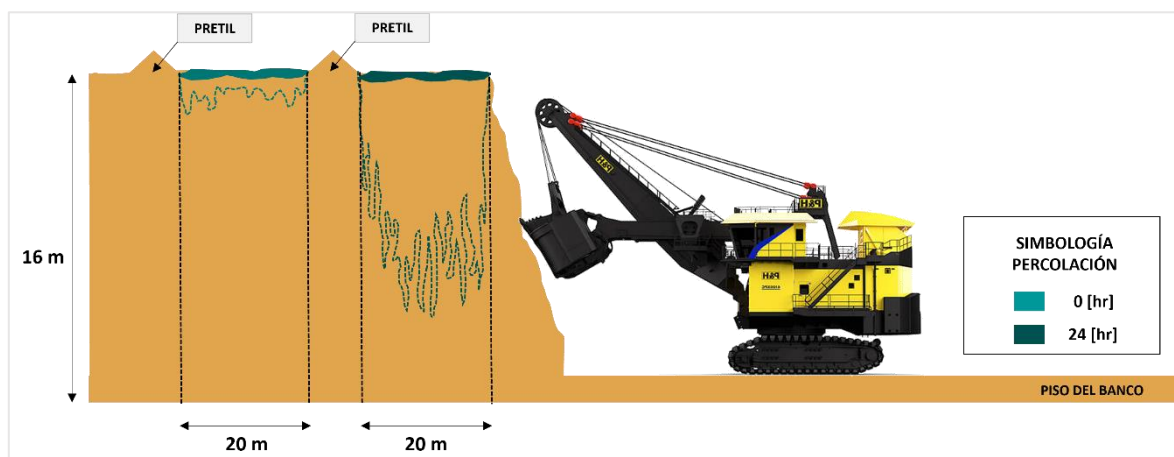


Figura 3.17: Diseño ideal de aplicación de producto.

Toda esta información relacionada a la creación de plataformas debe quedar materializada en el Last Planner, para que la información sea distribuida por los jefes de turno a todo el personal de terreno inmerso en este proyecto. La idea es que estos líderes puedan ejecutar lo solicitado según la metodología y puedan focalizar un área específica a regar antes de moverse a humectar otro sector.

Finalmente, el área de Carguío y Transporte debe asegurar la correcta ejecución de todos los entes involucrados en la operación, evaluando calidad y seguridad, ya que la actividad se lleva a cabo en su zona de trabajo.

3.2.1. Oportunidades

Con respecto a mejoras que serían beneficiosas implementarlas en faena, se propone:

- Referente a la movilidad de los isocontenedores, se evalúa la instalación de un estanque grande que almacene este producto, con la finalidad de dejar de depender, en lo posible, de la grúa horquilla del área de mantención. También sería ideal disponer este contenedor en un espacio techado para almacenar de mejor forma el producto.

- Instalar una bomba automática que dosifique los 45 litros de producto para no depender de una persona en la demarcación que, por cierto, puede llevar a un error utilizando menos producto del debido o llevando al sobreconsumo.
- Automatizar el sistema de llenado de agua y supresor de polvo en el camión aljibe, de modo que el operador pueda accionar un botón y comience la descarga. Esto se visualiza como oportunidad, ya que actualmente para el trabajador significa bajarse del equipo para operar todo el sistema de llenado, exponiéndose a la fuerte radiación solar por cerca de 20-30 minutos, que es el tiempo que se demora en estar a su límite la capacidad del camión.
- Poner en funcionamiento el medidor del estanque del camión aljibe, para no tener que desperdiciar el producto para saber si está lleno.
- Contar con más equipos de apoyo, tanto aljibes como bulldozer/wheeldozer de modo que existan mayores recursos para estas labores.

3.2.2. Cuantificación en los equipos de carguío

Debido a lo difícil que resulta cuantificar este proyecto, tanto por cómo se lleva adelante la iniciativa como por los recursos disponibles, es que revisar ciertos KPIs asociados a productividad de los respectivos equipos no resulta viable, además de que las condiciones día a día varían y estos parámetros se ven impactados.

3.2.2.1. Tiempos de carguío

Frente a estas adversidades, se plantea tomar información *in situ* relacionada a la operación de carguío, recogiendo datos asociados al llenado de los camiones Komatsu 930 – E en un tiempo determinado. El objetivo era establecer una línea base y posteriormente evaluar el beneficio del producto, considerando condiciones similares y esperando una disminución en los tiempos debido a la mejor condición de visibilidad. Más específicamente, el tiempo medido consideró el carguío de material por parte de la pala, el acuatamiento del camión, la respectiva descarga de material en la tolva, y lo mismo para los dos pases restantes;

esto para 20 camiones consecutivos en cada día. En Figura 3.18 se deja en evidencia lo recientemente descrito.

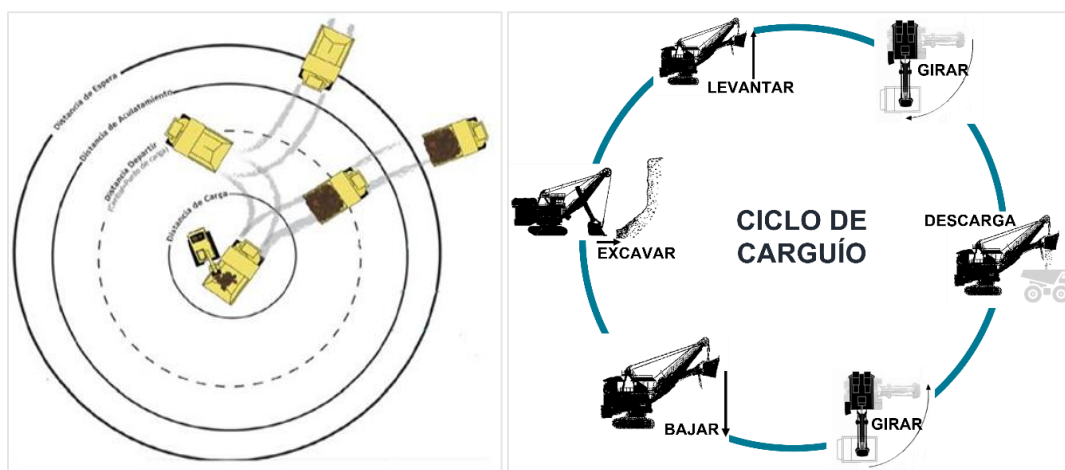


Figura 3.18: Maniobras del camión caex y ciclo de carguío de este mismo.
Fuente: (Minera Antucoya, 2022).

El equipo utilizado fue la Pala Eléctrica de Cable P&H 4100XPC de la empresa Komatsu, con una carga útil nominal de 108,9 toneladas, que llena el camión de extracción Komatsu 930 – E de carga útil nominal 290 toneladas con tan solo 3 pases, siendo una de las palas más eficientes que tiene Antucoya en términos de su labor. Los dos equipos de este tipo que posee la minera serán estudiados (S01 y S02), ya que no es posible focalizar la atención en una, debido a que la elección de estas se basa en el espacio que posea sobre el banco donde se encuentra extrayendo. Los equipos de carguío y transporte descritos son los que se presentan en Figura 3.19.

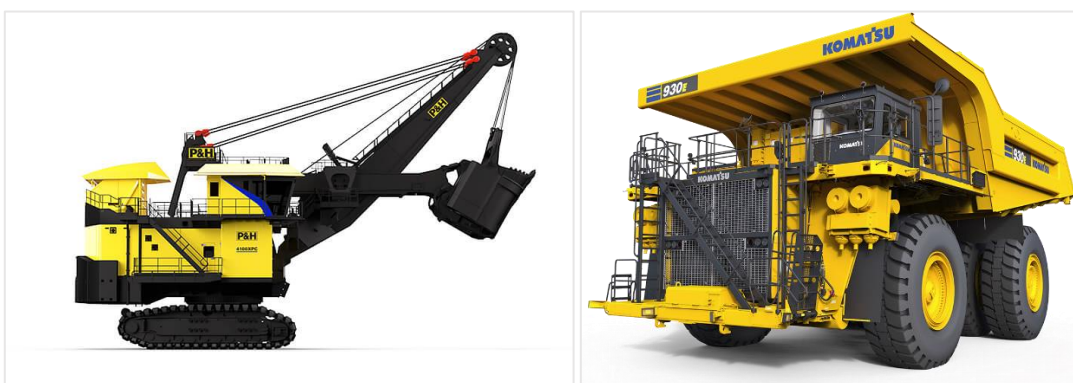


Figura 3.19: Pala eléctrica P&H 4100XPC (izquierda) y camión Komatsu 930-E (derecha).
Fuente: (Komatsu, s. f.) y (Global Construction Equipment, s. f.).

Para realizar todo esto, fue necesario contar con los respectivos permisos de los jefes de turnos, claramente en horario de relevo de operador para asegurarse de no detener el equipo, pues ésta, así como otras maquinarias, se mantienen trabajando 24/7. Para abordarlas, fue necesario contar con Equipo de Protección Personal (EPP) como: casco, zapatos de seguridad, chaqueta geóloga, guantes, protección respiratoria y ocular, fuera de la ropa de trabajo que proporciona la minera para desempeñarse en este tipo de labores.

Los tiempos mencionados fueron tomados días puntuales de agosto y noviembre para 20 camiones caex, sin y con supresor de polvo respectivamente. El día de las mediciones y sus detalles asociados se presentan en Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Parámetros días de prueba.

Parámetro	09-08-2023	16-08-2023	22-08-2023	07-11-2023
Presencia producto	No	No	No	Si
Hora inicio	15:20 hrs	14:35 hrs	8:10 hrs	9:58 hrs
Equipo	S02	S02	S02	S01
Fase	5	5	5	5
Banco	1512	1512	1512	1496
Material	Óxido	Estéril	Baja ley	Baja ley

Para tales fines, se utilizó el cronómetro de un dispositivo móvil donde se despreciaron los tiempos muertos en términos de productividad, asociados a actividades como limpieza de frente de carguío, movimiento de cables, cambio de sitio (traslado de equipo), etc.

3.2.2.2. Mediciones de MP10

Adicional a esta información obtenida, la empresa IngerWaterSolutions Tecnologías SA. ofrece su apoyo con el aporte de mediciones de MP10 tomados en la misma pala, ubicada fuera de la cabina del operador, justo donde se evidencia la abrumadora condición de polvo. El dispositivo utilizado fue Thermo pDR-1500 de la empresa Ambiente y Tecnología, que toma un registro de la concentración de MP10 a la cual está expuesto el equipo de carguío en la operación misma. Este fue ubicado dentro de una caja metálica a un costado de la cabina del operador, como se puede apreciar en Figura 3.20.



Figura 3.20: Monitor portátil Thermo pDR-1500.

Fuente: (Ambiente y Tecnología, s. f.)

Las mediciones de este tipo se efectuaron a partir de las 8:15 horas del día 7 de noviembre, para finalizar a eso de las 11:58 horas del mismo día. La medición fue realizada cada 5 segundos, donde antes de las 9:58 horas se presentó una abrumadora condición de polvo, debido a que la pala se encontraba en un sector seco en términos de producto, y desde esa hora en adelante, se evidenció condición de humectación, existiendo un total de 2.673 mediciones para todo el intervalo estudiado. Una vez obtenido el registro, la empresa IngerWaterSolutions Tecnologías SA. extrajo la data del equipo y entregó la información diferenciada en 3 categorías:

- Carguío sin aplicación de producto (CSA): medición desde el aculatamiento hasta el carguío completo del camión de extracción en frente seca.
- Condición ambiente (Ambiente): hace referencia a la condición ambiente, sin encontrarse un camión cerca y, por ende, sin efectuar la operación de carguío.
- Carguío con aplicación de producto (CCA): relacionado directamente al carguío del camión de gran tonelaje con el material humectado debido al efecto del supresor de polvo.

3.2.2.3. Metodología y cálculos asociados a la prueba

Por otro lado, para dimensionar el sector a estudiar, se realizó el paso a paso descrito en el apartado 3.2:

1. Revisar del avance semanal de los equipos de carguío el jueves 2 de noviembre. Para ello se acudió al plan de extracción semanal, adjuntado en Figura 3.21.

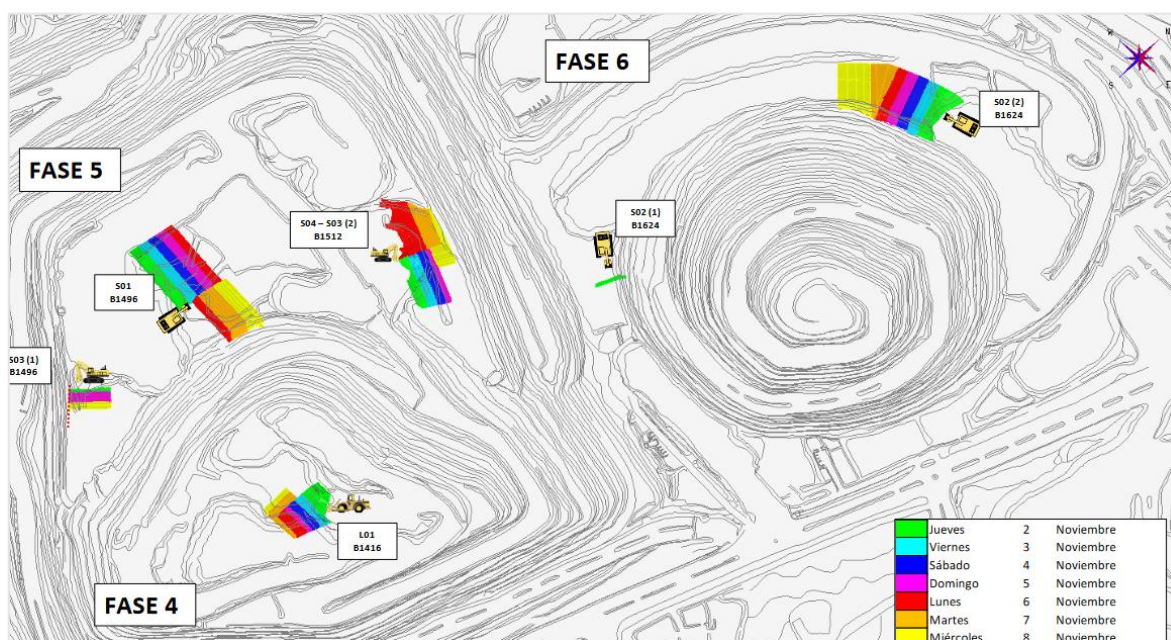


Figura 3.21: Secuencia semanal del 2 al 8 de noviembre 2023.

Fuente: (Gerencia Planificación y Desarrollo, 2023).

2. Buscar un equipo que extraiga un área considerable y que tenga viabilidad en la construcción de accesos, para asegurar la construcción y humectación de plataformas por un mínimo de 24 horas. Para efectos de la prueba, solo se elige la postura de la pala eléctrica 1, S01, en el banco 1496 de la Fase 5, específicamente del sector presentado en Figura 3.22 que se extraerá a partir del lunes.

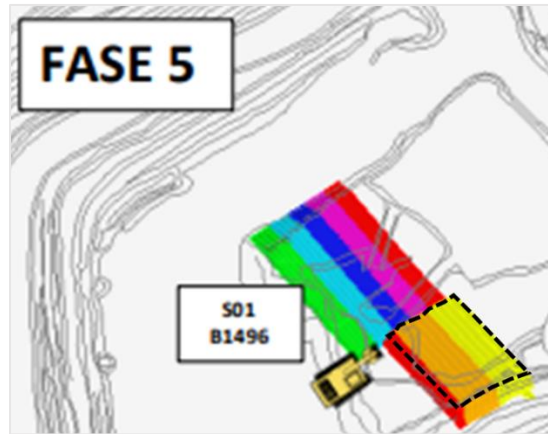


Figura 3.22: Elección del sector para construir plataformas.
Fuente: (Gerencia Planificación y Desarrollo, 2023).

3. Dimensionar el sector con ayuda del área de Geomensura, utilizando como referencia el avance esperado mostrado en Figura 3.23.

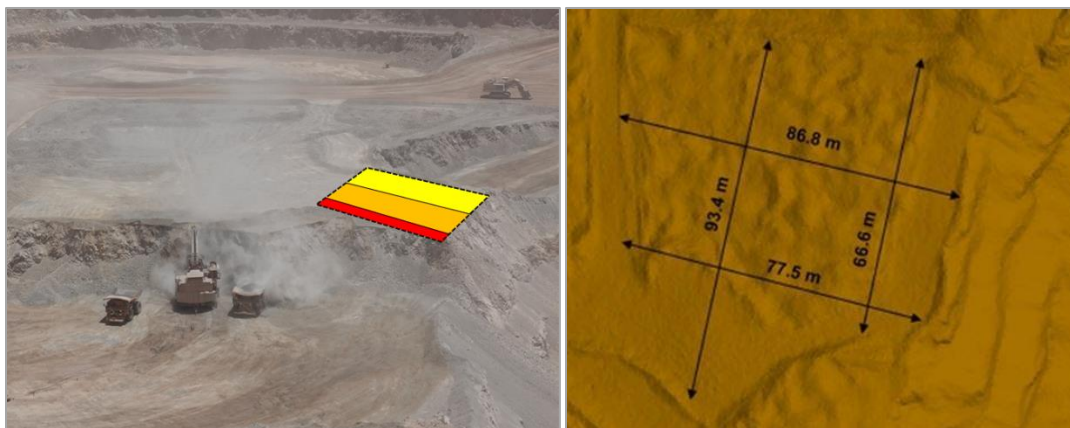


Figura 3.23: Dimensiones aproximadas del sector total a extraer.
Fuente: Registro fotográfico Enaex y Área Geomensura.

4. Conocer si el sector posee mineral (amarillo) o lastre (azul) para determinar la humedad a aportar. En Figura 3.24 es posible observar que existen ambos, caso idóneo para lo que se busca probar, al mismo tiempo que se evitan problemas de sobre humectación en el mineral que va a chancado. De esta forma entonces, el material se tratará como mineral, es decir, la humedad necesaria a aportar es de aproximadamente 1,5%.

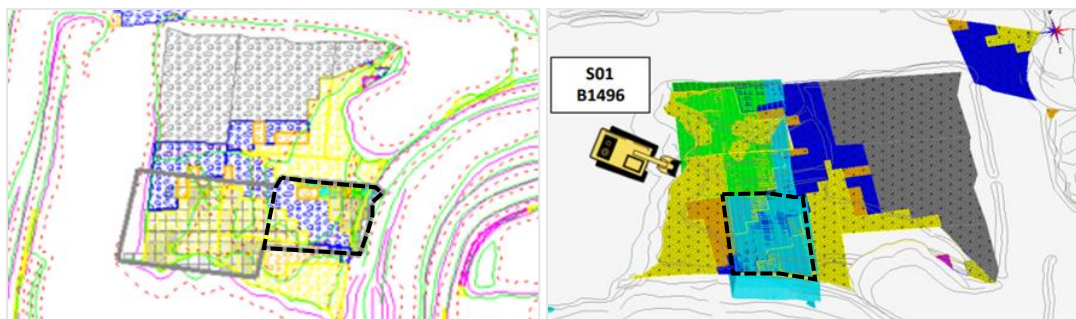


Figura 3.24: Tipo de material en la zona a extraer.
Fuente: (Gerencia Planificación y Desarrollo, 2023).

5. Cálculos y diseño propuesto.

Para ello fue necesario acudir ciertamente a la estimación. El sector a extraer los primeros 3 días de la semana, se cerrará en un rectángulo de aproximadamente 78 por 66 metros, donde el área del lunes se despreciará por temas de seguridad.

Por su parte, el sector del martes será clave para el estudio, pues se considerará un sector de aproximadamente 78 por 26 metros, en el cual se proponen piscinas de 13 por 13 metros, ya que para estas dimensiones, con altura de banco de 16 metros, se necesita un camión aljibe con 45 litros de producto (Véase Anexo A). De esta forma entonces, se pueden realizar dos filas de plataformas, disponiendo 6 a lo largo de cada sector, como se presenta en Figura 3.25.

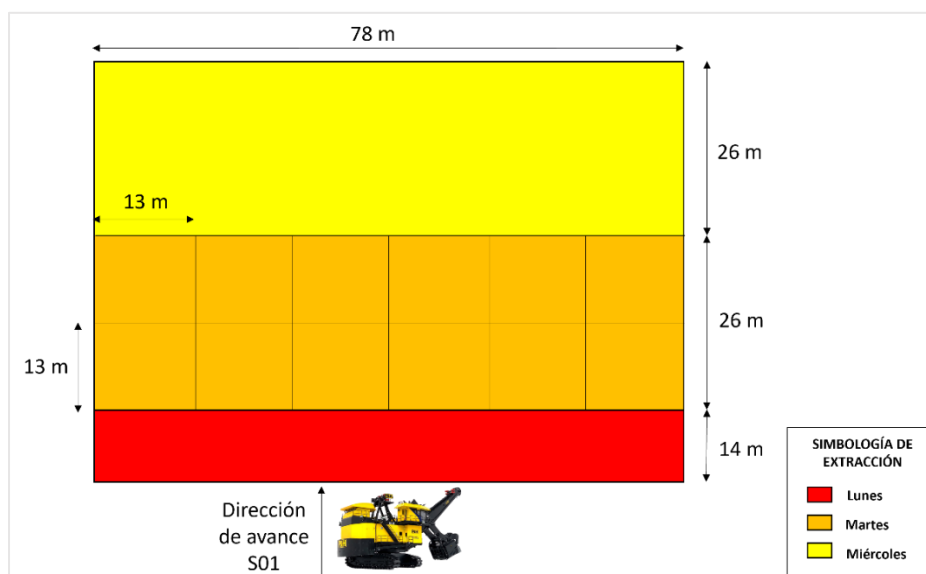


Figura 3.25: Configuración de la prueba.

6. Planteamiento en la forma de riego:

- Se solicitan 12 piscinas de aproximadamente 13 por 13 metros, siendo imprescindible al menos la construcción y riego de las primeras 6, según sentido de avance de la pala.
- A cada plataforma se le debe agregar 45 litros de producto y el resto de agua.
- Creación de accesos y plataformas se pueden realizar hasta el domingo 5 de noviembre Turno A.
- La primera fila de plataformas, según el avance de la pala, deben ser regadas el domingo 5 de noviembre en el Turno B; mientras que las 6 restantes, de ser posible, deben ser regadas el lunes 6 de noviembre en el Turno A.
- Los resultados se esperan evaluar el día martes 7 de noviembre Turno A y Turno B (si es que se realizan estas últimas plataformas), con registro visual, audiovisual y medición de MP10.

Es importante mencionar que esta prueba requiere, en su mayoría, colaboración del personal 7x7, pues se dejó planteada por un turno 4x3 que limita a llevar un control el fin de semana. Claramente las indicaciones y consideraciones fueron dejadas a las áreas respectivas y a los jefes de turno para liderarlas, donde solo se solicita trabajar parte del área anaranjada por temas de disponibilidad de equipos. No obstante, para la extracción del miércoles se recomienda seguir la misma lógica, quedando a criterio de la operación la sugerencia.

3.2.2.4. Evaluación económica

En términos económicos, la metodología para determinar si el proyecto es viable iniciará con determinar el tiempo promedio de carguío para una condición normal de operación y para una de frente humectada. Este tiempo será evaluado en horas y, con el tonelaje que mueve un caex, se procede a determinar el rendimiento según Ecuación 6:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Capacidad caex}}{\text{Tiempo carguío promedio}} \quad (6)$$

Donde:

- Rendimiento: Toneladas movidas por el equipo de carguío en una hora efectiva [ton/hrs]
- Capacidad caex: masa que puede transportar el camión caex [ton]
- Tiempo carguío promedio: Tiempo promedio asociado al carguío de camiones [hrs]

Posteriormente, se determina el costo asociado a las palas estudiadas para los meses en que se dispone de información, es decir, desde comienzos del año hasta septiembre (Véase Anexo B). Tales costos consideran:

- Combustibles y lubricantes
- Informática y comunicaciones
- Aceros de desgaste
- Mano de obra mantención
- Materiales y repuestos
- Reactivos
- Servicios
- Servicios de mantenimiento
- Subreparto

Por su parte, se solicitan las horas efectivas del mes, para luego, con Ecuación 7 determinar el costo por hora efectiva de los equipos de interés para cada mes mencionado.

$$CPHE = \frac{\text{Costos asociados al equipo}}{\text{Horas efectivas}} \quad (7)$$

Donde:

- CPHE: Costo por horas efectiva [USD/hrs efectivas]
- Costo asociado al equipo: Costos relacionados a mantener operativo el equipo [USD]
- Horas efectivas: Tiempo en que la pala efectivamente se encuentra desempeñando sus labores [hr]

Los datos obtenidos para la pala eléctrica 1, fueron los adjuntos en Tabla 3.2:

Tabla 3.2: Costo por hora efectiva pala eléctrica S01.

Mes	Costo [USD]	Total horas efectivas [hr]	Costo/hora efectiva
Enero	\$429.609	417	\$1.030
Febrero	\$312.099	381	\$820
Marzo	\$257.859	292	\$884
Abril	\$354.677	293	\$1.210
Mayo	\$346.028	343	\$1.007
Junio	\$393.986	270	\$1.461
Julio	\$1.463.832	115	\$12.731
Agosto	\$658.086	379	\$1.736
Septiembre	\$347.600	350	\$994

La pala eléctrica 2 por su parte, presenta los costos dispuestos en Tabla 3.3:

Tabla 3.3: Costo por hora efectiva pala eléctrica S02.

Mes	Costo [USD]	Total horas efectivas [hr]	Costo/hora efectiva
Enero	\$990.481	336	\$2.951
Febrero	\$648.774	309	\$2.100
Marzo	\$554.967	297	\$1.871
Abril	\$419.795	359	\$1.169
Mayo	\$298.837	401	\$744
Junio	\$497.397	378	\$1.315
Julio	\$196.333	446	\$441
Agosto	\$664.480	279	\$2.382
Septiembre	\$227.757	385	\$592

Obtenido estos valores, se estima un promedio de costo sobre hora efectiva para cada equipo, resultando 2.430 y 1.507 USD/hr efectiva para la S01 y S02 respectivamente, de los cuales se elige el caso más desalentador, es decir, el costo más elevado.

Por otra parte, será de interés conocer el tonelaje anual que mueve la pala eléctrica 1 y 2 (Véase Anexo C), como aún no se tienen los valores asociados a este año completo, se utiliza como referencia el año 2022, donde se logró mover 23.170.457 y 23.667.562 toneladas para las palas ya mencionadas. Aquí se elige el mayor valor, asumiendo que es la máxima cantidad de material que puede llegar a mover este característico equipo.

A continuación, con Ecuación 8, se busca conocer cuál es el costo por tonelada movida, que se desprende fácilmente de los datos obtenidos anteriormente de la siguiente forma:

$$CE_{1T} = \frac{CPHE}{Rendimiento} \quad (8)$$

Donde:

- CE_{1T} : Costo del equipo para mover una tonelada de material [USD/ton]
- CPHE: Costo por horas efectiva [USD/hrs efectivas]
- Rendimiento: Toneladas movidas por el equipo de carguío en una hora efectiva [ton/hrs].

Ahora, se procede a calcular el costo de mover estas 23.667.562 toneladas esperadas, para el caso sin y con producto, según Ecuación 9:

$$CE_{23MT} = CE_{1T} * M_m \quad (9)$$

Donde:

- CE_{23MT} : Costo del equipo para mover 23.667.562 toneladas [USD]
- CE_{1T} : Costo del equipo para mover una tonelada de material [USD/ton]
- M_m : Material a mover (23.667.562) [ton]

Por otro lado, para determinar el costo del producto, es decir, los litros que se deberían ocupar para ese mismo movimiento de tonelaje, primero se debe saber a qué tamaño de bloque solo es necesario aplicar 45 litros de producto (humectar con una camionada). Las dimensiones encontradas arrojaron un largo, ancho y alto de 13, 13 y 16 metros respectivamente, que volumétricamente corresponde a 2704 m³ (Ecuación 1). Mediante Ecuación 2, se puede determinar la masa asociada a este volumen, con una densidad de 1,8 ton/m³, de 4.867 toneladas. Como se conocen los litros a ocupar para esa determinada masa, se evalúa con Ecuación 10 los litros ocupados por tonelada, es decir:

$$VP_{1T} = \frac{VP_{1c}}{m} \quad (10)$$

Donde:

- VP_{1T} : Volumen de producto ocupado por tonelada [lt/ton]
- VP_{1c} : Volumen de producto para una camionada [lt]

- m: masa a tratar [ton]

Luego, se multiplica este factor por las toneladas esperadas a mover en el año, para revisar cuantos litros de producto se necesitan, como se presenta en Ecuación 11 a continuación.

$$VP_{23MT} = VP_{1T} * M_m \quad (11)$$

Donde:

- VP_{23MT} : Volumen de producto ocupado para 23.667.562 de toneladas [lt]
- VP_{1T} : Volumen de producto ocupado por tonelada [lt/ton]
- M_m : Material a mover (23.667.562) [ton]

Además, conociendo el valor del producto, se puede obtener, según Ecuación 12, la inversión asociada a ese tonelaje movido esperado.

$$CP_{23MT} = VP_{23MT} * CP_{1L} \quad (12)$$

Donde:

- CP_{23MT} : Costo de producto ocupado para 23.667.562 de toneladas [USD]
- VP_{23MT} : Volumen de producto ocupado para 23.667.562 de toneladas [lt]
- CP_{1L} : Costo del litro de producto [USD]

Finalmente, la suma del costo del equipo para mover 23.667.562 toneladas y el costo de producto ocupado para mover estas mismas, presenta el costo total asociado a mover el material sin y con producto. Luego, la resta entre estos dos últimos, indicará el ahorro.

4. Resultados y análisis

4.1. Cuantificación actual

Como se mencionaba, los actuales indicadores de los equipos de carguío no pueden demostrar un beneficio en términos de aplicación del “surfactante”, pues este proyecto no se está llevando a cabo como se debe. Debido a esto, el operador de la pala no trabaja bajo una frente totalmente humectada, si no que esta regada pobremente y por sectores puntuales en su avance.

Con respecto a la cuantificación día a día que se está registrando desde junio como parte de este estudio, esta demuestra efectivamente una aplicación continua. En Figura 4.1 se presenta el volumen para los meses estudiados, dejándose en evidencia un cumplimiento del target diario el 16 y 22 de junio, 9, 12, 28 y 29 de agosto y 10 de septiembre; esto considerando que el objetivo es de 420 litros desde el 1 junio hasta el 8 de agosto (14 viajes diarios con 30 litros de producto) y 630 litros desde el día posterior hasta la finalización de toma de datos (14 viajes diarios con 45 litros de producto).

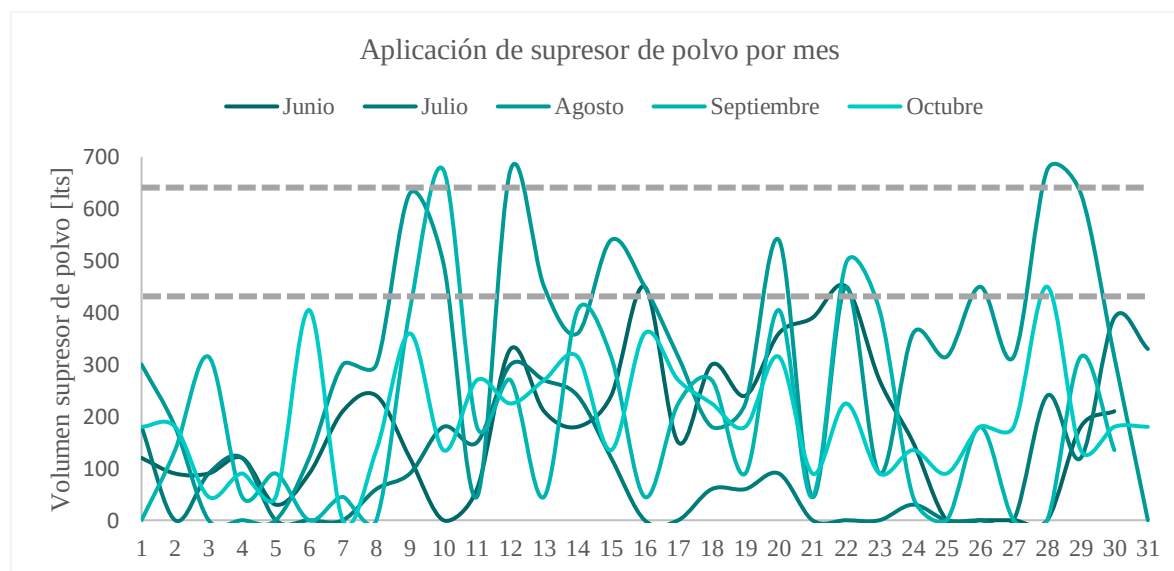


Figura 4.1: Volumen de supresor de polvo por mes.

El problema se engrandece aún más cuando se visualizan los litros por equipo (Véase Anexo D), pues esto demuestra que no se está focalizando sobre un equipo de carguío en

específico, más bien se está aplicando en todos al mismo tiempo, no logrando el efecto deseado.

Con respecto a estadísticas en base a la aplicación, se sigue con la prioridad según los equipos, mostrándose en Figura 4.2 que la preferencia se la llevan las palas eléctricas S01 y S02 con el 65%; mientras que las palas hidráulicas y el cargador frontal se llevan el 35% restante. Lo anterior resulta lógico considerando que las palas eléctricas son las que mueven el mayor tonelaje en la mina.

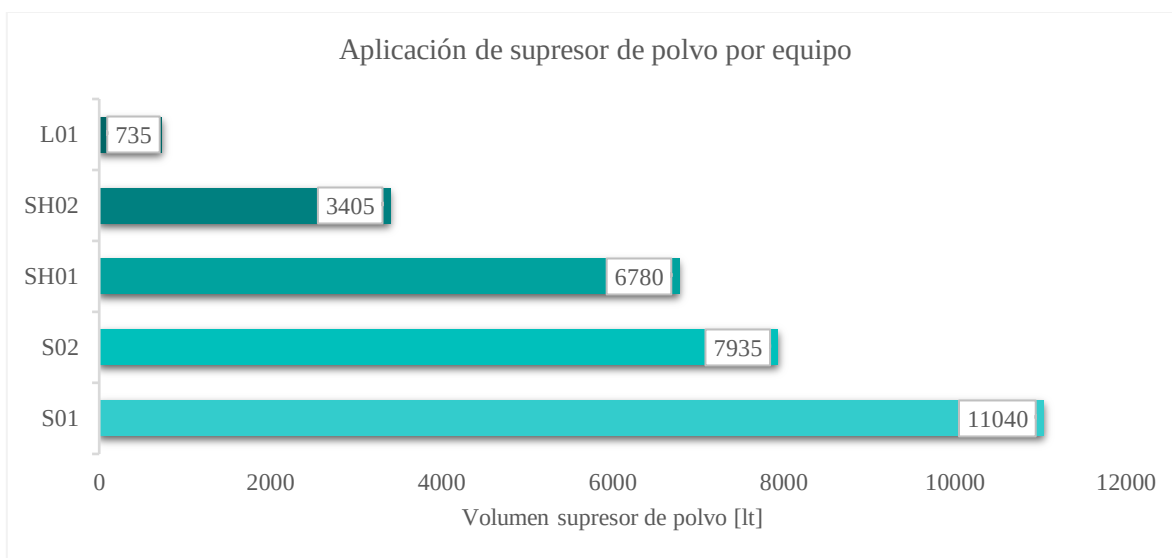


Figura 4.2: Volumen de supresor de polvo por equipo.

Al mismo tiempo, en Figura 4.3 se visualiza que el turno B es el que usualmente riega más producto, con una diferencia mínima.

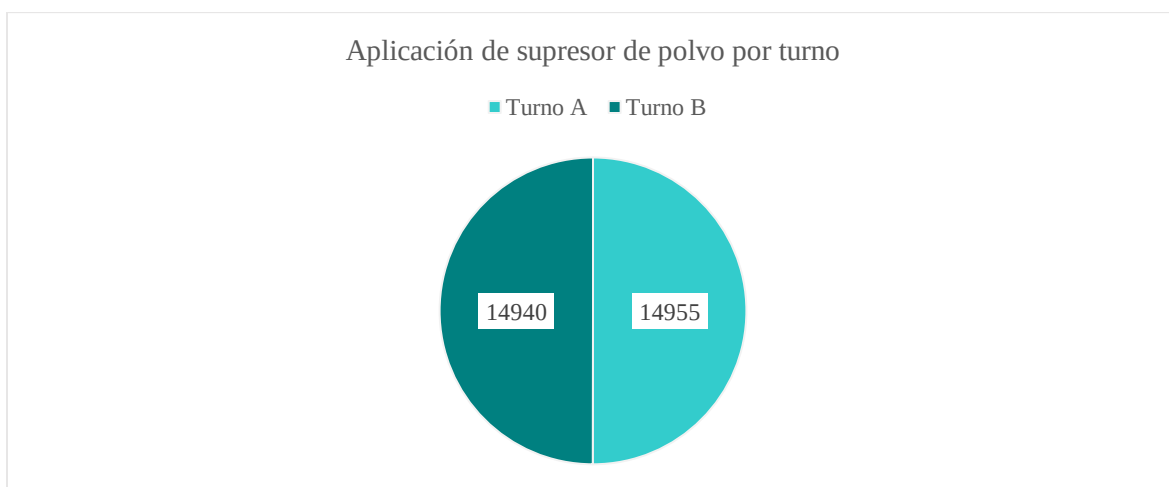


Figura 4.3: Volumen de supresor de polvo por turno.

Por otro lado, la iniciativa recientemente comentada y la ejecución del código QR, parecieran ser confiables; no obstante, ambos quedan a la lealtad de la palabra del operador del equipo aljibe. Desde junio del presente año, se ha realizado un seguimiento a la consistencia de ambas bases de datos, mostrándose claramente una indisciplina por parte de los operadores de los camiones aljibes, pues el registro de ambas debiese coincidir en su totalidad. En Figura 4.4 se muestra gráficamente lo descrito.

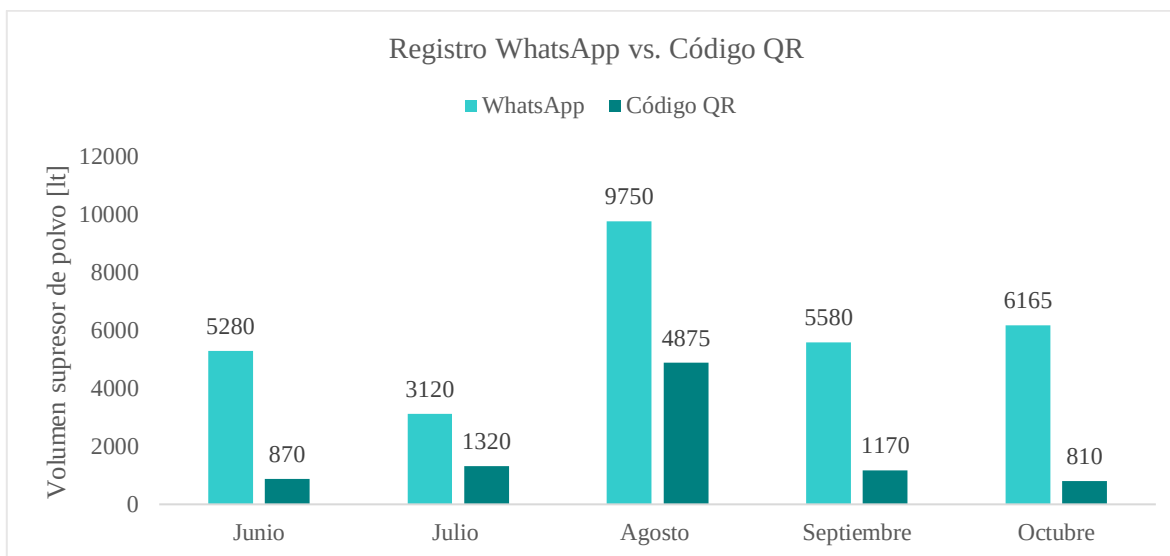


Figura 4.4: Volumen de supresor de polvo iniciativas WhatsApp y Código QR.

Por otro lado, en Figura 4.5 se revisa la iniciativa del estado “Surfactante” dispuesto en las pantallas de los operadores de los equipos de carguío, donde es posible notar que no es imputado (Véase Anexo E). Dentro de las razones de por qué no lo hacen, comentaban ellos mismo, se debe a que en reiteradas ocasiones poseen desconocimiento de lo que se está aplicando sobre la frente o directamente porque las frentes se encuentran secas. Debido a la no utilización de este estado, para octubre se deja de imputar.

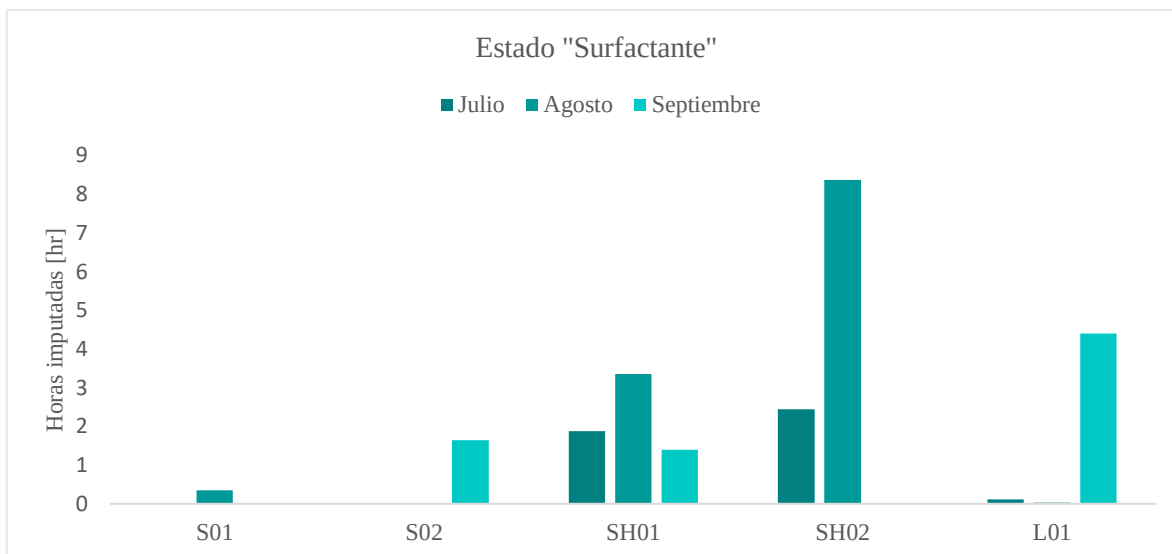


Figura 4.5: Horas imputadas al mes por equipo del estado surfactante.

Dentro de las últimas iniciativas con las que cuenta la minera para medir los beneficios del “surfactante”, se encuentra la estación meteorológica de Fase 4. Para ello se mostrará la concentración de polvo diaria desde junio en adelante en relación con la aplicación del supresor de polvo.

El estudio inicia con el primer mes, donde la concentración promedio bordea los 133 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. En Figura 4.6 es posible notar que entre los días 25 y 28 se tiene una nula aplicación de producto y aun así no se registran los peaks de concentración. De hecho, estos últimos corresponden a los primeros días donde si existe humectación.

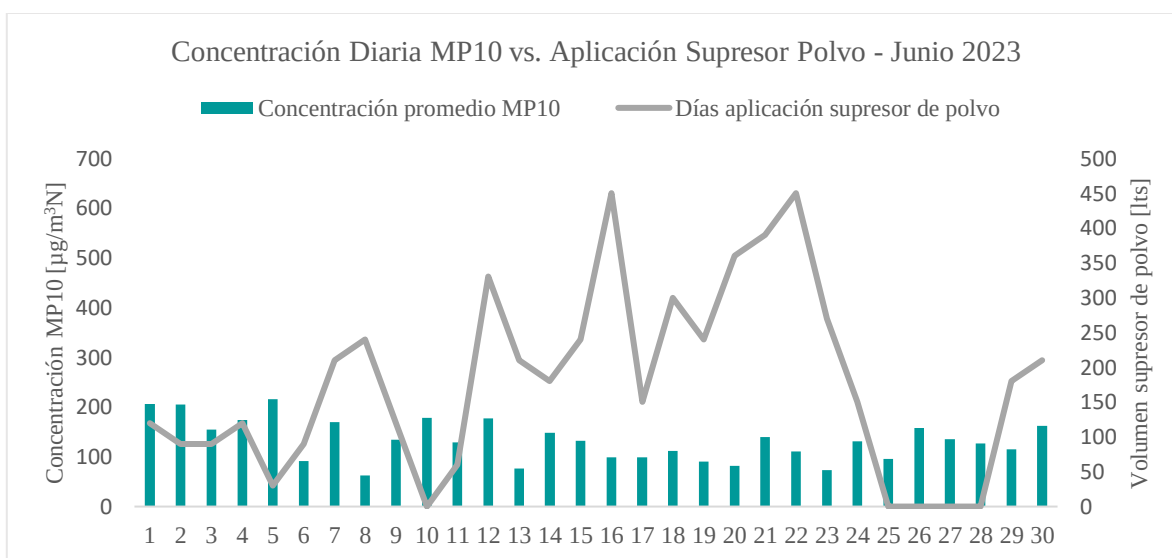


Figura 4.6: Concentración promedio MP10 junio 2023.

A continuación, se revisa el mes de julio, que tiene asociada una concentración media de 103,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. En esta ocasión, se debe considerar que la semana del 17 y 24 de julio la planta de chancado entró en mantención, impactando directamente en la concentración de MP10 para esos días. En Figura 4.7 se puede observar que en este mes destaca la concordancia entre litros aplicados y disminución de polvo, claramente sin considerar la situación de planta.

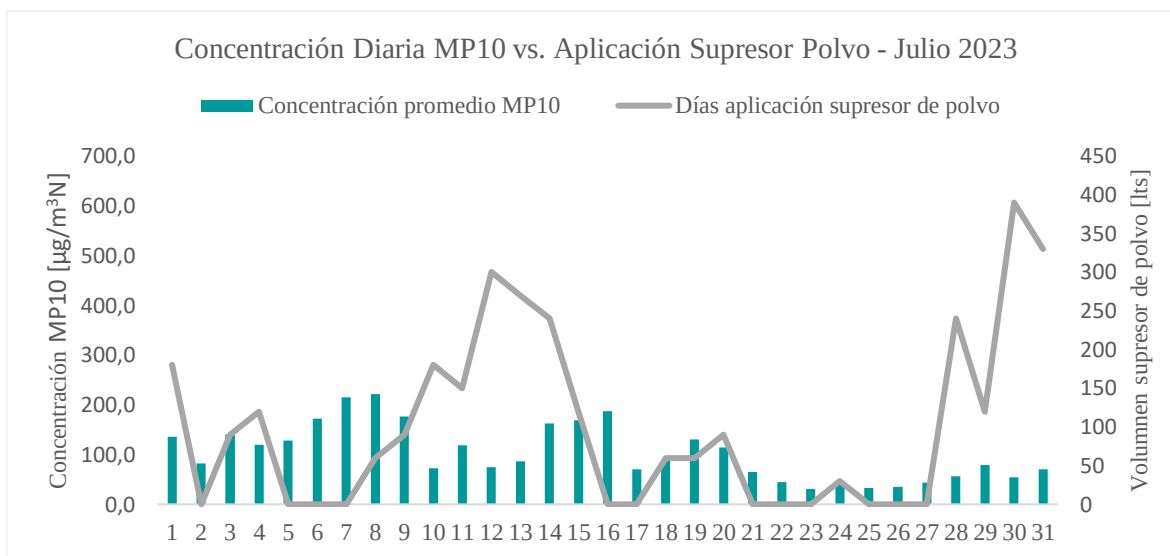


Figura 4.7: Concentración promedio MP10 julio 2023.

Para el caso de agosto, se registró una caída en el sistema de reporte, ausentándose prácticamente por los primeros 9 días del mes. Fuera de este percance, la concentración de MP10 promedio fue de 345,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y la data no conversa del todo con los litros aplicados, pues la máxima humectación no está asociada a considerables disminuciones de polvo. En Figura 4.8 se presencia lo descrito.

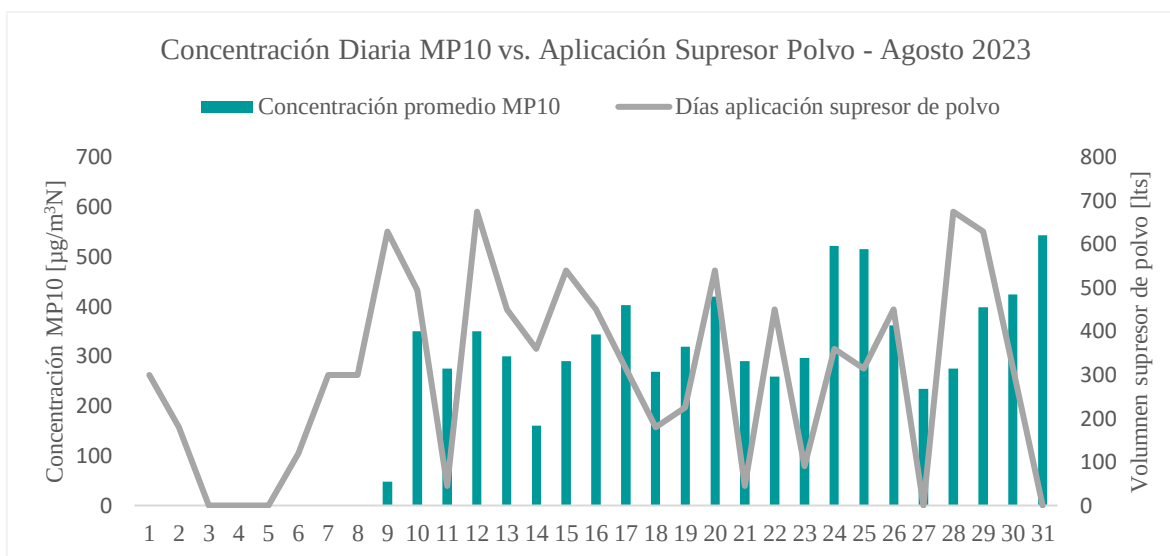


Figura 4.8: Concentración promedio MP10 agosto 2023.

Septiembre por su parte, presenta una media de 273,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ de MP10, con considerables variaciones a lo largo del mes, según se aprecia en Figura 4.9. De aquí es posible observar que los días de mayor aplicación están asociados a los días con menos polvo, no así el día siguiente, que es lo que se esperaría. No obstante, para finales de mes, se registra una considerable disminución, que no necesariamente muestra implicancia con el producto.

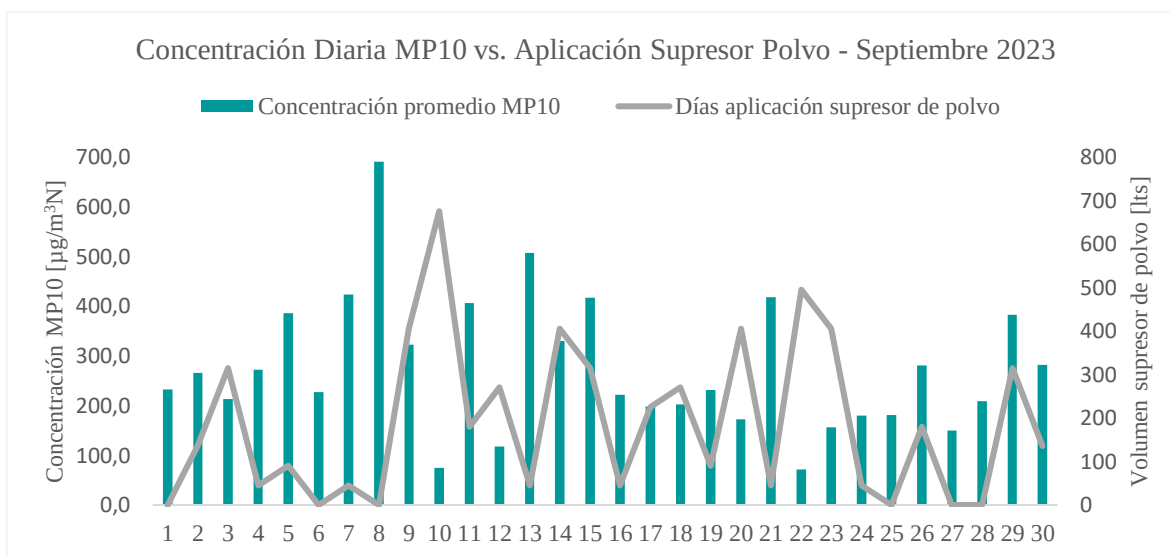


Figura 4.9: Concentración promedio MP10 septiembre 2023.

Octubre cuenta con los últimos 5 días sin registro de información, cayendo la data el 26 al medio día. Los días anteriores, al igual que los últimos meses, no muestran una relación directa entre la aplicación del mitigador de polvo y la concentración de polvo diaria, ya que

los días en que esta última es menor, no necesariamente tiene asociada la descarga de varios litros de producto. Lo anterior se puede observar en Figura 4.10.

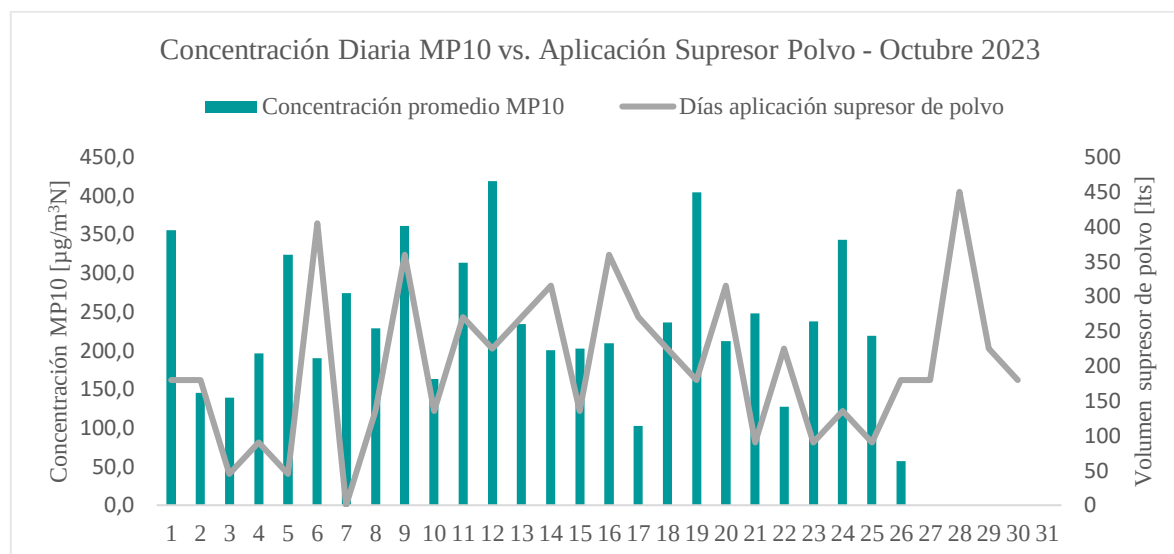


Figura 4.10: Concentración promedio MP10 octubre 2023.

Respecto a la concentración de MP10 registrada por la “estación meteorológica móvil 1”, es posible observar que los días de mayor aplicación de producto no necesariamente se visualiza una disminución en la concentración al cabo de 24 horas. Lo anterior deja en evidencia que esta no es la mejor forma de medir la reducción de MP10 asociada al químico humectador de las frentes de carguío, simplemente por la ubicación de la estación.

4.2. Cuantificación metodología propuesta

4.2.1. En condiciones normales

Así es como inicia el estudio del beneficio del producto. Como bien se mencionaba, la prueba consistió en registrar los tiempos de carguío de las palas eléctricas, tanto en pala 1 como en pala 2. El estudio consideraba estudiar solo una de ellas, pero las posturas de estas en el día a día conllevaron a contabilizar las dos, pues para la prueba con producto se buscaba un sector que no tuviera chusca, es decir, se descartaba todo equipo inmerso en la Fase 6 de la mina.

La línea base de frentes secas fue registrada los días 9, 16 y 22 de agosto, bajo las condiciones mencionadas en Tabla 3.1 del apartado 3.2.1. El tiempo de carguío para los 20 camiones, en cada día, queda evidenciado en Figura 4.11 presentada a continuación:

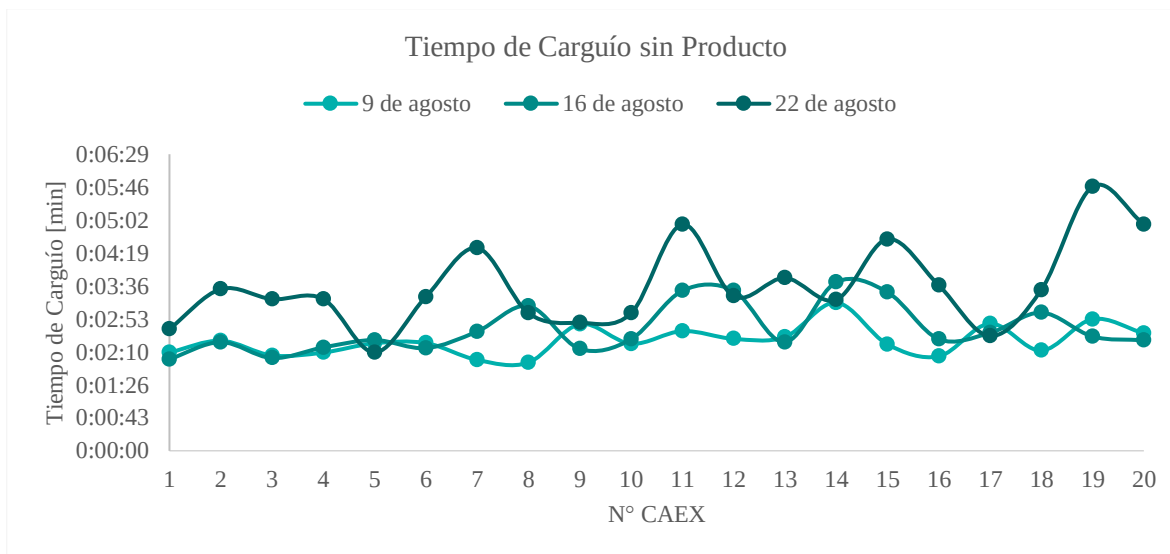


Figura 4.11: Tiempo de carguío en condición de frente seca.

Del gráfico es posible determinar un valor promedio que fue de 2 minutos y 53 segundos aproximadamente para los 60 camiones, considerados los 3 días estudiados. Cabe hacer notar que el día 22 de agosto los tiempos se elevan considerablemente respecto a los otros días, y esto se debe netamente al horario en que se tomó la información, donde se evidencia la condición de inversión térmica revisado en este estudio.

4.2.2. Con aplicación de producto

Por fortuna, la prueba solicitada contó con el regadío mínimo exigido y para el martes 7 de noviembre pudieron verse los resultados de una frente altamente humectada. En Figura 4.12 se puede ver lo ocurrido dicho día.



Figura 4.12: Humectación con Watersol MPOL 515.
Fuente: Registro fotográfico Enaex.

Verificada la condición del sector, se comienza a tomar registro el tiempo de carguío de camiones. En esta instancia, el equipo analizado fue la pala eléctrica 1, “S01”, ubicada en el banco 1496 de la Fase 5, con extracción de óxidos, baja ley y lastre. El operador a cargo de esta maquinaria cuenta con una vasta experiencia en el manejo de equipos de carguío y se mostró gratamente sorprendido por el resultado obtenido, pues cuenta que la operación es mucho más amena cuando se tiene una condición de buena visibilidad.

Para comenzar, en Figura 4.13 se muestra como fue el carguío de la pala, al mismo tiempo que el llenado del camión, donde se aprecia una extracción completamente libre de polución.



Figura 4.13: Extracción y llenado del caex con material humectado.

En Figura 4.14 se presenta el registro de los tiempos tomados para 20 camiones con aplicación de Watersol MPOL 515 en conjunto con agua.

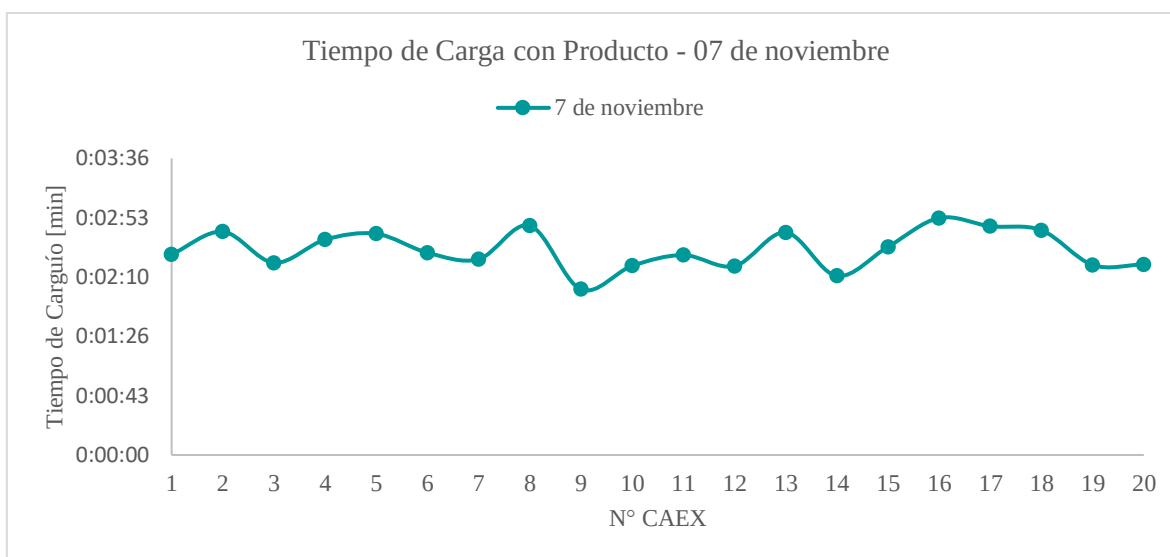


Figura 4.14: Tiempo de carguío para condición de frentes humectadas.

Como era de esperarse, el tiempo de carga para los 20 camiones se vio disminuida considerablemente con respecto a la condición normal de polvo que posee Antucoya, registrando un tiempo promedio de 2 minutos y 29 segundos.

Es importante destacar que para la prueba con producto se esperaba tener mayor número de mediciones, idealmente de varios días, para tener una data más robusta, pero desafortunadamente no fue posible debido a falta de apoyo.

Con respecto a la disminución de material particulado, fue visiblemente evidenciado en terreno y las mediciones realizadas por el dispositivo Thermo pDR-1500 muestran la siguiente situación.

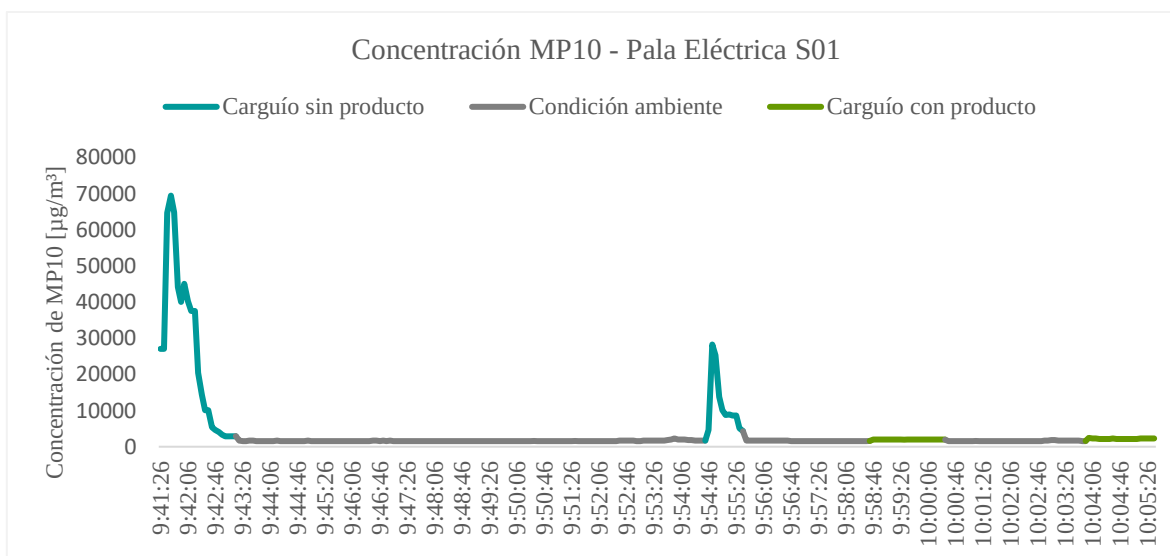


Figura 4.15: Concentración MP10 en frentes de carguío.

Fuente: (Tapia, 2023).

En Figura 4.15 se presenta un extracto de la medición total que se efectuó para el día de la prueba (Véase Anexo H) y de ella se desprende que las cúspides del gráfico están directamente relacionadas a la operación de carguío con condición normal de polvo, es decir, sin la aplicación de producto (CSA). Para esta situación, la concentración de polvo registro un promedio de 17.443,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras que para una condición en presencia del mitigador de polución (CCA) es de 2.217,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según Tabla 4.1. Esto refleja una disminución del 87% en las emisiones de polvo.

Tabla 4.1: Medición MP10 frentes de carguío (Tapia, 2023)

Condición	Promedio PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
CSA	17.443,30
AMB	1.696,00
CCA	2.217,30

Visualizando más cuidadosamente los datos según categoría, para las 3 condiciones de medición de MP10, se observa una enorme diferencia. En Figura 4.16 se muestra la distribución de estos datos.

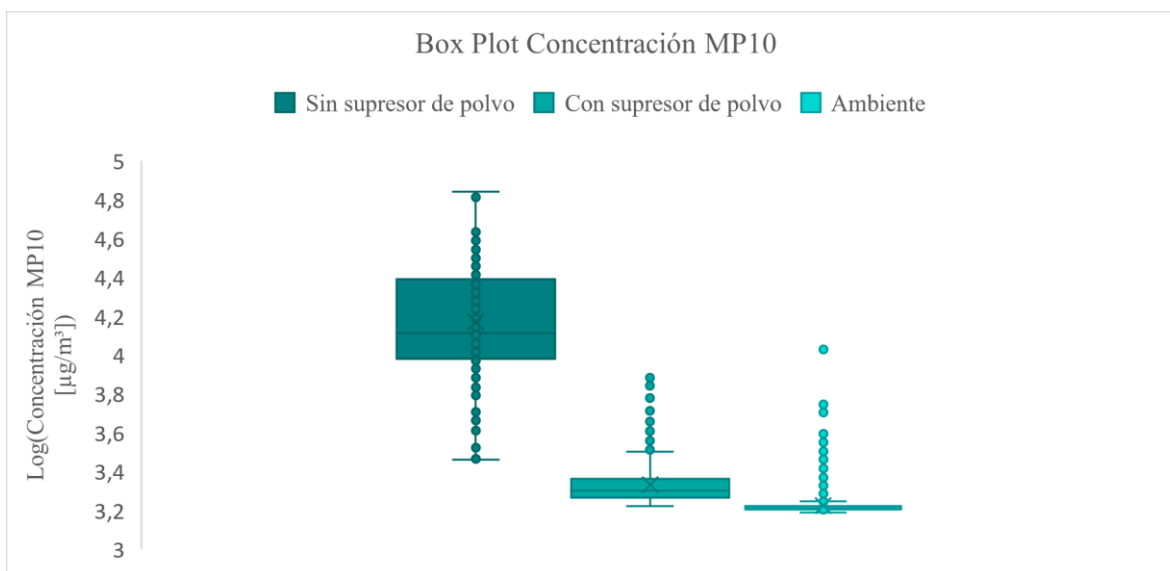


Figura 4.16: Box Plot Concentración MP10.

Claramente se puede apreciar que la condición ambiente registra concentraciones bastante más bajas en comparación con las otras dos situaciones y es lógico, ya que no se efectúa la operación de carguío como tal. Con respecto a la aplicación de producto, todos los datos se encuentran por debajo del segundo cuartil o mediana de la condición de frente seco, es decir, por debajo de $12.960,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores sumamente alentadores, pues demuestran que cuando el producto se aplica bien, mejora la condición de operación al disminuir la concentración de MP10.

Esta innegable mejora, fue presenciada en terreno y, sin duda, es un producto revolucionario en lo que compete al control de polvo en las frentes de carguío. Lo anterior, demuestra la viabilidad y el beneficio del producto cuando este se aplica bien, para la condición de visibilidad y, por ende, de carguío.

4.3. Beneficios para la compañía

El pasado 8 de marzo del 2023, Minera Antucoya firmó contrato por un año con la empresa IngerWaterSolutions S.A. por un monto de USD 390.000. Esta iniciativa es una de las más costosas dentro de la carta de soluciones de polvo que mantiene la faena, llevándose sobre el 70% de la inversión; sin embargo, resulta muy prometedora en términos de mitigar el polvo en suspensión.

Con respecto a la medición recopilada referente al carguío de material sobre los camiones caex, para la condición normal de polvo se registra un tiempo de 2 minutos con 53 segundos y para la condición sin polvo, es decir, con el supresor de polvo, se evidencian 2 minutos con 29 segundos, mostrándose una clara disminución de esta operación en cerca de 24 segundos. Si adicional a este dato, se considera la capacidad del camión, se puede obtener el rendimiento (Ecuación 6), dispuesto en Tabla 4.2:

Tabla 4.2: Parámetros en base a mediciones de terreno.

Parámetro	Sin Producto	Con Producto
Tiempo carguío + aculatamiento	02:53,3	02:29,4
Tiempo carguío + aculatamiento [seg]	173	149
Tiempo carguío + aculatamiento [hr]	0,048	0,041
Capacidad caex [ton]	290	290
Rendimiento [ton/hr]	6034,7	7006,7

Teniendo el rendimiento y determinado el costo por hora efectiva para ambos equipos eléctricos, siendo utilizado el más costoso de 2.430 USD/hr efectiva, se procede a calcular el costo de mover una tonelada cuando no se aplica y cuando se aplica supresor de polvo (Ecuación 8). En Tabla 4.3 queda expresado lo mencionado.

Tabla 4.3: Costo asociado a la pala eléctrica para mover una tonelada.

Parámetro	Sin Producto	Con Producto
CM _{1T} [USD/ton]	\$0,40	\$0,35

Moviendo el máximo tonelaje 2022 alcanzados por uno de estos (Tabla 8.4, Anexos C), se obtiene el costo asociado a esto mismo, como se observa en Tabla 4.4:

Tabla 4.4: Costo asociado a la pala para mover cerca de 24 millones de toneladas.

Parámetro	Sin Producto	Con Producto
CM _{23MT} [USD/ton al año]	\$9.531.099	\$8.208.865

Ahora, con el fin de analizar la cantidad de producto necesario para humectar estas 23.667.562 toneladas, se sigue el procedimiento detallado en el apartado 3.2.1.4 y directamente en Tabla 4.5 se determina el volumen que se aplica a una tonelada (Ecuación 10).

Tabla 4.5: Volumen asociado a una tonelada de material.

Parámetro	Valor
VP _{1c} [lt]	45
m [ton]	4867
VP _{1T} [lt/ton]	0,009

Luego, multiplicando este último valor por el tonelaje considerado, resulta 218.820 litros de supresor de polvo, equivalente a 219 contenedores. Finalmente, utilizando la Ecuación 12, se determina el costo para regar las toneladas máximas movidas anualmente. Los cálculos realizados quedan presentados en Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Costo invertido al humectar cerca de 24 millones de toneladas.

Parámetro	Valor
VP _{23MT} [lt]	218.820
CP _{1L} [USD/lt]	3,25
CE _{23MT} [USD]	\$711.165

Al sumar este último valor a los costos calculado en Tabla 4.4, se determina el costo total asociado a mover 23.667.562 toneladas, en seco y con producto, quedando evidenciado todo en Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Costos asociados al movimiento de pala y producto.

Parámetro	Sin Producto	Con Producto
CE _{23MT} (al año) [USD]	\$9.531.099	\$8.208.865
Costo WM515 (al año)	\$711.165	\$711.165
Costo total [USD]	\$10.242.263	\$8.920.030

Frente a esto, existe un ahorro de USD 1.322.233 anuales por equipo eléctrico, es decir, aplicar el producto origina una disminución en los costos del 12,9%.

Para ser cautelosos con los cálculos, se consideró prácticamente la peor condición, es decir, el mayor costo y movimiento de material. Si este no fuera el caso, es decir, se considera el costo sobre hora efectiva de la pala eléctrica 2 de 1.507, bajo el mismo tonelaje, el ahorro sería de USD 820.045 al año, equivalente a un 12,4%.

5. Conclusiones

Como bien se mencionaba, el potencial de este proyecto es sumamente grande, pero por desgracia se ha desprestigiado un tanto el producto dentro de la minera, pero no precisamente porque no funciona, sino porque se cree que se aplica bien y no se ven resultados. Esto demuestra una falta de conocimiento y compromiso para las áreas que llevan esta iniciativa adelante, pues esto desencadena en un innegable “desperdicio” del químico. La falta de liderazgo se hace presente cuando la resistencia a incorporar una nueva iniciativa en la operación es una realidad.

Aun cuando se sabe que el avance de esta mina es rápido y a la vez inesperado, debido a la baja disponibilidad física de los equipos y la búsqueda por las mejores leyes para alimentar la planta de chancado, con una planificación es posible poner en marcha la aplicación del aditivo eficientemente. Es de esperarse que muchas veces los cambios en los planes interrumpan ciertamente ver el beneficio del producto, pero si este se aplica de forma correcta y constante, sin duda se verían resultados. Para ello, es imprescindible tener a disposición los recursos para impulsar el proyecto, al igual que todas las iniciativas que posee la minera.

Con el estudio realizado, fue posible demostrar que, a una dosificación estándar, el mineral y el lastre responden de igual forma, con una percolación que alcanza casi la totalidad del banco. Además, queda en evidencia que cuando se evalúan las falencias en la operación y se corrigen, el proyecto resulta sumamente beneficioso, pues existe una disminución de MP10 en un 87%, un aumento en la productividad debido a la ganancia de 24 segundos en el carguío de cada caex y ahorro en términos económicos, pues por cada pala eléctrica se economizan USD 1,3 millones.

Finalmente, éste, así como la mayoría de los proyectos, no se pueden llevar adelante solo, más bien, necesitan de un equipo de trabajo comprometido. Todo se resume en el mismísimo lema del sexto aniversario de la minera: *“Ninguno de nosotros es tan bueno como todos nosotros juntos”*.

6. Recomendaciones

Conocidos los limitantes de este proyecto, se puede desprender que esto no justifica en su totalidad la deficiente aplicación y efectividad, ya que se sabe que parte del problema viene de la desinformación y malas prácticas llevadas a cabo. Frente a esto, se plantea seguir la metodología y realizar capacitaciones para los involucrados en esta iniciativa, para asegurarse de que tengan claridad al momento de realizar las respectivas labores.

Si bien es cierto, la cuantificación realizada demuestra números positivos, se recomienda realizar un estudio bajo condiciones exactas y para todos los tipos de equipos de carguío (si la operación lo permite), para no extrapolar información. De no realizarse esta exhaustiva y puntual toma de datos en terreno, se sugiere buscar un sistema de medición constante y fidedigno, ya que actualmente cada factor posible a estudiar tiene asociadas otras variables que no permiten el correcto análisis.

De no considerarse lo anterior y continuando como se ha hecho hasta ahora, se propone buscar otra iniciativa supresora de polución que no involucre tantos recursos y personal, de modo que esta se efectúe sin mayores necesidades de la operación. El aditivo muestra resultados sumamente prometedores si se aplica bien, pero si no se apunta a esto, solo se estará realizando una gran inversión sin tener un mayor retorno en función de las ganancias.

Finalmente, se recomienda no solo aplicar soluciones mitigadoras de polvo en la mina, sino también hacer énfasis en planta, específicamente en chancado, pues este contribuye en cerca de un 37%, versus las operaciones en el rajo que aportan un 40% (Gestión Ambiental Consultores, 2010).

7. Referencias

- Adriazola, J. (2021). *Modelo Tridimensional de Unidades de Mineralización del Yacimiento Antucoya. Región de Antofagasta, Chile*. Universidad de Concepción.
- Aguirre, R., Gálvez, O., Martínez, E., Muller, G., Munchmayer, C., Ponce, R., Rubio, X., Troncoso, P., & Valiente, P. (2013). *Estimación Recursos Minerales Factibilidad Antucoya 2013, Volumen II* (p. 113) [Privado]. AMSA.
- Ambiente y Tecnología. (s. f.). Monitor Portátil Thermo pDR-1500. *AyT - Ambiente y Tecnología*. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://www.ayt.cl/catalogo-de-productos/monitores-de-material-particulado/continuos/dustmate-medicion-polvo-en-caminos/monitor-portatil-thermo-pdr-1500/>
- Amec Foster Wheeler International Ingeniería y Construcción Limitada. (2019). *Informe de Auditoría del Modelo Geológico y de la Estimación de Leyes de la Mina Antucoya AMSA* (p. 156) [Privado].
- Antofagasta Minerals. (2015, octubre). *Geología del Depósito de Pórfido de Cobre Antucoya*.
- Arrieta, A. (2016). *Dispersión de Material Particulado (PM10), con Interrelación de Factores Meteorológicos y Topográficos*. 12.
- Bernales, B., Alcaíno, J., & Solís, R. (2008, marzo). *Situación de Exposición Laboral a Sílice en Chile*.
- Cardemil, M. (2023). *Impactos socioeconómicos de la minería en Chile* (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile; p. 19).
- Carvajal, C. (2023). *Costos Operacionales - Carguío* [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 8 de noviembre de 2023.
- Chemfluid. (2022, agosto 15). Usos del polietilenglicol en la industria de los químicos. *Chem Fluid*. <https://chemfluid.com.co/usos-del-polietilenglicol/>
- Cifuentes, R., Tapia, G., & Berna, N. (s. f.). *Prueba Industrial de Mitigación de Material Particulado en Mina Antucoya* (p. 23) [Privado].
- Cruz, S., Rojas, E., González, F., Saavedra, M., & Cespedes. (2023b). *Evaluación del Efecto del Aditivo Supresor de Polvo en la Fase Orgánica SX Minera Antucoya*.

Cruz, S., Tapia, J., González, F., & Rojas, E. (2023a). *Evaluación del Efecto del Aditivo Supresor de Polvo y Mitigador de Neblina Ácida en la Fase Orgánica Planta SX Minera Antucoya*.

Gerencia Planificación y Desarrollo. (2023, noviembre 2). *Plan Semanal: 2 al 8 de noviembre*.

Gestión Ambiental Consultores. (2010). *Anexo 4.1 Análisis de Calidad del Aire, Proyecto Antucoya*.

Global Construction Equipment. (s. f.). *Komatsu 930-E: Camiones de transporte*. Recuperado 5 de enero de 2024, de https://spain.global-ce.com/product/haul_trucks/komatsu/twaq.html

González, E., & Poblete, A. (2023). *Límite de Seguridad para Regadío Camión Aljibe en Material Tronado sobre Frente de Extracción* (p. 9).

González, M. (2016). *Exposición Laboral a Sílice Libre Cristalina*. *Informe Geología Regional y Geomorfología del Área Proyecto Antucoya* (p. 41). (2011). [Privado].

IngerWaterSolutions Tecnologías SA. (s. f.-a). *Ficha de Seguridad*.

IngerWaterSolutions Tecnologías SA. (s. f.-b). *IngerWaterSolutions Tecnologías*.

Jigsaw (2023a). *Indicadores Carguío Diario - [Equipos]*. [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 24 de octubre 2023.

Jigsaw (2023b). *ASARCO CARGUÍO*. [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 17 de octubre de 2023.

Komatsu. (s. f.). *P&H 4100XPC*. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://mining.komatsu/es/product-details/p-h-4100xpc>

Letelier, B. (s. f.). *Pruebas Supresor de Polvo Watersol MPOL 515*.

López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermúdez, P. (2017). *Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras: Minería y Obras Públicas*. Grupo de Proyectos de Ingeniería, ETSI Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

Mendoza, E., & Hernández, Y. (2023, octubre 2). *Seguimiento Iniciativas Control de Polvo*. Minera Antucoya. (s. f.). *Modelos Geometalúrgicos*.

Minera Antucoya. (2022). *Revisión JMineOps*.

- Ministerio de Salud. (1993). *Decreto Supremo 1162: Declara Zona Saturada por el Contaminante Material Particulado Respirable*.
- Ministerio de Salud. (2000). *Decreto 594: Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). *Material Particulado Respirable*. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://airevaldivia.mma.gob.cl/glosario/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2011). *Decreto Supremo 12: Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP 2,5*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Decreto Supremo 12: Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Respirable MP 10*.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia. (1994). *Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente*.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia, & Comisión Nacional de Medio Ambiente. (2004). *Decreto 37: Modifica Plan de Descontaminación para las Localidades de Maria Elena y Pedro de Valdivia*.
- Ortlieb, L. (2022). Evento El Niño y Episodios lluviosos en el Desierto de Atacama: El registro de los últimos dos siglos. *Bulletin de l'Institut Francais d'Études Andines*, 21.
- Pérez, A. E. (2013). *Origen del Yodo y Cromo en los Nitratos del Desierto de Atacama, Chile*. Universidad de Chile.
- Ponce, R., Valiente, P., Valenzuela, D., Troncoso, P., Aguirre, R., Cornejo, P., Medina, A., Mpodozis, C., & Münchmeyer, C. (2013). *Informe de Geología y QA/QC 2012-2013, Volumen I* (p. 150) [Privado]. AMSA.
- Portal Minero S.A. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia* (Digital).
- Productos Químicos Chile. (s. f.). Nonilfenol Etoxilado. *Productos Químicos Chile*. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://productosquimicoschile.cl/productos/nonilfenol-etoxilado/>
- SICEMA (2023a). *Tabla_mensual_01_07_2023* [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 1 de julio 2023.
- SICEMA (2023b). *Tabla_mensual_01_08_2023* [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 1 de agosto 2023.

SICEMA (2023c). *Tabla_mensual_01_09_2023* [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 1 de septiembre 2023.

SICEMA (2023d). *Tabla_mensual_01_10_2023* [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 1 de octubre 2023.

SICEMA (2023e). *Tabla_mensual_01_11_2023* [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 1 de noviembre 2023.

Sociedad Química y Minera de Chile. (s. f.). *Caliche*. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://www.sqm.com/sqmeninfografias/caliche.html>

Superintendencia de Gestión y Programación Operacional. (2023). *Plan Operativo: Semana del 07/09 al 13/09*.

Superintendencia Geología. (s. f.). *Inversión Térmica en Antucoya*.

Topographic Map. (s. f.). *Mapa topográfico Región de Antofagasta*. Mapas topográficos. Recuperado 5 de enero de 2024, de <https://es-cl.topographic-map.com/map-4tvmt/Regi%C3%B3n-de-Antofagasta/?center=-22.62358%2C-69.8756&zoom=16>

Tapia, G. (2023). *Bucket* [Hoja de cálculo de Excel]. Recuperado 15 de noviembre de 2023.

8. Anexos

8.1. Anexo A: Cálculo de prueba 7 de noviembre

Para comenzar, en Tabla 8.1 quedan expuestas las dimensiones de la geometría inicial:

Tabla 8.1: Dimensiones del sector a estudiar

Parámetro	Valor
Largo [m]	13
Ancho [m]	13
Altura banco [m]	16

Posteriormente se calcula el volumen total del bloque según Ecuación 1:

$$v = 13[m] * 13[m] * 16[m]$$

$$v = 2704 [m^3]$$

Luego, se sabe que la densidad del material tronado es de aproximadamente 1.8 ton/m³, resultando de Ecuación 2 una masa total de:

$$m = 1,8 \left[\frac{ton}{m^3} \right] * 2704 [m^3]$$

$$m = 4867,20 [ton]$$

A ello se aplica Ecuación 3 para determinar la humedad adicional al material a tratar, de 1.5%:

$$m_h = \frac{4867,2 [ton] * 1,5\%}{100\%}$$

$$m_h = 73,01 [ton]$$

Como la densidad del químico Watersol MPOL 515 es de 1 ton/m³, el volumen resulta ser igual a la masa recientemente obtenida:

$$v_h = \frac{73,01 \text{ [ton]}}{1 \left[\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]}$$

$$v_h = 73,01 \text{ [m}^3\text{]}$$

Finalmente, se determina el número de camiones a regar la zona estudiada con Ecuación 4, sabiendo previamente la capacidad del aljibe:

$$N_c = \frac{73,01 \text{ [m}^3\text{]}}{75 \text{ [m}^3\text{]}}$$

$$N_c = 0,97$$

Este valor se aproxima hacia arriba, es decir, se necesita 1 camión con 45 litros de producto y 74.955 litros de agua, para el riego de una plataforma de 13 metros de largo, por 13 metros de ancho y 16 metros de alto.

8.2. Anexo B: Costos para mantener las palas eléctricas operativas

Tabla 8.2: Costos asociados a pala eléctrica 1 (Carvajal, 2023).

Costos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Aceros de Desgaste	\$540	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Combustible y lubricantes	\$17.681	\$12.707	\$10.342	\$18.343	\$32.177	\$12.796	\$11.219	\$14.120	\$7.426
Informática y comunicaciones	\$ -	\$ -	\$1.282	\$65	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mano de Obra Mantenición	\$38.724	\$26.171	\$35.450	\$41.340	\$47.225	\$43.817	\$42.997	\$40.100	\$33.379
Materiales y Repuestos	\$218.864	\$100.135	\$121.585	\$184.409	\$126.487	\$185.669	\$1.313.531	\$440.505	\$210.683
Reactivos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$842	\$ -	\$ -
Servicios	\$5.192	\$794	\$6.397	\$7.346	\$1.358	\$7.780	\$19.539	\$3.104	\$8.415
Servicios Mantenimiento	\$79.216	\$81.036	\$32.401	\$59.404	\$85.383	\$107.075	\$39.322	\$119.357	\$40.084
Subreparto	\$69.392	\$91.255	\$50.401	\$43.769	\$53.398	\$36.850	\$36.383	\$40.900	\$47.614
Total [USD]	\$429.609	\$312.099	\$257.859	\$354.677	\$346.028	\$393.986	\$1.463.832	\$658.086	\$347.600

Tabla 8.3: Costos asociados a pala eléctrica 1 (Carvajal, 2023).

Costos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Aceros de Desgaste	\$ -	\$266	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$103.755	\$ -
Combustible y lubricantes	\$24.068	\$16.359	\$11.181	\$10.302	\$21.692	\$17.475	\$16.468	\$5.991	\$9.114
Mano de Obra Mantenición	\$27.545	\$46.166	\$62.502	\$23.365	\$51.613	\$51.308	\$27.627	\$44.231	\$10.518
Materiales y Repuestos	\$747.746	\$437.780	\$281.109	\$107.519	\$67.036	\$199.868	\$101.051	\$213.778	\$55.664
Reactivos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$157	\$ -	\$671	\$ -
Servicios	\$27.951	\$-38	\$-11.342	\$2	\$581	\$6.335	\$6.585	\$40.388	\$6.883
Servicios Mantenimiento	\$85.561	\$48.829	\$155.313	\$223.404	\$94.513	\$117.375	\$56.009	\$204.295	\$91.213
Subreparto	\$77.610	\$99.412	\$56.203	\$55.204	\$63.403	\$104.880	\$-11.407	\$51.371	\$54.365
Total [USD]	\$990.481	\$648.774	\$554.967	\$419.795	\$298.837	\$497.397	\$196.333	\$664.480	\$227.757

8.3. Anexo C: Tonelaje movido por palas eléctricas 2022

Tabla 8.4: Material movido S01 y S02 (Jigsaw, 2023a).

Mes	Material movido [ton]	
	S01	S02
Enero	1.982.856	1.768.798
Febrero	1.431.383	1.287.431
Marzo	1.861.855	2.154.516
Abril	1.762.791	1.743.080
Mayo	1.782.811	1.651.271
Junio	1.639.883	1.966.260
Julio	1.398.936	2.328.194
Agosto	2.291.228	2.206.661
Septiembre	2.419.466	2.232.007
Octubre	2.108.493	2.322.850
Noviembre	2.221.912	2.052.407
Diciembre	2.268.843	1.954.088
Total	23.170.457	23.667.562

8.4. Anexo D: Aplicación de producto por equipo [lts]

Tabla 8.5: Aplicación de producto por equipo, junio 2023.

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01	Total
1	120	0	0	0	0	120
2	90	0	0	0	0	90
3	30	60	0	0	0	90
4	120	0	0	0	0	120
5	0	30	0	0	0	30
6	30	60	0	0	0	90
7	0	150	30	30	0	210
8	0	90	30	120	0	240
9	90	0	0	30	0	120
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	60	0	0	60
12	180	0	90	60	0	330
13	180	0	30	0	0	210
14	60	0	120	0	0	180
15	240	0	0	0	0	240
16	180	0	150	120	0	450
17	150	0	0	0	0	150
18	210	30	0	60	0	300
19	90	0	120	30	0	240
20	60	0	180	120	0	360
21	210	0	180	0	0	390
22	240	0	150	60	0	450
23	90	0	0	0	180	270
24	60	60	0	30	0	150
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	90	0	90	0	0	180
30	90	120	0	0	0	210

Tabla 8.6: Aplicación de producto por equipo, julio 2023.

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01	Total
1	120	0	0	60	0	180
2	0	0	0	0	0	0
3	90	0	0	0	0	90
4	120	0	0	0	0	120
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	60	0	0	0	60
9	0	90	0	0	0	90
10	0	180	0	0	0	180
11	0	150	0	0	0	150
12	90	180	0	0	30	300
13	0	210	0	60	0	270
14	0	240	0	0	0	240
15	0	60	0	60	0	120
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	60	0	0	60
19	0	0	60	0	0	60
20	0	60	30	0	0	90
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	30	30
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	240	0	0	0	240
29	0	120	0	0	0	120
30	0	390	0	0	0	390
31	0	330	0	0	0	330

Tabla 8.7: Aplicación de producto por equipo, agosto 2023.

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01	Total
1	0	300	0	0	0	300
2	0	90	90	0	0	180
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	30	90	0	0	0	120
7	90	210	0	0	0	300
8	60	240	0	0	0	300
9	135	495	0	0	0	630
10	450	45	0	0	0	495
11	0	0	0	45	0	45
12	630	0	45	0	0	675
13	405	0	45	0	0	450
14	45	180	0	0	135	360
15	90	405	0	0	45	540
16	0	450	0	0	0	450
17	0	315	0	0	0	315
18	0	180	0	0	0	180
19	0	0	225	0	0	225
20	225	90	225	0	0	540
21	0	45	0	0	0	45
22	405	45	0	0	0	450
23	90	0	0	0	0	90
24	360	0	0	0	0	360
25	225	0	90	0	0	315
26	225	0	225	0	0	450
27	135	0	180	0	0	315
28	405	0	270	0	0	675
29	540	0	90	0	0	630
30	135	0	180	0	0	315
31	0	0	0	0	0	0

Tabla 8.8: Aplicación de producto por día, septiembre 2023.

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01	Total
1	0	0	0	0	0	0
2	135	0	0	0	0	135
3	0	0	0	315	0	315
4	0	0	0	45	0	45
5	0	0	0	90	0	90
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	45	0	0	45
8	0	0	0	0	0	0
9	135	0	270	0	0	405
10	180	0	495	0	0	675
11	0	0	180	0	0	180
12	0	0	270	0	0	270
13	0	0	0	45	0	45
14	0	180	90	135	0	405
15	0	135	135	45	0	315
16	0	45	0	0	0	45
17	0	225	0	0	0	225
18	0	45	90	135	0	270
19	45	0	0	45	0	90
20	90	315	0	0	0	405
21	0	0	45	0	0	45
22	180	270	45	0	0	495
23	270	135	0	0	0	405
24	0	45	0	0	0	45
25	0	0	0	0	0	0
26	0	90	0	90	0	180
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	315	0	0	315
30	135	0	0	0	0	135

Tabla 8.9: Aplicación de producto por equipo, octubre 2023.

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01	Total
1	180	0	0	0	0	180
2	0	0	90	90	0	180
3	0	0	0	45	0	45
4	0	0	0	90	0	90
5	45	0	0	0	0	45
6	225	90	0	45	45	405
7	0	0	0	0	0	0
8	90	0	45	0	0	135
9	180	0	135	0	45	360
10	45	0	90	0	0	135
11	45	135	90	0	0	270
12	0	45	0	180	0	225
13	0	0	90	135	45	270
14	0	45	90	90	90	315
15	0	45	45	0	45	135
16	0	0	270	45	45	360
17	45	0	180	45	0	270
18	90	0	0	135	0	225
19	180	0	0	0	0	180
20	90	0	0	225	0	315
21	90	0	0	0	0	90
22	225	0	0	0	0	225
23	90	0	0	0	0	90
24	0	0	135	0	0	135
25	0	0	0	90	0	90
26	135	0	45	0	0	180
27	0	0	0	180	0	180
28	0	0	315	135	0	450
29	90	0	0	45	0	135
30	180	0	0	0	0	180
31	135	0	45	0	0	180

8.5. Anexo E: Estado operativo “Surfactante” [hrs]

Tabla 8.10: Estado “Surfactante” julio 2023 (Jigsaw, 2023b).

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0,001	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	1,873	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	2,421	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0,002	0	0	0
22	0	0	0	0,014	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0,112
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	5,28	0

Tabla 8.11: Estado “Surfactante”, agosto 2023 (Jigsaw, 2023b).

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01
1	0,003	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	1,533	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0,344	0	0	0	0
11	0	0	0	3,078	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	1,818	0	0,031
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0

Tabla 8.12: Estado “Surfactante”, septiembre 2023 (Jigsaw, 2023b).

Día	S01	S02	SH01	SH02	L01
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	3,057
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	1,397	0	1,326
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0,002	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0,015
15	0	0	0	0	0
16	0	0,41	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	1,231	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0

8.6. Anexo F: Concentración diaria de MP10 [µg/m³].

Tabla 8.13: Concentración diaria MP10, junio 2023 (SICEMA, 2023a).

Día	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Promedio día MP10
01	196,0	194,0	277,0	250,0	323,0	325,0	317,0	293,0	508,0	320,0	286,0	226,0	0,0	42,0	58,0	46,0	49,0	46,0	62,0	172,0	155,0	112,0	315,0	383,0	206,5
02	406,0	628,0	264,3	417,9	397,8	391,6	259,9	551,4	129,9	79,4	42,2	107,8	88,6	91,7	60,6	119,1	62,7	54,4	50,4	76,4	173,5	169,2	157,9	136,8	204,9
03	277,7	312,0	322,1	285,2	292,0	267,6	280,1	175,3	233,4	263,6	198,5	142,4	67,5	49,7	55,9	64,0	62,7	47,9	43,6	43,0	54,3	47,3	49,9	66,2	154,2
04	134,7	135,2	197,7	145,8	173,6	184,6	446,5	517,7	270,8	272,9	215,4	200,0	203,6	48,2	50,1	44,8	57,7	40,8	72,1	50,8	52,2	125,4	291,6	232,1	173,5
05	600,3	468,1	467,0	426,1	321,8	440,3	561,2	256,6	384,1	169,5	84,9	123,3	130,5	84,9	65,8	91,5	49,4	42,3	37,7	42,4	67,7	69,9	99,6	94,5	215,8
06	182,3	143,1	131,0	211,2	114,3	90,3	102,7	63,7	61,8	58,6	67,6	110,8	129,3	66,1	41,4	42,2	39,9	36,6	33,9	88,5	73,1	72,0	81,3	141,5	91,0
07	314,7	528,4	233,7	226,5	111,3	115,6	93,1	624,7	640,4	111,4	166,7	121,0	42,6	41,8	50,0	72,3	48,4	47,1	43,7	48,8	62,7	43,3	116,3	166,8	169,6
08	56,0	45,1	38,8	38,0	46,7	41,6	35,8	43,0	82,2	52,1	45,7	81,6	92,1	52,9	40,3	58,2	48,1	61,3	37,6	50,6	65,8	70,4	160,1	149,4	62,2
09	137,7	226,0	241,3	199,9	242,7	241,6	412,2	275,4	237,9	263,3	65,5	46,2	60,5	45,3	47,3	46,8	42,2	43,7	60,5	47,2	63,6	51,1	56,6	73,4	134,5
10	480,2	263,5	613,2	320,8	417,1	253,7	222,4	331,4	123,2	80,9	171,9	164,1	106,6	35,4	68,7	60,3	45,1	40,1	42,4	47,4	47,4	50,1	93,3	197,8	178,2
11	213,9	321,6	311,0	173,5	238,3	206,9	124,8	137,7	184,6	130,7	133,8	123,7	79,0	54,4	66,2	50,5	40,5	44,9	39,3	40,5	41,9	46,5	88,4	193,0	128,6
12	130,3	328,9	234,7	281,9	378,4	766,3	453,4	238,8	313,2	100,4	114,9	116,5	62,9	73,6	78,4	132,7	82,1	42,9	37,6	41,7	67,2	47,1	63,5	71,5	177,5
13	61,7	75,8	113,3	96,7	88,4	76,1	64,3	132,4	155,8	106,7	63,1	80,2	57,0	43,2	49,9	56,2	55,1	46,1	42,0	37,6	63,5	62,8	67,9	149,2	76,9
14	249,9	612,1	259,4	96,2	322,5	248,9	188,9	61,1	74,6	71,8	49,8	59,3	54,7	111,2	71,8	51,2	91,8	52,8	90,9	111,2	166,3	232,2	128,4	110,8	148,7
15	175,3	282,1	107,9	114,3	103,7	105,8	209,4	126,7	91,9	71,4	76,8	140,1	111,4												132,1
16	230,0	230,6	234,0	157,1	68,0	110,2	87,6	109,2	79,7	75,8	76,5	43,6	20,2	18,5	20,5	23,9	20,0	20,7	46,2	51,3	85,2	166,3	204,2	196,3	99,0
17	135,3	99,2	106,7	87,3	113,1	73,0	56,3	92,3	73,9	70,9	104,0	39,2	17,0	35,1	27,5	35,3	24,5	41,3	18,2	60,3	172,7	193,6	407,5	299,3	99,3
18	503,9	348,8	265,7	69,3	55,5	69,3	158,7	179,4	65,9	115,6	60,4	33,9	36,4	19,2	20,4	12,7	14,1	24,4	76,2	109,3	115,8	72,4	59,6	185,5	111,3
19	230,0	167,3	212,0	192,7	185,2	195,6	118,9	142,7	49,2	43,9	74,2	36,1	50,4	46,5	42,1	40,2	30,6	14,0	28,6	31,3	39,4	70,2	41,3	93,6	90,7
20	172,8	202,3	204,5	165,9	217,3	212,2	148,7	237,8	23,5	23,8	58,7	10,8	21,8	25,0	22,6	25,3	22,0	16,1	14,2	10,1	11,4	13,4	32,5	69,0	81,7
21	141,0	160,3	239,8	277,9	448,8	369,5	308,1	133,1	112,0	171,9	146,1	62,0	106,6	18,5	30,8	19,2	61,1	83,4	29,0	17,2	20,0	26,4	82,2	297,0	140,1
22	205,9	169,5	221,3	239,7	173,2	217,7	134,4	245,7	273,3	98,6	109,5	115,6	31,4	22,9	39,5	27,2	22,1	15,9	16,3	20,9	24,5	21,2	66,9	135,0	110,3
23	239,4	172,6	110,0	81,5	106,1	219,7	195,8	208,2	59,4	38,0	25,7	21,8	28,7	32,1	25,5	27,8	23,3	22,4	19,7	23,5	15,6	14,4	18,3	23,4	73,0
24	26,5	202,1	188,7	171,9	318,8	432,6	242,9	67,1	23,5	33,7	67,6	43,8	44,8	42,2	42,9	35,3	26,1	21,8	30,1	258,6	371,9	196,5	94,2	167,3	131,3
25	203,3	162,7	149,3	229,7	172,9	205,6	174,0	20,5	18,7	26,3	33,6	24,7	32,6	32,3	78,4	40,4	38,5	35,3	35,2	85,8	155,8	200,9	67,5	75,1	95,8
26	112,9	145,7	191,2	137,5	95,7	130,0	439,1	336,0	410,8	260,9	140,0	46,3	44,3	33,7	31,1	21,7	32,1	30,3	50,5	61,6	39,5	288,2	367,8	346,6	158,1
27	313,2	218,3	205,2	277,0	186,0	115,8	266,0	206,5	249,4	66,6	69,0	39,3	60,3	51,2	56,9	45,8	30,4	32,3	38,8	57,0	102,1	83,9	268,7	217,9	135,7
28	251,1	249,4	297,0	243,8	55,2	47,9	68,4	83,2	42,7	117,1	154,8	106,8	52,0	17,3	39,4	22,7	17,3	17,6	16,9	21,4	110,9	239,4	365,2	403,7	126,7
29	431,5	353,9	177,6	70,3	247,0	130,8	111,5	138,6	53,7	44,3	73,4	109,7	38,8	31,3	39,0	42,7	33,3	27,7	16,0	32,5	73,8	211,6	182,8	87,9	115,0
30	306,1	221,6	71,9	132,6	83,7	254,3	253,1	302,7	260,9	247,6	188,8	319,6	43,8	32,0	24,3	49,3	23,9	20,4	25,9	113,6	206,9	198,4	267,4	232,7	161,7

Tabla 8.14: Concentración diaria MP10, julio 2023 (SICEMA, 2023b).

Día	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Promedio día MP10
01	468,1	245,0	291,4	329,8	125,4	56,9	212,4	268,1	121,2	69,2	78,9	112,3	22,1	26,7	47,1	51,5	52,4	86,0	37,8	43,7	94,9	226,6	99,9	92,5	135,8
02	22,5	31,9	89,0	323,0	164,4	84,6	94,4	239,1	230,9	74,7	69,2	44,9	23,7	25,5	33,9	32,8	34,5	44,7	48,1	28,5	38,8	81,2	61,9	55,5	82,4
03	136,5	257,5	278,0	287,3	229,5	362,2	219,0	207,8	103,8	286,1	222,6	38,0	37,2	27,9	32,7	30,7	27,0	21,5	24,0	35,5	79,1	92,1	123,9	207,8	140,3
04	220,5	195,7	183,0	377,6	389,8	123,6	44,9	55,1	177,1	181,3	229,8	108,0	41,7	38,0	34,6	53,6	50,4	29,5	23,9	19,7	14,2	99,2	116,3	68,5	119,8
05	87,4	117,5	126,9	204,2	241,9	320,3	173,9	370,1	363,7	404,6	141,4	67,8	39,4	40,9	54,4	39,9	47,8	37,9	20,5	21,9	27,0	29,3	37,4	68,3	128,5
06	228,2	388,3	257,7	332,9	320,9	389,0	431,6	418,4	335,7	310,4	87,9	42,0	22,3	30,7	67,3	47,7	42,1	32,3	14,1	21,9	26,2	32,9	66,5	180,8	172,0
07	297,5	317,7	372,3	431,3	345,2	476,3	732,4	489,0	225,1	206,3	175,1	102,5	30,4	24,9	34,3	55,0	75,0	62,0	80,6	31,1	52,4	82,7	204,1	261,4	215,2
08	291,7	347,4	356,7	420,0	435,6	456,2	533,3	419,4	281,1	285,4	198,1	21,5	30,1	24,0	46,8	38,0	44,2	47,7	37,1	23,5	29,0	92,6	185,4	669,0	221,4
09	357,9	379,7	281,3	275,0	229,9	297,8	221,0	404,5	389,0	327,9	252,4	105,6	32,6	27,1	27,5	23,9	24,0	29,1	51,4	64,1	80,5	210,7	71,9	75,2	176,7
10	57,3	84,1	58,8	101,7	76,0	28,1	53,4	40,2	16,2	108,6	76,7	80,1	122,2	104,0	78,0	49,5	43,3	27,0	25,0	25,1	17,9	77,4	79,5	318,0	72,8
11	169,5	181,6	248,1	204,5	156,2	59,5	30,6	14,5	29,9	91,5	207,3	346,1	492,8	211,5	31,6	60,1	145,5	22,0	23,2	17,2	23,0	22,0	26,0	33,9	118,7
12	41,1	31,0	37,9	56,3	104,2	157,7	202,6	213,1	24,7	35,4	52,7	25,0	17,1	11,3	23,7	71,7	22,2	19,9	99,0	79,4	78,7	93,9	120,6	167,3	74,4
13	248,4	231,1	232,6	292,4	102,9	131,3	102,2	74,5	82,8	86,7	58,6	46,8	19,5	29,4	20,2	23,2	27,7	70,0	13,5	17,6	19,4	51,1	44,6	47,8	86,4
14	144,9	179,8	571,4	480,9	356,0	285,5	404,2	125,3	52,1	50,1	253,7	255,9	41,4	39,3	30,1	25,5	21,9	79,1	22,1	50,7	85,3	145,5	62,4	145,4	162,8
15	26,5	50,2	255,4	635,9	474,6	258,4	165,4	190,1	563,8	291,8	211,9	64,2	20,2	12,5	18,5	16,7	19,4	26,7	45,0	46,3	100,7	53,1	186,1	331,6	169,4
16	383,5	271,2	366,4	394,7	443,1	534,1	278,7	395,8	282,5	142,9	143,0	17,2	32,8	39,7	42,0	13,4	20,3	20,2	39,8	206,6	28,0	51,2	123,7	214,2	186,9
17	178,9	183,4	134,9	82,4	69,6	119,7	141,0	102,8	74,2	74,1	124,4	39,4	23,6	20,8	11,7	24,2	16,6	21,7	23,9	27,3	39,0	49,0	36,1	77,7	70,7
18	67,3	139,1	217,4	224,8	138,3	125,5	111,3	89,3	65,9	194,5	120,4	47,4	15,2	17,5	33,1	28,8	26,7	42,4	73,2	43,5	35,8	34,5	73,1	126,4	87,1
19	268,5	254,7	328,8	306,0	205,2	219,9	280,2	214,7	130,4	233,2	204,2	149,6	88,3	27,7	16,4	19,7	9,2	7,5	14,3	15,5	24,5	33,1	19,9	65,2	130,7
20	130,1	127,8	87,8	128,7	188,7	46,5	150,7	266,3	258,6	241,8	384,9	143,4	27,4	17,0	18,6	21,7	20,3	47,2	30,6	65,9	92,9	49,7	56,8	127,9	113,8
21	192,7	154,2	99,7	71,2	46,5	58,2	44,1	120,7	32,4	36,8	17,6	19,5	23,8	15,8	15,1	23,8	35,8	22,7	36,0	55,9	48,6	113,4	142,9	121,9	64,5
22	156,6	43,1	22,4	20,6	37,5	47,5	50,7	137,9	105,0	60,2	30,4	17,8	22,0	15,1	21,1	22,2	22,6	14,9	21,6	19,0	31,8	74,7	36,2	40,2	44,6
23	16,3	103,1	30,8	21,2	32,1	62,7	20,2	51,4	45,1	56,7	52,9	20,1	18,4	13,5	11,9	19,0	11,9	19,0	15,3	28,2	17,0	22,9	20,4	22,2	30,5
24	16,1	16,6	14,8	20,5	19,7	22,8	55,9	101,8	140,8	156,7	36,3	18,5	22,2	23,3	27,4	15,6	12,4	17,6	23,4	29,7	21,4	18,1	51,7	61,0	39,4
25	69,8	46,2	17,8	15,7	21,8	36,6	43,6	52,0	29,2	23,5	101,9	69,5	11,7	15,4	12,1	39,4	14,0	13,8	13,3	14,5	13,6	29,7	29,0	45,5	32,5
26	71,8	40,0	30,3	24,5	19,3	18,6	21,4	41,7	24,6	41,5	36,5	32,5	20,3	54,4	39,7	17,7	21,7	24,6	60,9	57,9	20,4	19,3	50,6	49,8	35,0
27	41,4	62,6	63,2	72,7	79,4	54,9	53,6	100,2	35,7	19,5	25,4	19,4	20,8	19,0	19,5	33,2	12,2	17,8	30,7	46,6	23,5	64,0	88,4	30,6	43,1
28	30,1	19,3	32,2	76,5	93,0	103,3	140,3	79,6	90,0	67,4	56,1	34,1	16,9	31,9	34,3	27,6	43,4	52,3	49,3	35,6	50,8	31,4	93,8	74,1	56,8
29	61,0	79,7	124,3	162,6	46,0	43,4	27,1	31,9	80,1	55,0	173,0	104,9	33,2	26,7	16,3	19,6	18,0	112,3	77,7	43,4	115,1	125,9	170,9	153,3	79,2
30	34,4	37,7	62,9	77,4	53,3	80,1	26,1	47,4	36,8	130,9	158,9	83,2	31,6	27,1	20,1	19,4	30,3	26,2	20,7	33,7	47,6	46,6	87,0	95,0	54,8
31	103,8	148,0	208,4	177,3	139,0	69,8	93,2	133,0	46,4	32,9	48,7	43,3	22,9	24,8	14,8	13,6	27,0	13,4	23,6	32,2	38,7	86,8	89,2	70,2	70,9

Tabla 8.15: Concentración diaria MP10, agosto 2023 (SICEMA, 2023c).

Día	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Promedio día MP10
01																									0
02																									0
03																									0
04																									0
05																									0
06																									0
07																									0
08																									0
09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75,17	151,34	199,36	231,3	137,01	32,56	62,41	47,62	50,48	33,65	46	82,22	47,9
10	674,3	556,1	554,4	244,8	761,7	713,6	1368,5	1128,1	242,0	169,2	577,2	361,9	65,4	112,2	77,9	63,6	74,8	34,2	13,4	11,9	24,9	33,7	121,8	419,7	350,2
11	736,2	762,4	642,9	737,7	290,0	655,1	962,2	431,2	52,3	170,5	152,9	47,8	89,6	48,1	117,9	81,8	36,1	43,2	35,2	31,0	34,0	58,6	60,3	315,9	274,7
12	1096,6	1276,2	1254,1	647,7	845,2	476,3	278,7	49,4	116,5	272,9	231,4	146,1	74,8	61,5	60,9	31,1	32,2	22,2	90,0	132,0	109,0	445,9	271,3	381,5	350,2
13	431,9	487,1	974,8	754,0	384,6	487,9	795,2	709,3	170,3	152,6	98,1	33,3	84,8	64,5	98,0	101,8	73,8	263,5	72,5	80,5	96,9	111,5	199,1	473,6	300,0
14	459,2	286,8	120,6	110,8	60,9	71,2	84,6	491,3	405,2	187,9	97,7	18,2	80,6	49,4	89,9	73,1	139,7	154,7	144,5	73,5	120,9	42,6	155,1	327,1	160,2
15	331,9	378,7	564,2	598,4	399,4	649,5	656,5	322,7	84,3	179,3	123,0	27,0	122,5	120,5	239,2	264,5	182,9	34,6	21,5	32,6	50,9	142,4	523,7	915,8	290,2
16	604,9	716,5	869,0	1059,1	650,4	419,0	700,4	519,1	346,0	591,0	115,9	54,9	379,2	63,7	110,8	106,5	90,0	65,3	44,3	49,1	37,0	65,2	180,5	410,5	343,7
17	1052,6	934,5	317,1	639,9	644,8	1091,8	1073,7	1073,5	902,0	554,7	413,4	68,1	99,7	60,9	144,6	73,3	58,5	28,0	41,4	37,1	23,1	71,6	54,3	201,6	402,5
18	404,6	294,6	381,1	498,3	402,5	602,8	504,0	964,7	361,5	293,1	621,0	227,3	51,1	69,2	61,3	67,4	96,7	71,3	123,3	69,9	49,1	61,4	36,1	129,8	268,4
19	545,9	527,7	563,8	587,8	802,1	406,9	735,7	1206,9	794,3	294,1	39,9	44,8	47,1	49,7	99,5	156,5	89,7	119,6	57,5	36,7	44,2	46,1	75,9	290,3	319,3
20	495,9	381,8	713,3	1008,9	694,4	561,6	726,0	517,4	285,2	166,1	317,0	184,8	51,6	104,6	103,9	72,4	76,5	71,0	69,4	75,0	1177,3	821,4	734,5	668,2	419,9
21	850,1	673,4	602,1	485,9	682,4	385,1	268,0	216,2	235,4	239,9	60,5	109,7	60,3	100,2	100,7	44,1	75,8	78,2	71,8	131,2	109,5	324,6	470,1	581,6	289,9
22	756,1	642,6	578,4	483,5	259,5	266,7	168,8	848,6	419,3	201,6	384,8	85,9	58,4	86,3	85,9	103,1	98,1	58,4	38,7	55,9	0,0	143,5	260,5	124,6	258,7
23	188,9	301,5	1330,4	867,1	671,7	258,5	572,0	380,9	448,3	422,3	248,8	194,7	58,7	23,2	18,8	80,5	250,8	39,0	42,3	83,4	62,9	201,9	238,6	130,3	296,5
24	888,7	1139,1	963,5	1003,7	774,2	770,7	1598,7	1895,4	1170,7	904,4	330,2	39,2	78,9	68,9	68,0	82,0	56,2	41,8	14,8	22,9	48,0	217,5	232,2	105,5	521,5
25	210,4	762,4	866,6	690,6	848,5	1196,5	1714,3	1401,8	1248,7	908,3	535,2	185,4	59,6	53,7	39,9	101,6	42,8	64,2	43,1	69,3	65,6	95,8	400,1	768,0	515,5
26	1058,9	700,0	752,2	769,9	822,6	886,9	1078,6	807,8	604,1	333,8	119,1	50,6	52,9	52,8	80,7	47,9	35,8	42,3	36,2	41,7	65,4	63,1	130,1	48,8	361,8
27	131,6	254,0	278,1	383,7	464,0	537,7	618,1	758,8	337,3	431,2	211,6	78,6	90,7	55,6	84,0	64,4	147,0	53,8	68,1	41,3	155,0	194,4	92,1	93,0	234,3
28	295,4	335,0	393,5	351,7	1002,7	564,4	507,8	703,2	611,9	528,8	128,7	75,9	65,2	45,4	60,4	102,4	0,0	0,0	75,4	97,9	110,2	120,2	89,4	336,3	275,1
29	732,8	839,0	901,5	711,4	880,2	920,8	746,4	761,7	631,2	730,9	264,7	101,5	50,0	88,5	62,7	60,5	68,4	94,7	56,3	33,0	37,6	37,2	214,8	528,4	398,1
30	706,9	724,9	1181,2	1351,4	1445,1	580,1	366,5	307,7	361,7	255,4	149,9	32,9	52,5	63,7	86,4	83,2	70,9	51,6	34,6	64,7	68,9	54,4	266,2	1830,2	424,6
31	1581,8	1149,3	1253,4	1787,4	1804,3	854,0	607,6	1332,0	625,5	376,5	179,6	54,3	102,6	0,0	0,0	0,0	60,4	80,4	108,1	94,5	185,7	209,4	419,8	165,1	543,0

Tabla 8.16: Concentración diaria MP10, septiembre 2023 (SICEMA, 2023d).

Día	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Promedio día MP10
01	795,8	505,3	280,7	215,5	183,4	290,2	564,6	315,8	332,3	180,2	111,3	73,2	76,1	53,0	241,2	103,0	91,7	44,3	67,2	38,4	42,4	243,0	431,9	282,4	231,8
02	127,6	339,8	752,5	930,7	823,8	443,5	313,6	178,9	131,1	141,5	193,2	91,3	53,6	144,5	147,2	80,2	34,7	29,7	30,8	56,6	54,5	156,0	479,8	639,8	265,6
03	822,3	314,0	248,1	495,2	686,1	127,2	153,1	196,0	159,7	269,2	63,7	23,9	35,1	203,6	55,6	15,7	16,2	20,8	23,0	83,2	221,8	265,0	326,7	286,7	213,0
04	428,0	238,7	351,1	540,6	677,5	633,5	687,7	500,8	439,5	273,9	258,4	75,1	61,7	65,4	49,5	57,5	49,7	17,1	23,2	108,1	294,5	131,7	301,8	255,5	271,7
05	364,9	1060,9	555,4	804,0	900,0	1107,8	849,9	473,2	1195,0	413,9	214,8	79,4	74,9	58,5	82,4	59,6	64,2	74,7	38,8	118,5	147,2	205,4	97,1	222,4	386,0
06	394,6	796,5	857,7	833,9	319,5	57,5	68,8	111,3	261,1	317,0	46,6	36,0	94,9	79,0	113,5	50,4	37,7	25,4	30,5	21,1	14,4	37,0	181,1	659,1	226,9
07	1007,3	1040,9	581,7	862,4	1372,1	931,7	754,8	404,4	383,9	386,1	217,7	94,3	29,4	157,4	70,9	64,6	39,7	32,8	33,6	23,7	27,9	36,0	374,0	1236,4	423,5
08	878,7	1379,9	1751,1	1947,0	1707,1	746,1	1371,6	2258,4	2546,8	788,4	80,0	100,9	124,1	130,9	70,4	110,5	71,3	60,8	58,3	31,8	24,8	119,6	120,7	83,7	690,1
09	94,0	244,9	569,7	816,8	718,8	1061,0	1191,5	1016,0	812,5	408,8	62,3	200,3	54,4	60,6	39,7	55,8	26,6	30,9	36,6	21,4	33,0	27,3	40,5	111,8	322,3
10	212,4	118,8	133,9	79,8	46,7	74,4	50,4	58,8	31,8	69,7	97,0	107,0	91,9	63,8	35,5	91,2	39,6	25,0	25,0	44,3	34,4	57,5	72,3	129,0	74,6
11	831,7	794,8	595,2	1568,1	903,7	1461,5	1073,1	422,6	583,5	460,8	307,0	85,4	50,3	56,2	126,8	123,3	74,2	42,8	29,0	33,6	26,2	35,9	44,7	22,8	406,4
12	35,8	14,3	13,8	22,2	49,2	60,4	487,4	584,5	111,4	105,8	96,1	39,9	31,9	52,0	59,6	23,7	45,5	32,6	48,5	63,7	31,2	23,0	28,7	761,8	117,6
13	1118,7	670,5	1089,8	2913,8	1312,0	887,6	1093,4	330,9	1434,9	609,1	149,3	79,5	46,0	44,4	21,4	55,0	47,1	18,4	30,1	34,1	14,0	47,2	55,5	67,1	507,1
14	121,5	358,8	742,5	577,2	631,5	718,7	838,6	932,9	757,5	576,1	161,9	86,2	37,4	79,8	51,6	61,1	53,1	13,5	24,5	48,7	82,4	148,1	236,0	565,7	329,4
15	754,7	838,6	1006,8	1074,6	780,9	1080,7	999,7	1112,5	460,4	98,3	64,8	27,6	23,1	37,0	73,5	53,8	21,3	7,0	73,1	54,4	125,5	137,2	377,4	724,1	417,0
16	216,3	265,3	258,1	431,4	93,2	325,8	468,1	191,3	191,6	112,4	98,2	74,5	37,4	120,6	50,6	33,2	68,6	84,6	43,5	104,6	403,7	205,2	1008,3	423,1	221,2
17	643,6	556,0	702,2	360,7	397,6	377,6	98,8	253,3	258,9	45,7	54,9	54,2	63,1	81,6	47,0	73,3	127,5	42,2	24,1	54,7	36,1	17,2	43,3	345,7	198,3
18	506,1	579,5	406,9	171,0	226,5	298,9	385,3	310,5	164,9	222,6	119,4	97,5	73,9	33,4	35,4	46,0	125,0	36,1	22,7	47,9	55,6	122,0	291,6	475,6	202,3
19	687,4	549,4	610,6	589,9	429,3	244,0	191,0	179,4	294,2	210,8	186,1	58,5	29,3	69,7	52,0	62,0	71,2	30,4	23,2	29,5	48,8	56,2	186,4	655,9	231,0
20	374,9	502,2	325,2	336,9	228,5	166,2	202,8	229,5	567,8	163,9	24,7	21,2	33,7	39,2	19,7	20,3	16,5	21,3	49,1	15,8	23,9	88,3	122,1	544,6	172,4
21	859,5	1001,5	1288,9	1518,5	1290,2	698,3	726,9	452,3	432,2	373,6	141,3	112,8	56,7	39,3	137,6	90,1	77,7	84,5	65,3	80,5	115,0	131,7	116,7	129,2	417,5
22	146,4	105,4	85,2	94,0	124,0	121,4	70,1	55,5	66,3	53,0	95,1	65,6	56,7	55,6	72,9	82,8	69,8	46,0	28,7	21,8	35,9	49,4	48,0	62,3	71,3
23	42,4	50,6	105,2	167,0	119,0	66,7	809,4	1126,3	317,5	103,0	122,2	45,1	36,3	39,9	37,6	37,6	32,8	25,2	36,8	84,6	87,5	97,5	109,9	44,7	156,0
24	49,3	96,3	269,0	416,3	418,6	820,6	524,4	270,0	129,2	124,8	44,6	20,4	33,8	77,1	44,1	42,6	50,8	37,2	39,2	32,3	52,9	166,2	185,2	377,5	180,1
25	667,1	642,8	905,8	540,3	243,8	159,0	133,6	113,4	117,0	56,3	58,0	103,2	39,3	70,5	89,5	36,2	15,7	9,9	14,5	38,3	33,1	112,3	108,5	35,3	181,0
26	33,4	58,8	199,5	479,6	754,7	1416,3	1075,6	987,9	481,6	463,4	91,9	55,9	59,1	53,4	52,2	29,6	32,9	58,6	46,8	25,0	26,6	132,6	76,0	42,0	280,6
27	89,9	50,6	75,7	146,3	286,6	494,0	513,6	525,0	646,0	29,9	22,1	25,8	33,5	107,9	45,6	77,6	68,1	57,6	30,9	16,0	44,9	125,1	32,2	50,1	149,8
28	222,3	344,7	590,0	46,8	89,1	545,3	963,5	585,8	453,1	281,8	52,2	61,2	49,0	56,4	64,5	73,4	39,9	25,2	36,8	39,0	49,3	38,9	179,0	118,7	208,6
29	455,3	151,7	216,6	692,2	940,1	1049,5	1604,9	1646,4	837,4	402,8	62,3	71,2	41,8	140,4	60,1	40,7	42,0	40,6	30,9	29,8	38,1	34,7	311,4	247,0	382,8
30	468,7	726,3	762,4	760,8	595,5	291,8	247,0	345,0	230,3	135,5	69,9	43,4	46,5	59,9	93,4	113,8	214,1	136,0	92,3	36,5	51,6	89,1	340,5	802,6	281,4

Tabla 8.17: Concentración diaria MP10, octubre 2023 (SICEMA, 2023e).

Día	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Promedio día MP10
01	1132,0	1125,2	651,8	755,7	1480,6	405,6	1030,4	131,9	37,4	38,0	41,6	40,2	101,3	74,3	67,3	75,7	115,5	65,3	31,1	40,7	55,7	77,9	718,5	236,7	355,4
02	46,7	46,2	387,6	404,0	505,4	345,4	311,6	177,6	75,2	75,5	24,0	35,3	33,2	35,8	70,5	35,4	28,4	15,5	17,0	17,8	120,1	448,5	72,8	150,8	145,0
03	68,2	83,3	84,6	233,3	183,8	201,6	497,2	256,5	49,3	99,6	60,0	26,2	45,9	35,3	74,5	70,5	31,9	30,6	41,7	72,9	110,0	115,4	260,1	605,5	139,1
04	1254,2	778,3	753,5	679,6	168,8	31,9	55,7	29,8	83,4	21,3	53,2	85,4	90,1	53,1	42,4	19,7	11,3	30,7	38,7	36,6	59,1	18,5	139,9	181,6	196,5
05	216,6	133,8	756,8	1025,0	674,7	873,2	448,9	1201,7	309,8	89,3	81,4	52,8	136,8	122,3	75,1	72,9	67,6	121,7	95,1	28,3	90,0	293,9	487,1	312,6	323,6
06	134,3	452,6	461,9	683,3	690,1	507,3	229,0	451,7	126,6	94,0	32,4	40,4	37,1	50,2	51,6	32,9	33,9	31,0	12,4	40,3	54,0	74,2	75,5	170,6	190,3
07	117,9	381,5	394,1	678,7	621,6	433,6	730,2	1128,6	625,1	113,0	41,7	67,2	41,7	52,8	35,1	25,9	30,0	12,9	14,2	24,7	93,9	207,1	281,3	427,7	274,2
08	527,0	454,4	450,7	661,4	1052,9	716,5	407,2	235,0	60,6	12,4	20,2	51,6	31,2	32,5	51,6	48,7	54,6	56,3	41,7	15,9	15,9	46,1	46,3	402,3	228,9
09	1297,2	1093,6	1037,1	835,9	660,3	414,6	448,1	404,8	110,4	73,3	35,4	47,7	46,4	53,2	45,7	39,3	98,9	50,1	26,2	48,2	543,7	270,8	678,1	306,2	361,0
10	94,4	234,5	398,1	503,2	108,8	118,8	241,1	199,9	232,3	82,5	61,9	23,4	50,9	67,1	81,3	115,3	44,7	43,3	22,1	38,8	80,6	198,4	447,8	434,1	163,5
11	464,4	373,9	437,6	508,7	842,9	483,6	1355,2	752,6	354,3	172,8	56,2	59,3	108,8	51,1	64,1	58,9	66,9	47,4	42,7	30,7	69,9	108,9	207,0	797,4	313,1
12	678,8	737,1	828,3	848,4	1143,9	843,3	1542,9	1562,1	779,1	237,0	89,7	105,4	50,6	110,1	80,4	67,8	52,3	38,5	22,3	48,1	34,6	34,8	60,3	62,4	419,1
13	95,1	797,5	454,2	306,1	568,0	525,1	658,1	181,6	62,3	27,0	25,6	69,5	61,6	35,0	25,5	64,2	35,6	39,5	32,4	42,3	411,4	372,5	395,8	339,9	234,4
14	311,7	368,5	79,0	334,8	365,1	401,8	417,2	431,0	225,7	104,3	47,2	55,7	45,5	60,7	36,7	88,6	169,5	106,7	18,1	28,7	86,9	244,7	426,5	358,1	200,5
15	192,1	142,1	151,1	324,1	366,7	333,2	444,8	472,7	119,0	46,8	43,4	12,8	36,7	217,7	51,7	67,9	78,6	31,0	26,8	28,4	86,0	345,9	247,6	992,5	202,5
16	702,1	555,1	579,0	145,2	276,3	323,6	603,6	209,3	398,1	80,1	40,2	44,9	90,9	62,6	96,6	100,2	81,0	43,6	22,8	19,0	32,6	233,7	63,4	223,2	209,4
17	123,4	121,7	43,7	35,8	242,8	274,4	178,8	146,4	107,7	133,1	70,1	202,4	50,0	56,0	55,3	60,7	39,9	15,0	12,0	18,2	14,6	215,9	95,0	139,6	102,2
18	227,4	214,4	198,5	229,2	295,5	380,4	388,1	407,2	227,7	97,5	46,7	27,0	98,5	39,0	106,9	71,7	53,0	47,7	34,0	9,1	29,6	173,9	616,5	1651,1	236,3
19	1102,6	634,0	952,7	766,7	775,0	732,6	1683,2	1159,1	652,0	82,5	49,3	60,3	84,4	64,4	34,9	28,7	54,1	42,7	45,4	20,0	42,7	42,5	176,7	417,1	404,3
20	373,3	451,3	463,9	716,2	570,5	355,6	527,2	453,4	281,3	102,1	76,7	50,8	58,9	81,2	51,3	60,6	45,4	35,4	22,3	19,4	28,6	22,4	28,4	211,1	212,0
21	887,9	786,1	555,4	249,6	264,7	357,1	372,0	564,2	234,1	153,7	50,3	56,9	64,8	54,5	38,7	32,4	26,8	17,0	15,1	13,6	85,0	339,7	446,8	279,4	247,7
22	668,6	250,4	156,3	161,8	143,1	154,8	239,1	209,5	138,1	54,5	39,9	56,7	80,3	118,8	84,8	55,8	31,4	40,9	24,5	15,2	12,4	55,3	148,5	116,6	127,4
23	199,5	617,6	547,8	385,8	818,0	418,9	592,2	244,9	154,1	53,6	45,4	29,8	41,2	42,6	61,6	37,8	15,1	14,9	19,8	30,3	42,7	375,7	375,7	536,6	237,6
24	733,7	599,4	1131,6	1398,1	769,8	667,3	978,2	1060,0	473,9	17,5	5,4	18,5	15,4	31,4	36,8	19,7	86,1	15,7	6,2	1,2	5,8	2,1	61,9	96,5	343,0
25	119,1	388,4	488,7	697,0	747,3	982,2	455,2	294,9	282,4	54,4	26,3	11,1	12,2	10,8	37,9	19,2	6,9	8,9	7,0	23,4	50,8	76,7	266,8	184,2	218,8
26	253,4	91,5	52,2	51,7	37,4	47,0	30,7	19,5	66,0	14,0	12,8	11,4													57,3
27																									0,0
28																									0,0
29																									0,0
30																									0,0
31																									0,0

8.7. Anexos G: Tiempos de carguío camiones caex [min]

Tabla 8.18: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 09 de agosto 2023.

N° Caex	Tiempo de Carguío
1	0:02:08,87
2	0:02:24,33
3	0:02:05,04
4	0:02:08,82
5	0:02:21,03
6	0:02:21,23
7	0:01:59,16
8	0:01:55,75
9	0:02:46,03
10	0:02:20,39
11	0:02:36,93
12	0:02:26,79
13	0:02:29,21
14	0:03:14,28
15	0:02:19,62
16	0:02:03,86
17	0:02:46,70
18	0:02:11,47
19	0:02:52,61
20	0:02:34,01

Tabla 8.19: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 16 de agosto 2023.

N° Caex	Tiempo de Carguío
1	0:02:00,12
2	0:02:22,42
3	0:02:01,62
4	0:02:15,56
5	0:02:25,19
6	0:02:14,68
7	0:02:36,39
8	0:03:09,82
9	0:02:13,67
10	0:02:26,28
11	0:03:29,69
12	0:03:29,98
13	0:02:22,40
14	0:03:41,04
15	0:03:28,00
16	0:02:26,43
17	0:02:34,56
18	0:03:01,18
19	0:02:29,90
20	0:02:24,90

Tabla 8.20: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 22 de agosto 2023.

N° Caex	Tiempo de Carguío
1	0:02:39,77
2	0:03:31,94
3	0:03:18,86
4	0:03:18,95
5	0:02:08,99
6	0:03:21,88
7	0:04:25,91
8	0:03:00,50
9	0:02:47,77
10	0:03:00,32
11	0:04:56,74
12	0:03:22,81
13	0:03:46,67
14	0:03:18,01
15	0:04:37,48
16	0:03:37,04
17	0:02:30,51
18	0:03:31,05
19	0:05:46,23
20	0:04:56,84

Tabla 8.21: Tiempo de carguío 20 camiones caex, 7 de noviembre 2023.

N° Caex	Tiempo de Carguío
1	0:02:26,05
2	0:02:42,57
3	0:02:19,97
4	0:02:36,81
5	0:02:41,05
6	0:02:27,31
7	0:02:22,57
8	0:02:46,95
9	0:02:00,61
10	0:02:17,69
11	0:02:25,54
12	0:02:17,57
13	0:02:42,02
14	0:02:10,39
15	0:02:31,61
16	0:02:52,60
17	0:02:46,58
18	0:02:43,62
19	0:02:18,37
20	0:02:18,80

8.8. Anexos H: Mediciones de MP10 en frentes de carguío [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Tabla 8.22: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte I (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	8:15:11	4227,8	51	8:19:21	7613,9	101	8:23:31	1600,3
2	8:15:16	2890,5	52	8:19:26	6991,4	102	8:23:36	1602,4
3	8:15:21	2357,8	53	8:19:31	6582,2	103	8:23:41	1601,9
4	8:15:26	1968,7	54	8:19:36	7692,3	104	8:23:46	1605,6
5	8:15:31	1854,3	55	8:19:41	8666,6	105	8:23:51	1600,3
6	8:15:36	1748,4	56	8:19:46	8768,7	106	8:23:56	1599,9
7	8:15:41	1748,4	57	8:19:51	8749,0	107	8:24:01	1602,6
8	8:15:46	1749,8	58	8:19:56	8587,4	108	8:24:06	1622,1
9	8:15:51	1669,8	59	8:20:01	8758,7	109	8:24:11	1603,4
10	8:15:56	1670,2	60	8:20:06	8668,3	110	8:24:16	1601,9
11	8:16:01	1651,2	61	8:20:11	9189,6	111	8:24:21	2059,6
12	8:16:06	1620,7	62	8:20:16	9514,3	112	8:24:26	1831,6
13	8:16:11	1616,4	63	8:20:21	9585,6	113	8:24:31	1672,1
14	8:16:16	7493,6	64	8:20:26	1633,6	114	8:24:36	1672,6
15	8:16:21	8211,7	65	8:20:31	1609,9	115	8:24:41	1661,8
16	8:16:26	8211,7	66	8:20:36	1644,0	116	8:24:46	1661,3
17	8:16:31	13195,0	67	8:20:41	1638,3	117	8:24:51	1626,4
18	8:16:36	15256,2	68	8:20:46	1724,6	118	8:24:56	1700,5
19	8:16:41	14567,2	69	8:20:51	1713,0	119	8:25:01	1727,1
20	8:16:46	13257,2	70	8:20:56	1665,4	120	8:25:06	1705,3
21	8:16:51	10957,6	71	8:21:01	1636,4	121	8:25:11	1751,4
22	8:16:56	9477,1	72	8:21:06	1629,1	122	8:25:16	1732,8
23	8:17:01	9105,3	73	8:21:11	1618,9	123	8:25:21	1696,3
24	8:17:06	9171,0	74	8:21:16	1616,3	124	8:25:26	1749,2
25	8:17:11	9448,1	75	8:21:21	1608,9	125	8:25:31	1676,9
26	8:17:16	9415,8	76	8:21:26	1602,3	126	8:25:36	1875,4
27	8:17:21	9703,2	77	8:21:31	9392,9	127	8:25:41	1875,4
28	8:17:26	8851,9	78	8:21:36	9392,9	128	8:25:46	1743,0
29	8:17:31	8851,9	79	8:21:41	11251,9	129	8:25:51	1731,2
30	8:17:36	6632,3	80	8:21:46	10645,3	130	8:25:56	3371,6
31	8:17:41	6440,5	81	8:21:51	9696,4	131	8:26:01	3709,1
32	8:17:46	6972,8	82	8:21:56	10171,0	132	8:26:06	2433,5
33	8:17:51	6588,6	83	8:22:01	10413,1	133	8:26:11	2031,0
34	8:17:56	7947,0	84	8:22:06	10694,3	134	8:26:16	1844,3
35	8:18:01	7947,0	85	8:22:11	11737,7	135	8:26:21	1747,2
36	8:18:06	12218,5	86	8:22:16	12452,3	136	8:26:26	1736,5
37	8:18:11	13711,0	87	8:22:21	12216,2	137	8:26:31	1786,2
38	8:18:16	16097,6	88	8:22:26	11913,7	138	8:26:36	1816,4
39	8:18:21	20468,4	89	8:22:31	11976,7	139	8:26:41	1756,0
40	8:18:26	22655,8	90	8:22:36	11539,3	140	8:26:46	1713,4
41	8:18:31	21635,9	91	8:22:41	11362,4	141	8:26:51	1676,4
42	8:18:36	19328,2	92	8:22:46	11257,4	142	8:26:56	1641,6
43	8:18:41	19819,7	93	8:22:51	11547,7	143	8:27:01	1649,8
44	8:18:46	20813,4	94	8:22:56	12158,3	144	8:27:06	1631,4
45	8:18:51	19662,6	95	8:23:01	1617,1	145	8:27:11	1634,6
46	8:18:56	18181,9	96	8:23:06	1602,8	146	8:27:16	1633,9
47	8:19:01	17241,2	97	8:23:11	1605,3	147	8:27:21	1659,5
48	8:19:06	16266,2	98	8:23:16	1603,2	148	8:27:26	1657,0
49	8:19:11	11140,2	99	8:23:21	1601,4	149	8:27:31	1676,2
50	8:19:16	11140,2	100	8:23:26	1600,3	150	8:27:36	1679,0

Tabla 8.23: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte II (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
151	8:27:41	1651,5	201	8:31:51	1689,7	251	8:36:01	1652,1
152	8:27:46	1670,6	202	8:31:56	1735,3	252	8:36:06	1653,8
153	8:27:51	1670,6	203	8:32:01	1693,6	253	8:36:11	1637,8
154	8:27:56	1677,2	204	8:32:06	1655,8	254	8:36:16	1637,8
155	8:28:01	1728,3	205	8:32:11	1640,4	255	8:36:21	1623,4
156	8:28:06	1692,7	206	8:32:16	1630,6	256	8:36:26	1646,0
157	8:28:11	1673,4	207	8:32:21	1624,6	257	8:36:31	1867,7
158	8:28:16	1689,4	208	8:32:26	1610,3	258	8:36:36	1858,7
159	8:28:21	1651,8	209	8:32:31	1621,7	259	8:36:41	2041,9
160	8:28:26	1679,7	210	8:32:36	1628,0	260	8:36:46	1953,4
161	8:28:31	1694,8	211	8:32:41	1618,2	261	8:36:51	1878,9
162	8:28:36	1959,7	212	8:32:46	1647,1	262	8:36:56	1874,2
163	8:28:41	1857,2	213	8:32:51	1674,0	263	8:37:01	1857,2
164	8:28:46	1766,1	214	8:32:56	1657,3	264	8:37:06	1753,0
165	8:28:51	1760,1	215	8:33:01	1619,8	265	8:37:11	1709,3
166	8:28:56	1757,4	216	8:33:06	1619,8	266	8:37:16	1730,9
167	8:29:01	1751,4	217	8:33:11	1625,6	267	8:37:21	1789,4
168	8:29:06	1749,5	218	8:33:16	1629,2	268	8:37:26	1789,4
169	8:29:11	1789,2	219	8:33:21	1630,7	269	8:37:31	1789,3
170	8:29:16	1754,2	220	8:33:26	1645,6	270	8:37:36	3929,8
171	8:29:21	1693,9	221	8:33:31	1765,6	271	8:37:41	2676,1
172	8:29:26	1660,2	222	8:33:36	1654,0	272	8:37:46	2218,3
173	8:29:31	1647,9	223	8:33:41	1645,5	273	8:37:51	2054,8
174	8:29:36	1628,9	224	8:33:46	1628,1	274	8:37:56	1852,3
175	8:29:41	1628,5	225	8:33:51	1626,6	275	8:38:01	1807,8
176	8:29:46	1628,5	226	8:33:56	1661,4	276	8:38:06	1787,7
177	8:29:51	5052,2	227	8:34:01	1684,6	277	8:38:11	1776,7
178	8:29:56	4188,2	228	8:34:06	1756,4	278	8:38:16	1731,3
179	8:30:01	3133,8	229	8:34:11	1767,0	279	8:38:21	1730,9
180	8:30:06	2672,1	230	8:34:16	1739,9	280	8:38:26	1694,4
181	8:30:11	2343,2	231	8:34:21	1712,8	281	8:38:31	1687,2
182	8:30:16	2145,1	232	8:34:26	1752,9	282	8:38:36	1694,6
183	8:30:21	1913,2	233	8:34:31	1770,2	283	8:38:41	1711,8
184	8:30:26	1821,5	234	8:34:36	1763,9	284	8:38:46	1672,7
185	8:30:31	1759,3	235	8:34:41	1910,3	285	8:38:51	1673,7
186	8:30:36	1744,4	236	8:34:46	2143,7	286	8:38:56	1687,6
187	8:30:41	1722,2	237	8:34:51	1788,9	287	8:39:01	1635,3
188	8:30:46	1754,9	238	8:34:56	1721,1	288	8:39:06	1627,7
189	8:30:51	1765,6	239	8:35:01	1687,7	289	8:39:11	1624,4
190	8:30:56	1801,9	240	8:35:06	1679,3	290	8:39:16	1637,7
191	8:31:01	1758,9	241	8:35:11	1655,0	291	8:39:21	1613,2
192	8:31:06	1735,4	242	8:35:16	1655,0	292	8:39:26	1609,7
193	8:31:11	1735,4	243	8:35:21	1635,2	293	8:39:31	1623,3
194	8:31:16	1770,5	244	8:35:26	1634,2	294	8:39:36	1633,1
195	8:31:21	1846,7	245	8:35:31	1645,1	295	8:39:41	1633,1
196	8:31:26	1789,1	246	8:35:36	1666,3	296	8:39:46	1633,7
197	8:31:31	1688,2	247	8:35:41	1686,4	297	8:39:51	1689,0
198	8:31:36	1673,6	248	8:35:46	1665,0	298	8:39:56	1731,3
199	8:31:41	1686,2	249	8:35:51	1665,9	299	8:40:01	1723,7
200	8:31:46	1663,8	250	8:35:56	1651,3	300	8:40:06	1679,2

Tabla 8.24: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte III (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
301	8:40:11	1679,3	351	8:44:21	11008,7	401	8:48:31	11626,9
302	8:40:16	1665,3	352	8:44:26	11106,4	402	8:48:36	9860,8
303	8:40:21	1634,1	353	8:44:31	10353,3	403	8:48:41	9395,3
304	8:40:26	1619,8	354	8:44:36	9670,2	404	8:48:46	8642,7
305	8:40:31	1608,1	355	8:44:41	9366,6	405	8:48:51	7617,8
306	8:40:36	1611,1	356	8:44:46	9183,7	406	8:48:56	6981,1
307	8:40:41	1615,0	357	8:44:51	9440,3	407	8:49:01	6669,1
308	8:40:46	1613,3	358	8:44:56	12185,3	408	8:49:06	6192,7
309	8:40:51	1624,3	359	8:45:01	13937,8	409	8:49:11	9176,8
310	8:40:56	1620,7	360	8:45:06	14000,9	410	8:49:16	10026,6
311	8:41:01	1628,5	361	8:45:11	13603,0	411	8:49:21	11468,1
312	8:41:06	1665,3	362	8:45:16	13741,5	412	8:49:26	11995,9
313	8:41:11	1851,3	363	8:45:21	14389,6	413	8:49:31	12301,9
314	8:41:16	1961,3	364	8:45:26	13986,5	414	8:49:36	11985,1
315	8:41:21	1910,6	365	8:45:31	12900,3	415	8:49:41	12204,9
316	8:41:26	1760,7	366	8:45:36	10387,8	416	8:49:46	11479,7
317	8:41:31	1674,4	367	8:45:41	10037,9	417	8:49:51	11605,6
318	8:41:36	1644,8	368	8:45:46	9389,9	418	8:49:56	11605,6
319	8:41:41	1640,4	369	8:45:51	8738,2	419	8:50:01	1599,2
320	8:41:46	1620,2	370	8:45:56	9128,6	420	8:50:06	1598,7
321	8:41:51	1620,2	371	8:46:01	8997,9	421	8:50:11	1598,5
322	8:41:56	1686,1	372	8:46:06	9265,1	422	8:50:16	1601,5
323	8:42:01	1738,2	373	8:46:11	11658,6	423	8:50:21	1598,9
324	8:42:06	1690,5	374	8:46:16	12217,7	424	8:50:26	29177,4
325	8:42:11	1665,3	375	8:46:21	12438,8	425	8:50:31	26910,2
326	8:42:16	1632,3	376	8:46:26	11665,4	426	8:50:36	26224,4
327	8:42:21	1614,0	377	8:46:31	11014,1	427	8:50:41	28113,3
328	8:42:26	1609,4	378	8:46:36	10404,0	428	8:50:46	28753,1
329	8:42:31	1603,4	379	8:46:41	10010,3	429	8:50:51	28642,4
330	8:42:36	1608,5	380	8:46:46	5440,7	430	8:50:56	31994,4
331	8:42:41	1605,7	381	8:46:51	1651,0	431	8:51:01	37400,4
332	8:42:46	1618,4	382	8:46:56	1624,4	432	8:51:06	37400,4
333	8:42:51	1605,6	383	8:47:01	1676,9	433	8:51:11	42894,4
334	8:42:56	1601,7	384	8:47:06	1644,6	434	8:51:16	38244,3
335	8:43:01	1604,9	385	8:47:11	1644,5	435	8:51:21	36082,6
336	8:43:06	1610,6	386	8:47:16	1633,9	436	8:51:26	32506,5
337	8:43:11	1599,5	387	8:47:21	1611,1	437	8:51:31	29420,2
338	8:43:16	1600,9	388	8:47:26	1607,2	438	8:51:36	29049,3
339	8:43:21	1623,3	389	8:47:31	1620,2	439	8:51:41	29049,3
340	8:43:26	1658,2	390	8:47:36	1607,1	440	8:51:46	27970,5
341	8:43:31	1643,9	391	8:47:41	1603,7	441	8:51:51	27061,9
342	8:43:36	1732,3	392	8:47:46	1600,8	442	8:51:56	25905,8
343	8:43:41	1833,6	393	8:47:51	1598,4	443	8:52:01	24342,8
344	8:43:46	1772,3	394	8:47:56	1599,6	444	8:52:06	22215,9
345	8:43:51	1699,8	395	8:48:01	8775,9	445	8:52:11	19134,7
346	8:43:56	1651,0	396	8:48:06	9251,6	446	8:52:16	20476,4
347	8:44:01	9456,8	397	8:48:11	10445,7	447	8:52:21	20097,3
348	8:44:06	9249,1	398	8:48:16	10445,7	448	8:52:26	18781,3
349	8:44:11	9781,2	399	8:48:21	10665,7	449	8:52:31	16802,1
350	8:44:16	9781,2	400	8:48:26	11290,9	450	8:52:36	15844,1

Tabla 8.25: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte IV (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
451	8:52:41	15426,8	501	8:56:51	26910,2	551	9:01:01	34858,0
452	8:52:46	15288,7	502	8:56:56	26224,4	552	9:01:06	33385,6
453	8:52:51	15551,1	503	8:57:01	28113,3	553	9:01:11	32168,4
454	8:52:56	15868,2	504	8:57:06	28753,1	554	9:01:16	29714,4
455	8:53:01	14675,7	505	8:57:11	28642,4	555	9:01:21	30617,4
456	8:53:06	12962,2	506	8:57:16	31994,4	556	9:01:26	31075,5
457	8:53:11	12422,4	507	8:57:21	37400,4	557	9:01:31	28125,6
458	8:53:16	12513,5	508	8:57:26	37400,4	558	9:01:36	26215,3
459	8:53:21	11831,1	509	8:57:31	42894,4	559	9:01:41	24615,6
460	8:53:26	10661,3	510	8:57:36	38244,3	560	9:01:46	24615,6
461	8:53:31	1605,3	511	8:57:41	36082,6	561	9:01:51	23052,0
462	8:53:36	1616,7	512	8:57:46	32506,5	562	9:01:56	19644,3
463	8:53:41	1606,3	513	8:57:51	29420,2	563	9:02:01	16451,8
464	8:53:46	1599,2	514	8:57:56	29049,3	564	9:02:06	14462,3
465	8:53:51	1608,0	515	8:58:01	29049,3	565	9:02:11	12173,2
466	8:53:56	1608,0	516	8:58:06	27970,5	566	9:02:16	13187,6
467	8:54:01	1600,4	517	8:58:11	27061,9	567	9:02:21	13850,7
468	8:54:06	1603,0	518	8:58:16	25905,8	568	9:02:26	12872,1
469	8:54:11	1606,8	519	8:58:21	24342,8	569	9:02:31	12168,5
470	8:54:16	1609,3	520	8:58:26	22215,9	570	9:02:36	12454,8
471	8:54:21	1601,6	521	8:58:31	19134,7	571	9:02:41	13151,2
472	8:54:26	1600,7	522	8:58:36	20476,4	572	9:02:46	13106,8
473	8:54:31	1598,7	523	8:58:41	20097,3	573	9:02:51	12671,4
474	8:54:36	1608,7	524	8:58:46	18781,3	574	9:02:56	26093,0
475	8:54:41	1600,9	525	8:58:51	1603,8	575	9:03:01	1635,0
476	8:54:46	1598,7	526	8:58:56	1599,6	576	9:03:06	1641,8
477	8:54:51	1597,9	527	8:59:01	1607,0	577	9:03:11	1747,5
478	8:54:56	1599,2	528	8:59:06	1602,0	578	9:03:16	1859,7
479	8:55:01	1599,7	529	8:59:11	1602,6	579	9:03:21	1886,3
480	8:55:06	1601,4	530	8:59:16	1599,8	580	9:03:26	1914,9
481	8:55:11	1612,2	531	8:59:21	1608,3	581	9:03:31	1923,1
482	8:55:16	1599,0	532	8:59:26	1601,8	582	9:03:36	2051,3
483	8:55:21	1602,1	533	8:59:31	1601,8	583	9:03:41	3203,9
484	8:55:26	10632,1	534	8:59:36	1606,5	584	9:03:46	3181,8
485	8:55:31	10851,9	535	8:59:41	1610,2	585	9:03:51	2622,7
486	8:55:36	10126,7	536	8:59:46	1616,8	586	9:03:56	2036,1
487	8:55:41	10252,6	537	8:59:51	26116,9	587	9:04:01	1814,1
488	8:55:46	10252,6	538	8:59:56	35322,7	588	9:04:06	1790,6
489	8:55:51	10537,2	539	9:00:01	35322,7	589	9:04:11	1729,2
490	8:55:56	10182,9	540	9:00:06	38219,9	590	9:04:16	1654,7
491	8:56:01	10455,0	541	9:00:11	30594,9	591	9:04:21	1657,3
492	8:56:06	11890,6	542	9:00:16	30606,4	592	9:04:26	1636,1
493	8:56:11	14385,9	543	9:00:21	30577,7	593	9:04:31	1616,3
494	8:56:16	19032,0	544	9:00:26	29011,3	594	9:04:36	1625,4
495	8:56:21	21449,5	545	9:00:31	35841,7	595	9:04:41	1611,4
496	8:56:26	25991,2	546	9:00:36	36440,6	596	9:04:46	1606,3
497	8:56:31	28257,1	547	9:00:41	37185,8	597	9:04:51	1606,2
498	8:56:36	27531,2	548	9:00:46	39996,1	598	9:04:56	1606,9
499	8:56:41	28995,0	549	9:00:51	38797,9	599	9:05:01	1604,3
500	8:56:46	29177,4	550	9:00:56	36768,6	600	9:05:06	1950,1

Tabla 8.26: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte V (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
601	9:05:11	2003,0	651	9:09:21	1603,9	701	9:13:31	2605,9
602	9:05:16	1762,5	652	9:09:26	1624,6	702	9:13:36	5561,6
603	9:05:21	1662,5	653	9:09:31	1620,7	703	9:13:41	3707,6
604	9:05:26	1642,6	654	9:09:36	1619,8	704	9:13:46	6827,2
605	9:05:31	1626,9	655	9:09:41	1627,4	705	9:13:51	6827,2
606	9:05:36	1620,3	656	9:09:46	1664,7	706	9:13:56	7405,8
607	9:05:41	1620,4	657	9:09:51	1733,0	707	9:14:01	8476,9
608	9:05:46	1614,7	658	9:09:56	1823,2	708	9:14:06	9633,1
609	9:05:51	1610,0	659	9:10:01	1900,7	709	9:14:11	9658,6
610	9:05:56	1637,6	660	9:10:06	2057,6	710	9:14:16	10406,5
611	9:06:01	1633,6	661	9:10:11	2151,6	711	9:14:21	10175,7
612	9:06:06	1959,2	662	9:10:16	2165,3	712	9:14:26	10535,6
613	9:06:11	3554,9	663	9:10:21	2042,3	713	9:14:31	10116,2
614	9:06:16	2276,0	664	9:10:26	2035,8	714	9:14:36	9792,7
615	9:06:21	1960,7	665	9:10:31	2002,6	715	9:14:41	10077,8
616	9:06:26	1821,1	666	9:10:36	1936,8	716	9:14:46	9812,7
617	9:06:31	1742,4	667	9:10:41	1790,2	717	9:14:51	9197,3
618	9:06:36	1702,4	668	9:10:46	1733,5	718	9:14:56	8884,8
619	9:06:41	1673,0	669	9:10:51	1728,4	719	9:15:01	8884,8
620	9:06:46	1665,0	670	9:10:56	1683,9	720	9:15:06	8808,6
621	9:06:51	1760,1	671	9:11:01	1653,1	721	9:15:11	8363,2
622	9:06:56	1752,8	672	9:11:06	1635,5	722	9:15:16	7893,8
623	9:07:01	1752,8	673	9:11:11	1643,4	723	9:15:21	7445,1
624	9:07:06	1664,7	674	9:11:16	1647,2	724	9:15:26	9164,7
625	9:07:11	1674,5	675	9:11:21	1647,2	725	9:15:31	16412,1
626	9:07:16	1650,7	676	9:11:26	1621,5	726	9:15:36	23348,0
627	9:07:21	1638,6	677	9:11:31	1629,1	727	9:15:41	17407,4
628	9:07:26	1639,2	678	9:11:36	1615,1	728	9:15:46	11484,4
629	9:07:31	1620,3	679	9:11:41	1625,2	729	9:15:51	11589,5
630	9:07:36	1614,6	680	9:11:46	1614,6	730	9:15:56	11348,8
631	9:07:41	1626,9	681	9:11:51	1614,1	731	9:16:01	12953,9
632	9:07:46	1621,4	682	9:11:56	1643,9	732	9:16:06	13030,8
633	9:07:51	1635,5	683	9:12:01	1665,5	733	9:16:11	12958,8
634	9:07:56	1668,1	684	9:12:06	1748,9	734	9:16:16	12330,3
635	9:08:01	1663,2	685	9:12:11	1744,5	735	9:16:21	11379,4
636	9:08:06	1645,5	686	9:12:16	1697,5	736	9:16:26	10268,2
637	9:08:11	1640,3	687	9:12:21	1715,3	737	9:16:31	9192,4
638	9:08:16	1631,6	688	9:12:26	1697,7	738	9:16:36	8954,4
639	9:08:21	1613,0	689	9:12:31	1658,2	739	9:16:41	8726,3
640	9:08:26	1620,4	690	9:12:36	1637,3	740	9:16:46	8143,0
641	9:08:31	1617,0	691	9:12:41	1650,9	741	9:16:51	7995,5
642	9:08:36	1616,3	692	9:12:46	1654,0	742	9:16:56	7624,0
643	9:08:41	1626,1	693	9:12:51	1652,7	743	9:17:01	7181,3
644	9:08:46	1622,0	694	9:12:56	1735,5	744	9:17:06	6943,9
645	9:08:51	1617,6	695	9:13:01	1764,2	745	9:17:11	6943,9
646	9:08:56	1607,3	696	9:13:06	1851,2	746	9:17:16	7028,0
647	9:09:01	1605,2	697	9:13:11	1850,3	747	9:17:21	6921,0
648	9:09:06	1604,1	698	9:13:16	1861,2	748	9:17:26	6857,9
649	9:09:11	1604,1	699	9:13:21	2605,9	749	9:17:31	6581,8
650	9:09:16	1605,9	700	9:13:26	2605,9	750	9:17:36	6598,2

Tabla 8.27: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte VI (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
751	9:17:41	6508,8	801	9:21:51	21279,9	851	9:26:01	26784,0
752	9:17:46	6419,4	802	9:21:56	21866,3	852	9:26:06	29553,4
753	9:17:51	2687,4	803	9:22:01	21741,2	853	9:26:11	22627,3
754	9:17:56	2226,5	804	9:22:06	20949,0	854	9:26:16	16766,0
755	9:18:01	1966,7	805	9:22:11	20793,9	855	9:26:21	15220,9
756	9:18:06	1928,3	806	9:22:16	20479,1	856	9:26:26	12913,4
757	9:18:11	2079,0	807	9:22:21	20479,1	857	9:26:31	1645,4
758	9:18:16	1876,0	808	9:22:26	20403,4	858	9:26:36	1691,0
759	9:18:21	1985,9	809	9:22:31	20663,4	859	9:26:41	1652,1
760	9:18:26	1923,9	810	9:22:36	20737,8	860	9:26:46	1661,9
761	9:18:31	1768,4	811	9:22:41	22119,9	861	9:26:51	1651,8
762	9:18:36	1685,2	812	9:22:46	21576,2	862	9:26:56	1683,9
763	9:18:41	1704,8	813	9:22:51	21435,9	863	9:27:01	1663,1
764	9:18:46	1695,9	814	9:22:56	21817,3	864	9:27:06	1733,3
765	9:18:51	1669,0	815	9:23:01	19250,8	865	9:27:11	1787,7
766	9:18:56	1668,9	816	9:23:06	1819,9	866	9:27:16	1690,9
767	9:19:01	1696,6	817	9:23:11	1768,3	867	9:27:21	1672,6
768	9:19:06	1670,0	818	9:23:16	1709,3	868	9:27:26	1631,7
769	9:19:11	1678,1	819	9:23:21	1676,3	869	9:27:31	1631,7
770	9:19:16	1678,3	820	9:23:26	2492,2	870	9:27:36	1662,1
771	9:19:21	1679,2	821	9:23:31	2103,4	871	9:27:41	1688,1
772	9:19:26	1691,3	822	9:23:36	2004,6	872	9:27:46	1677,5
773	9:19:31	1667,3	823	9:23:41	1870,0	873	9:27:51	1652,0
774	9:19:36	1660,8	824	9:23:46	1795,6	874	9:27:56	1649,3
775	9:19:41	1634,2	825	9:23:51	1703,4	875	9:28:01	1652,0
776	9:19:46	1619,8	826	9:23:56	1657,9	876	9:28:06	1663,4
777	9:19:51	1636,4	827	9:24:01	1671,2	877	9:28:11	1659,2
778	9:19:56	1623,6	828	9:24:06	1694,4	878	9:28:16	1638,3
779	9:20:01	1629,2	829	9:24:11	1671,1	879	9:28:21	1629,2
780	9:20:06	1625,1	830	9:24:16	12225,0	880	9:28:26	1639,5
781	9:20:11	1613,6	831	9:24:21	12175,7	881	9:28:31	1625,9
782	9:20:16	1613,5	832	9:24:26	11063,9	882	9:28:36	1612,2
783	9:20:21	1606,1	833	9:24:31	10098,8	883	9:28:41	1619,4
784	9:20:26	1631,5	834	9:24:36	9416,8	884	9:28:46	1641,3
785	9:20:31	1651,8	835	9:24:41	8816,8	885	9:28:51	1720,8
786	9:20:36	1853,7	836	9:24:46	8658,3	886	9:28:56	1725,2
787	9:20:41	1729,4	837	9:24:51	8658,3	887	9:29:01	1807,3
788	9:20:46	1819,9	838	9:24:56	20411,3	888	9:29:06	1757,1
789	9:20:51	20220,4	839	9:25:01	30014,3	889	9:29:11	1761,7
790	9:20:56	20584,6	840	9:25:06	30920,4	890	9:29:16	1777,0
791	9:21:01	20449,7	841	9:25:11	31518,7	891	9:29:21	1698,5
792	9:21:06	19145,6	842	9:25:16	31741,1	892	9:29:26	1654,2
793	9:21:11	19969,1	843	9:25:21	31878,0	893	9:29:31	1635,8
794	9:21:16	20849,3	844	9:25:26	31151,6	894	9:29:36	1633,5
795	9:21:21	22675,6	845	9:25:31	32078,0	895	9:29:41	1633,5
796	9:21:26	23357,7	846	9:25:36	32435,8	896	9:29:46	1668,6
797	9:21:31	23092,4	847	9:25:41	31275,9	897	9:29:51	1650,9
798	9:21:36	22003,2	848	9:25:46	30933,5	898	9:29:56	1633,6
799	9:21:41	20405,6	849	9:25:51	25119,8	899	9:30:01	1617,0
800	9:21:46	20775,3	850	9:25:56	25119,8	900	9:30:06	1607,2

Tabla 8.28: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte VII (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
901	9:30:11	1629,8	951	9:34:21	1698,4	1001	9:38:31	2435,9
902	9:30:16	1622,0	952	9:34:26	1668,4	1002	9:38:36	2617,6
903	9:30:21	1602,6	953	9:34:31	1648,0	1003	9:38:41	2899,4
904	9:30:26	1602,6	954	9:34:36	1641,6	1004	9:38:46	2976,5
905	9:30:31	1610,6	955	9:34:41	1630,2	1005	9:38:51	2670,6
906	9:30:36	1617,5	956	9:34:46	1623,7	1006	9:38:56	2388,3
907	9:30:41	1622,7	957	9:34:51	1630,8	1007	9:39:01	2508,6
908	9:30:46	1613,6	958	9:34:56	1625,7	1008	9:39:06	2430,5
909	9:30:51	1605,2	959	9:35:01	1621,6	1009	9:39:11	2418,7
910	9:30:56	1618,2	960	9:35:06	1644,7	1010	9:39:16	2263,5
911	9:31:01	1614,6	961	9:35:11	1634,0	1011	9:39:21	4740,3
912	9:31:06	1618,5	962	9:35:16	1638,9	1012	9:39:26	16230,0
913	9:31:11	1603,5	963	9:35:21	1637,9	1013	9:39:31	21275,5
914	9:31:16	1621,6	964	9:35:26	1636,3	1014	9:39:36	21275,5
915	9:31:21	1615,9	965	9:35:31	1635,9	1015	9:39:41	23788,5
916	9:31:26	1647,5	966	9:35:36	1637,4	1016	9:39:46	27587,3
917	9:31:31	1631,3	967	9:35:41	1639,8	1017	9:39:51	26560,5
918	9:31:36	1624,8	968	9:35:46	1672,0	1018	9:39:56	26340,4
919	9:31:41	1615,3	969	9:35:51	1669,8	1019	9:40:01	25130,9
920	9:31:46	1643,4	970	9:35:56	1635,4	1020	9:40:06	18258,7
921	9:31:51	1616,9	971	9:36:01	1639,7	1021	9:40:11	15682,1
922	9:31:56	1616,9	972	9:36:06	1670,4	1022	9:40:16	13827,3
923	9:32:01	1620,7	973	9:36:11	1632,1	1023	9:40:21	12553,1
924	9:32:06	1637,5	974	9:36:16	1632,1	1024	9:40:26	11968,0
925	9:32:11	1614,8	975	9:36:21	1638,8	1025	9:40:31	2152,9
926	9:32:16	1616,2	976	9:36:26	1619,0	1026	9:40:36	1886,2
927	9:32:21	1618,0	977	9:36:31	1631,3	1027	9:40:41	1797,0
928	9:32:26	1616,8	978	9:36:36	1625,8	1028	9:40:46	1766,6
929	9:32:31	1611,0	979	9:36:41	1620,6	1029	9:40:51	1763,7
930	9:32:36	1609,6	980	9:36:46	1616,7	1030	9:40:56	1703,5
931	9:32:41	1636,1	981	9:36:51	1620,3	1031	9:41:01	1696,1
932	9:32:46	1638,0	982	9:36:56	1620,2	1032	9:41:06	1666,6
933	9:32:51	1620,3	983	9:37:01	1618,7	1033	9:41:11	1639,7
934	9:32:56	1645,0	984	9:37:06	1614,4	1034	9:41:16	1630,2
935	9:33:01	1652,6	985	9:37:11	1637,0	1035	9:41:21	1617,9
936	9:33:06	1649,9	986	9:37:16	2289,1	1036	9:41:26	27076,6
937	9:33:11	1653,2	987	9:37:21	3383,8	1037	9:41:31	27076,6
938	9:33:16	1660,1	988	9:37:26	3659,9	1038	9:41:36	64709,3
939	9:33:21	1704,1	989	9:37:31	3048,7	1039	9:41:41	69400,6
940	9:33:26	1795,6	990	9:37:36	2244,9	1040	9:41:46	64836,1
941	9:33:31	1772,1	991	9:37:41	2015,6	1041	9:41:51	44155,8
942	9:33:36	1755,4	992	9:37:46	1915,5	1042	9:41:56	40062,0
943	9:33:41	1783,6	993	9:37:51	1919,0	1043	9:42:01	44976,3
944	9:33:46	1764,5	994	9:37:56	2164,2	1044	9:42:06	40236,9
945	9:33:51	1776,9	995	9:38:01	1976,9	1045	9:42:11	37534,4
946	9:33:56	1776,3	996	9:38:06	1958,3	1046	9:42:16	37534,4
947	9:34:01	1730,7	997	9:38:11	2130,5	1047	9:42:21	20351,5
948	9:34:06	1730,7	998	9:38:16	2174,8	1048	9:42:26	14330,1
949	9:34:11	1717,3	999	9:38:21	2353,7	1049	9:42:31	10168,8
950	9:34:16	1757,0	1000	9:38:26	2353,7	1050	9:42:36	10168,8

Tabla 8.29: MP10 condición ambiente (verde) y sin aplicación de producto (azul), Parte VIII (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1051	9:42:41	5313,7	1101	9:46:51	1637,0	1151	9:51:01	1605,3
1052	9:42:46	4604,8	1102	9:46:56	1613,9	1152	9:51:06	1602,2
1053	9:42:51	4090,0	1103	9:47:01	1626,2	1153	9:51:11	1599,4
1054	9:42:56	3324,9	1104	9:47:06	1618,0	1154	9:51:16	1601,7
1055	9:43:01	2923,7	1105	9:47:11	1606,9	1155	9:51:21	1603,0
1056	9:43:06	2935,5	1106	9:47:16	1613,9	1156	9:51:26	1604,3
1057	9:43:11	2894,3	1107	9:47:21	1607,2	1157	9:51:31	1597,7
1058	9:43:16	2946,8	1108	9:47:26	1615,9	1158	9:51:36	1604,4
1059	9:43:21	1633,8	1109	9:47:31	1609,9	1159	9:51:41	1603,4
1060	9:43:26	1609,6	1110	9:47:36	1607,1	1160	9:51:46	1607,9
1061	9:43:31	1615,9	1111	9:47:41	1609,1	1161	9:51:51	1607,3
1062	9:43:36	1644,8	1112	9:47:46	1620,9	1162	9:51:56	1603,7
1063	9:43:41	1644,8	1113	9:47:51	1612,6	1163	9:52:01	1603,9
1064	9:43:46	1611,1	1114	9:47:56	1612,9	1164	9:52:06	1607,4
1065	9:43:51	1608,8	1115	9:48:01	1612,9	1165	9:52:11	1607,8
1066	9:43:56	1611,7	1116	9:48:06	1617,1	1166	9:52:16	1606,9
1067	9:44:01	1610,9	1117	9:48:11	1616,1	1167	9:52:21	1606,9
1068	9:44:06	1621,2	1118	9:48:16	1610,1	1168	9:52:26	1606,8
1069	9:44:11	1618,8	1119	9:48:21	1601,7	1169	9:52:31	1622,6
1070	9:44:16	1635,1	1120	9:48:26	1610,1	1170	9:52:36	1668,1
1071	9:44:21	1613,8	1121	9:48:31	1599,7	1171	9:52:41	1668,5
1072	9:44:26	1622,6	1122	9:48:36	1605,7	1172	9:52:46	1661,9
1073	9:44:31	1613,7	1123	9:48:41	1610,6	1173	9:52:51	1624,8
1074	9:44:36	1607,2	1124	9:48:46	1609,3	1174	9:52:56	1636,4
1075	9:44:41	1611,4	1125	9:48:51	1611,0	1175	9:53:01	1622,0
1076	9:44:46	1619,6	1126	9:48:56	1601,4	1176	9:53:06	1620,9
1077	9:44:51	1618,3	1127	9:49:01	1613,3	1177	9:53:11	1668,1
1078	9:44:56	1617,9	1128	9:49:06	1607,4	1178	9:53:16	1652,5
1079	9:45:01	1625,8	1129	9:49:11	1610,5	1179	9:53:21	1665,8
1080	9:45:06	1619,3	1130	9:49:16	1604,5	1180	9:53:26	1640,6
1081	9:45:11	1617,7	1131	9:49:21	1601,5	1181	9:53:31	1627,2
1082	9:45:16	1623,2	1132	9:49:26	1600,2	1182	9:53:36	1674,8
1083	9:45:21	1622,4	1133	9:49:31	1604,2	1183	9:53:41	1765,1
1084	9:45:26	1614,9	1134	9:49:36	1602,8	1184	9:53:46	1845,3
1085	9:45:31	1607,2	1135	9:49:41	1603,8	1185	9:53:51	1936,7
1086	9:45:36	1605,5	1136	9:49:46	1610,0	1186	9:53:56	2231,0
1087	9:45:41	1605,1	1137	9:49:51	1604,7	1187	9:54:01	1977,8
1088	9:45:46	1602,2	1138	9:49:56	1607,0	1188	9:54:06	2031,2
1089	9:45:51	1602,2	1139	9:50:01	1609,3	1189	9:54:11	1925,4
1090	9:45:56	1602,4	1140	9:50:06	1608,7	1190	9:54:16	1839,5
1091	9:46:01	1604,0	1141	9:50:11	1608,7	1191	9:54:21	1789,7
1092	9:46:06	1606,6	1142	9:50:16	1600,9	1192	9:54:26	1680,5
1093	9:46:11	1604,8	1143	9:50:21	1601,8	1193	9:54:31	1680,5
1094	9:46:16	1603,0	1144	9:50:26	1600,5	1194	9:54:36	1671,0
1095	9:46:21	1613,7	1145	9:50:31	1597,7	1195	9:54:41	1696,5
1096	9:46:26	1604,8	1146	9:50:36	1605,5	1196	9:54:46	4624,7
1097	9:46:31	1618,6	1147	9:50:41	1609,1	1197	9:54:51	28256,1
1098	9:46:36	1631,0	1148	9:50:46	1606,7	1198	9:54:56	25305,1
1099	9:46:41	1627,1	1149	9:50:51	1611,8	1199	9:55:01	13766,5
1100	9:46:46	1620,3	1150	9:50:56	1600,2	1200	9:55:06	10107,7

Tabla 8.30: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte I (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1201	9:55:11	8828,9	1251	9:59:21	1946,0	1301	10:03:31	1648,3
1202	9:55:16	8942,9	1252	9:59:26	1944,7	1302	10:03:36	1629,1
1203	9:55:21	8657,7	1253	9:59:31	1946,2	1303	10:03:41	1629,1
1204	9:55:26	8657,7	1254	9:59:36	1946,0	1304	10:03:46	1624,1
1205	9:55:31	5097,8	1255	9:59:41	1943,6	1305	10:03:51	1611,0
1206	9:55:36	4279,0	1256	9:59:46	1944,4	1306	10:03:56	1610,8
1207	9:55:41	1637,3	1257	9:59:51	1944,7	1307	10:04:01	2443,7
1208	9:55:46	1647,0	1258	9:59:56	1942,3	1308	10:04:06	2323,1
1209	9:55:51	1674,1	1259	10:00:01	1944,3	1309	10:04:11	2281,3
1210	9:55:56	1703,3	1260	10:00:06	1944,0	1310	10:04:16	2184,5
1211	9:56:01	1685,9	1261	10:00:11	1945,4	1311	10:04:21	2144,5
1212	9:56:06	1696,2	1262	10:00:16	1944,2	1312	10:04:26	2080,6
1213	9:56:11	1638,2	1263	10:00:21	1945,5	1313	10:04:31	2209,7
1214	9:56:16	1680,7	1264	10:00:26	1944,3	1314	10:04:36	2224,0
1215	9:56:21	1685,9	1265	10:00:31	1944,3	1315	10:04:41	2106,2
1216	9:56:26	1709,1	1266	10:00:36	1600,2	1316	10:04:46	2124,3
1217	9:56:31	1665,0	1267	10:00:41	1600,9	1317	10:04:51	2131,9
1218	9:56:36	1641,9	1268	10:00:46	1600,2	1318	10:04:56	2106,5
1219	9:56:41	1625,0	1269	10:00:51	1601,6	1319	10:05:01	2181,3
1220	9:56:46	1623,0	1270	10:00:56	1603,6	1320	10:05:06	2155,5
1221	9:56:51	1620,0	1271	10:01:01	1597,6	1321	10:05:11	2187,3
1222	9:56:56	1604,4	1272	10:01:06	1596,7	1322	10:05:16	2264,2
1223	9:57:01	1617,5	1273	10:01:11	1597,3	1323	10:05:21	2264,2
1224	9:57:06	1616,6	1274	10:01:16	1595,9	1324	10:05:26	2256,0
1225	9:57:11	1611,6	1275	10:01:21	1598,2	1325	10:05:31	2322,7
1226	9:57:16	1621,2	1276	10:01:26	1600,3	1326	10:05:36	2307,9
1227	9:57:21	1623,7	1277	10:01:31	1600,3	1327	10:05:41	1610,9
1228	9:57:26	1619,3	1278	10:01:36	1602,7	1328	10:05:46	1610,2
1229	9:57:31	1619,3	1279	10:01:41	1598,9	1329	10:05:51	1613,9
1230	9:57:36	1616,3	1280	10:01:46	1598,8	1330	10:05:56	1599,9
1231	9:57:41	1623,3	1281	10:01:51	1600,8	1331	10:06:01	1600,5
1232	9:57:46	1610,6	1282	10:01:56	1599,6	1332	10:06:06	1602,2
1233	9:57:51	1621,4	1283	10:02:01	1599,5	1333	10:06:11	1598,5
1234	9:57:56	1611,7	1284	10:02:06	1601,9	1334	10:06:16	1597,9
1235	9:58:01	1612,2	1285	10:02:11	1599,3	1335	10:06:21	1598,2
1236	9:58:06	1601,3	1286	10:02:16	1600,8	1336	10:06:26	1598,5
1237	9:58:11	1604,7	1287	10:02:21	1599,7	1337	10:06:31	1601,1
1238	9:58:16	1603,0	1288	10:02:26	1601,8	1338	10:06:36	1954,7
1239	9:58:21	1602,3	1289	10:02:31	1610,0	1339	10:06:41	1962,0
1240	9:58:26	1600,9	1290	10:02:36	1623,2	1340	10:06:46	1984,0
1241	9:58:31	1606,3	1291	10:02:41	1605,1	1341	10:06:51	1972,7
1242	9:58:36	1602,8	1292	10:02:46	1612,5	1342	10:06:56	1940,4
1243	9:58:41	1600,6	1293	10:02:51	1612,3	1343	10:07:01	1928,1
1244	9:58:46	1945,8	1294	10:02:56	1708,2	1344	10:07:06	1938,3
1245	9:58:51	1944,6	1295	10:03:01	1753,8	1345	10:07:11	1959,8
1246	9:58:56	1945,8	1296	10:03:06	1804,9	1346	10:07:16	1930,8
1247	9:59:01	1945,4	1297	10:03:11	1781,0	1347	10:07:21	1952,3
1248	9:59:06	1943,8	1298	10:03:16	1714,1	1348	10:07:26	1976,4
1249	9:59:11	1943,8	1299	10:03:21	1687,4	1349	10:07:31	1970,6
1250	9:59:16	1944,3	1300	10:03:26	1658,5	1350	10:07:36	2001,6

Tabla 8.31: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte II (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1351	10:07:41	1986,9	1401	10:11:51	1607,8	1451	10:16:01	1951,0
1352	10:07:46	2005,3	1402	10:11:56	1610,4	1452	10:16:06	2004,2
1353	10:07:51	1982,4	1403	10:12:01	1607,4	1453	10:16:11	1839,7
1354	10:07:56	1982,4	1404	10:12:06	1616,7	1454	10:16:16	1726,4
1355	10:08:01	1991,9	1405	10:12:11	1605,7	1455	10:16:21	1693,5
1356	10:08:06	1963,3	1406	10:12:16	1606,3	1456	10:16:26	1675,9
1357	10:08:11	1947,5	1407	10:12:21	1609,3	1457	10:16:31	1632,4
1358	10:08:16	1968,7	1408	10:12:26	1603,4	1458	10:16:36	1636,8
1359	10:08:21	1951,0	1409	10:12:31	1615,1	1459	10:16:41	1618,2
1360	10:08:26	1947,4	1410	10:12:36	1609,7	1460	10:16:46	1611,3
1361	10:08:31	1607,3	1411	10:12:41	1620,3	1461	10:16:51	1961,3
1362	10:08:36	1599,0	1412	10:12:46	1620,6	1462	10:16:56	1916,6
1363	10:08:41	1599,7	1413	10:12:51	1616,0	1463	10:17:01	1936,9
1364	10:08:46	1599,3	1414	10:12:56	1611,8	1464	10:17:06	1927,5
1365	10:08:51	1599,4	1415	10:13:01	1607,6	1465	10:17:11	1953,2
1366	10:08:56	1600,7	1416	10:13:06	1629,9	1466	10:17:16	1901,5
1367	10:09:01	1605,0	1417	10:13:11	1629,0	1467	10:17:21	1895,5
1368	10:09:06	1603,5	1418	10:13:16	1629,0	1468	10:17:26	1896,1
1369	10:09:11	1606,0	1419	10:13:21	1635,4	1469	10:17:31	1897,4
1370	10:09:16	1602,8	1420	10:13:26	1683,7	1470	10:17:36	1907,1
1371	10:09:21	1606,9	1421	10:13:31	1644,9	1471	10:17:41	1922,3
1372	10:09:26	1606,1	1422	10:13:36	1733,7	1472	10:17:46	1933,8
1373	10:09:31	1606,1	1423	10:13:41	1854,7	1473	10:17:51	1927,1
1374	10:09:36	1607,3	1424	10:13:46	1930,8	1474	10:17:56	1955,9
1375	10:09:41	1612,3	1425	10:13:51	2047,8	1475	10:18:01	1937,1
1376	10:09:46	1608,4	1426	10:13:56	2190,9	1476	10:18:06	1933,5
1377	10:09:51	1611,5	1427	10:14:01	2372,3	1477	10:18:11	1978,4
1378	10:09:56	2052,3	1428	10:14:06	2237,7	1478	10:18:16	2031,7
1379	10:10:01	2039,2	1429	10:14:11	2277,3	1479	10:18:21	1982,5
1380	10:10:06	2082,6	1430	10:14:16	2255,5	1480	10:18:26	1982,5
1381	10:10:11	2218,2	1431	10:14:21	2371,0	1481	10:18:31	2017,6
1382	10:10:16	2309,8	1432	10:14:26	2423,2	1482	10:18:36	2041,9
1383	10:10:21	2397,3	1433	10:14:31	2326,1	1483	10:18:41	2061,7
1384	10:10:26	2481,6	1434	10:14:36	2412,6	1484	10:18:46	2122,4
1385	10:10:31	2481,6	1435	10:14:41	2270,4	1485	10:18:51	1608,6
1386	10:10:36	2614,1	1436	10:14:46	2182,6	1486	10:18:56	1615,4
1387	10:10:41	2698,1	1437	10:14:51	2176,9	1487	10:19:01	1604,3
1388	10:10:46	2854,3	1438	10:14:56	2292,1	1488	10:19:06	1607,7
1389	10:10:51	2791,7	1439	10:15:01	2223,1	1489	10:19:11	1619,8
1390	10:10:56	2579,3	1440	10:15:06	2103,8	1490	10:19:16	1614,2
1391	10:11:01	2563,7	1441	10:15:11	2103,8	1491	10:19:21	1613,6
1392	10:11:06	2402,0	1442	10:15:16	2055,7	1492	10:19:26	1613,6
1393	10:11:11	2429,0	1443	10:15:21	2072,6	1493	10:19:31	1609,7
1394	10:11:16	2439,2	1444	10:15:26	2054,5	1494	10:19:36	1629,1
1395	10:11:21	2419,4	1445	10:15:31	2078,6	1495	10:19:41	1617,6
1396	10:11:26	2393,0	1446	10:15:36	2020,0	1496	10:19:46	1613,4
1397	10:11:31	1617,5	1447	10:15:41	2036,1	1497	10:19:51	1606,7
1398	10:11:36	1613,3	1448	10:15:46	2011,2	1498	10:19:56	1610,9
1399	10:11:41	1618,0	1449	10:15:51	1984,3	1499	10:20:01	1603,2
1400	10:11:46	1604,2	1450	10:15:56	1967,6	1500	10:20:06	1610,5

Tabla 8.32: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte III (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1501	10:20:11	1607,9	1551	10:24:21	1603,0	1601	10:28:31	1615,9
1502	10:20:16	1631,0	1552	10:24:26	1602,5	1602	10:28:36	1606,9
1503	10:20:21	1669,5	1553	10:24:31	1601,2	1603	10:28:41	1611,3
1504	10:20:26	1722,3	1554	10:24:36	1609,6	1604	10:28:46	1604,6
1505	10:20:31	1723,6	1555	10:24:41	1601,7	1605	10:28:51	1610,0
1506	10:20:36	1644,3	1556	10:24:46	1600,1	1606	10:28:56	1601,0
1507	10:20:41	1626,7	1557	10:24:51	1611,6	1607	10:29:01	1603,2
1508	10:20:46	1615,6	1558	10:24:56	1604,2	1608	10:29:06	1599,4
1509	10:20:51	1619,5	1559	10:25:01	1604,9	1609	10:29:11	1605,5
1510	10:20:56	1617,9	1560	10:25:06	1903,0	1610	10:29:16	1604,8
1511	10:21:01	1603,8	1561	10:25:11	1915,9	1611	10:29:21	1604,3
1512	10:21:06	1611,5	1562	10:25:16	1919,9	1612	10:29:26	1604,7
1513	10:21:11	1621,3	1563	10:25:21	1919,9	1613	10:29:31	1601,5
1514	10:21:16	1614,1	1564	10:25:26	1912,9	1614	10:29:36	1605,6
1515	10:21:21	1613,4	1565	10:25:31	1910,2	1615	10:29:41	1600,0
1516	10:21:26	1609,5	1566	10:25:36	1912,0	1616	10:29:46	1602,6
1517	10:21:31	1608,1	1567	10:25:41	1924,3	1617	10:29:51	1604,7
1518	10:21:36	1608,1	1568	10:25:46	1947,4	1618	10:29:56	1601,2
1519	10:21:41	1604,4	1569	10:25:51	1943,1	1619	10:30:01	1602,2
1520	10:21:46	1603,8	1570	10:25:56	1950,5	1620	10:30:06	1601,9
1521	10:21:51	1606,0	1571	10:26:01	2003,3	1621	10:30:11	1600,0
1522	10:21:56	1602,6	1572	10:26:06	2004,2	1622	10:30:16	1604,9
1523	10:22:01	1601,4	1573	10:26:11	2201,7	1623	10:30:21	1599,4
1524	10:22:06	1611,7	1574	10:26:16	2369,3	1624	10:30:26	1599,4
1525	10:22:11	1602,8	1575	10:26:21	2246,3	1625	10:30:31	1598,3
1526	10:22:16	1604,2	1576	10:26:26	2333,0	1626	10:30:36	1602,9
1527	10:22:21	1621,3	1577	10:26:31	2312,1	1627	10:30:41	1598,2
1528	10:22:26	1612,0	1578	10:26:36	2516,6	1628	10:30:46	1599,9
1529	10:22:31	1606,0	1579	10:26:41	2654,3	1629	10:30:51	1599,6
1530	10:22:36	1605,5	1580	10:26:46	2727,6	1630	10:30:56	1602,8
1531	10:22:41	1602,2	1581	10:26:51	2608,6	1631	10:31:01	1598,4
1532	10:22:46	1607,4	1582	10:26:56	2457,1	1632	10:31:06	1601,7
1533	10:22:51	1602,8	1583	10:27:01	2554,2	1633	10:31:11	1600,2
1534	10:22:56	1603,3	1584	10:27:06	2537,7	1634	10:31:16	1602,7
1535	10:23:01	1604,6	1585	10:27:11	2581,0	1635	10:31:21	1609,4
1536	10:23:06	1603,6	1586	10:27:16	2569,0	1636	10:31:26	1602,0
1537	10:23:11	1600,7	1587	10:27:21	2700,5	1637	10:31:31	1610,3
1538	10:23:16	1614,0	1588	10:27:26	1618,7	1638	10:31:36	1614,0
1539	10:23:21	1603,6	1589	10:27:31	1603,2	1639	10:31:41	1611,1
1540	10:23:26	1609,7	1590	10:27:36	1613,2	1640	10:31:46	1721,6
1541	10:23:31	1605,4	1591	10:27:41	1610,3	1641	10:31:51	1772,5
1542	10:23:36	1610,5	1592	10:27:46	1620,7	1642	10:31:56	1903,8
1543	10:23:41	1618,8	1593	10:27:51	1617,0	1643	10:32:01	1806,6
1544	10:23:46	1618,8	1594	10:27:56	1603,1	1644	10:32:06	1823,8
1545	10:23:51	1615,9	1595	10:28:01	1606,7	1645	10:32:11	1793,3
1546	10:23:56	1615,7	1596	10:28:06	1609,0	1646	10:32:16	1752,4
1547	10:24:01	1598,8	1597	10:28:11	1604,2	1647	10:32:21	1778,3
1548	10:24:06	1600,1	1598	10:28:16	1604,2	1648	10:32:26	1763,0
1549	10:24:11	1603,2	1599	10:28:21	1603,8	1649	10:32:31	1686,2
1550	10:24:16	1602,2	1600	10:28:26	1601,8	1650	10:32:36	1686,2

Tabla 8.33: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte IV (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1651	10:32:41	1680,3	1701	10:36:51	1623,8	1751	10:41:01	2069,5
1652	10:32:46	1664,2	1702	10:36:56	1632,2	1752	10:41:06	2104,7
1653	10:32:51	1640,7	1703	10:37:01	1637,3	1753	10:41:11	2084,3
1654	10:32:56	1661,4	1704	10:37:06	1628,5	1754	10:41:16	2095,3
1655	10:33:01	1667,9	1705	10:37:11	1643,7	1755	10:41:21	2113,2
1656	10:33:06	1653,9	1706	10:37:16	1645,2	1756	10:41:26	2111,7
1657	10:33:11	1633,8	1707	10:37:21	1645,2	1757	10:41:31	2077,7
1658	10:33:16	1625,9	1708	10:37:26	1651,1	1758	10:41:36	2042,6
1659	10:33:21	1627,8	1709	10:37:31	1629,9	1759	10:41:41	2121,6
1660	10:33:26	1627,1	1710	10:37:36	1628,4	1760	10:41:46	2205,8
1661	10:33:31	1625,5	1711	10:37:41	1633,3	1761	10:41:51	2195,6
1662	10:33:36	1636,6	1712	10:37:46	1647,1	1762	10:41:56	2200,9
1663	10:33:41	1623,4	1713	10:37:51	2134,0	1763	10:42:01	2290,9
1664	10:33:46	1648,3	1714	10:37:56	2085,4	1764	10:42:06	2163,2
1665	10:33:51	1666,9	1715	10:38:01	2085,4	1765	10:42:11	2172,0
1666	10:33:56	1631,8	1716	10:38:06	2147,8	1766	10:42:16	2253,4
1667	10:34:01	1900,2	1717	10:38:11	2092,8	1767	10:42:21	2221,8
1668	10:34:06	1900,2	1718	10:38:16	2336,0	1768	10:42:26	2170,9
1669	10:34:11	1942,3	1719	10:38:21	2297,3	1769	10:42:31	2151,1
1670	10:34:16	1869,0	1720	10:38:26	2241,3	1770	10:42:36	2087,5
1671	10:34:21	1899,0	1721	10:38:31	2291,1	1771	10:42:41	2046,8
1672	10:34:26	1931,4	1722	10:38:36	2239,9	1772	10:42:46	2055,9
1673	10:34:31	1887,6	1723	10:38:41	2233,5	1773	10:42:51	2073,5
1674	10:34:36	1910,6	1724	10:38:46	2273,7	1774	10:42:56	2073,5
1675	10:34:41	1945,1	1725	10:38:51	1653,8	1775	10:43:01	2051,6
1676	10:34:46	1905,1	1726	10:38:56	1619,9	1776	10:43:06	2042,8
1677	10:34:51	1996,3	1727	10:39:01	1634,5	1777	10:43:11	2081,2
1678	10:34:56	2019,6	1728	10:39:06	1630,7	1778	10:43:16	1607,3
1679	10:35:01	2019,6	1729	10:39:11	1617,4	1779	10:43:21	1629,9
1680	10:35:06	1985,6	1730	10:39:16	1634,1	1780	10:43:26	1623,9
1681	10:35:11	1932,2	1731	10:39:21	1645,3	1781	10:43:31	1619,6
1682	10:35:16	1954,4	1732	10:39:26	1646,3	1782	10:43:36	1614,9
1683	10:35:21	1947,7	1733	10:39:31	1629,7	1783	10:43:41	1609,4
1684	10:35:26	1961,7	1734	10:39:36	1632,8	1784	10:43:46	1613,5
1685	10:35:31	1925,9	1735	10:39:41	1642,4	1785	10:43:51	1613,2
1686	10:35:36	1962,1	1736	10:39:46	1642,7	1786	10:43:56	1612,3
1687	10:35:41	1980,2	1737	10:39:51	1661,4	1787	10:44:01	1617,4
1688	10:35:46	1961,1	1738	10:39:56	1637,5	1788	10:44:06	1616,5
1689	10:35:51	1966,6	1739	10:40:01	1654,2	1789	10:44:11	1613,1
1690	10:35:56	2010,3	1740	10:40:06	1635,7	1790	10:44:16	1600,7
1691	10:36:01	2063,7	1741	10:40:11	1654,4	1791	10:44:21	2003,0
1692	10:36:06	2073,2	1742	10:40:16	1662,3	1792	10:44:26	2005,3
1693	10:36:11	2073,9	1743	10:40:21	1656,6	1793	10:44:31	1979,4
1694	10:36:16	2080,8	1744	10:40:26	1660,5	1794	10:44:36	1983,0
1695	10:36:21	2316,6	1745	10:40:31	1660,5	1795	10:44:41	1990,5
1696	10:36:26	2386,7	1746	10:40:36	1643,4	1796	10:44:46	1956,4
1697	10:36:31	2248,1	1747	10:40:41	1650,5	1797	10:44:51	1956,5
1698	10:36:36	2220,2	1748	10:40:46	2152,3	1798	10:44:56	2023,1
1699	10:36:41	1633,9	1749	10:40:51	2141,4	1799	10:45:01	2039,4
1700	10:36:46	1632,7	1750	10:40:56	2104,5	1800	10:45:06	2104,7

Tabla 8.34: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte V (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1801	10:45:11	2253,1	1851	10:49:21	1619,7	1901	10:53:31	1610,8
1802	10:45:16	2225,4	1852	10:49:26	1604,1	1902	10:53:36	1610,8
1803	10:45:21	2089,6	1853	10:49:31	1607,7	1903	10:53:41	1625,8
1804	10:45:26	2062,9	1854	10:49:36	1609,5	1904	10:53:46	1624,9
1805	10:45:31	2021,5	1855	10:49:41	1605,0	1905	10:53:51	1633,1
1806	10:45:36	1989,9	1856	10:49:46	1606,5	1906	10:53:56	1619,9
1807	10:45:41	2007,1	1857	10:49:51	1606,7	1907	10:54:01	1614,5
1808	10:45:46	2044,1	1858	10:49:56	1608,1	1908	10:54:06	1616,0
1809	10:45:51	2011,9	1859	10:50:01	1607,5	1909	10:54:11	1610,8
1810	10:45:56	2644,3	1860	10:50:06	1615,7	1910	10:54:16	1623,2
1811	10:46:01	2928,5	1861	10:50:11	1610,2	1911	10:54:21	1614,2
1812	10:46:06	2928,5	1862	10:50:16	1610,5	1912	10:54:26	1605,7
1813	10:46:11	3058,2	1863	10:50:21	1618,2	1913	10:54:31	1604,3
1814	10:46:16	3364,2	1864	10:50:26	1619,7	1914	10:54:36	1621,9
1815	10:46:21	3427,4	1865	10:50:31	1613,0	1915	10:54:41	1628,2
1816	10:46:26	3570,5	1866	10:50:36	1613,8	1916	10:54:46	1618,3
1817	10:46:31	1615,9	1867	10:50:41	1622,7	1917	10:54:51	1614,4
1818	10:46:36	1612,1	1868	10:50:46	1621,4	1918	10:54:56	1627,3
1819	10:46:41	1611,4	1869	10:50:51	1619,3	1919	10:55:01	1609,5
1820	10:46:46	1617,6	1870	10:50:56	1618,0	1920	10:55:06	1615,1
1821	10:46:51	1629,0	1871	10:51:01	3841,1	1921	10:55:11	1618,4
1822	10:46:56	1628,8	1872	10:51:06	3517,0	1922	10:55:16	1626,6
1823	10:47:01	1628,8	1873	10:51:11	3172,4	1923	10:55:21	1609,0
1824	10:47:06	1621,0	1874	10:51:16	3021,4	1924	10:55:26	1609,5
1825	10:47:11	1626,8	1875	10:51:21	2789,3	1925	10:55:31	1604,2
1826	10:47:16	1613,5	1876	10:51:26	2723,1	1926	10:55:36	1610,3
1827	10:47:21	1604,6	1877	10:51:31	2581,3	1927	10:55:41	1607,6
1828	10:47:26	1608,7	1878	10:51:36	2625,1	1928	10:55:46	1607,5
1829	10:47:31	1608,3	1879	10:51:41	2677,4	1929	10:55:51	1606,5
1830	10:47:36	1623,0	1880	10:51:46	2644,3	1930	10:55:56	1617,9
1831	10:47:41	1610,2	1881	10:51:51	2576,0	1931	10:56:01	1620,8
1832	10:47:46	1631,6	1882	10:51:56	2576,0	1932	10:56:06	1604,6
1833	10:47:51	1648,0	1883	10:52:01	2414,7	1933	10:56:11	1607,0
1834	10:47:56	1633,7	1884	10:52:06	2234,5	1934	10:56:16	1600,5
1835	10:48:01	1631,5	1885	10:52:11	2200,0	1935	10:56:21	1601,6
1836	10:48:06	1628,6	1886	10:52:16	2149,9	1936	10:56:26	1601,5
1837	10:48:11	1617,1	1887	10:52:21	2101,0	1937	10:56:31	1611,8
1838	10:48:16	1618,5	1888	10:52:26	2043,3	1938	10:56:36	1620,7
1839	10:48:21	1625,2	1889	10:52:31	2025,3	1939	10:56:41	1625,3
1840	10:48:26	1623,1	1890	10:52:36	2000,0	1940	10:56:46	1617,8
1841	10:48:31	1617,4	1891	10:52:41	1985,7	1941	10:56:51	2814,7
1842	10:48:36	1606,5	1892	10:52:46	1987,6	1942	10:56:56	2805,3
1843	10:48:41	1604,7	1893	10:52:51	1930,5	1943	10:57:01	2708,3
1844	10:48:46	1608,5	1894	10:52:56	1947,6	1944	10:57:06	2466,1
1845	10:48:51	1608,3	1895	10:53:01	1997,2	1945	10:57:11	2344,3
1846	10:48:56	1612,2	1896	10:53:06	2037,4	1946	10:57:16	2344,3
1847	10:49:01	1626,7	1897	10:53:11	2254,6	1947	10:57:21	2324,0
1848	10:49:06	1621,9	1898	10:53:16	1609,0	1948	10:57:26	2244,9
1849	10:49:11	1621,9	1899	10:53:21	1620,2	1949	10:57:31	2179,8
1850	10:49:16	1618,3	1900	10:53:26	1602,8	1950	10:57:36	2215,9

Tabla 8.35: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte VI (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1951	10:57:41	2175,4	2001	11:01:51	1607,8	2051	11:06:01	4544,9
1952	10:57:46	2114,3	2002	11:01:56	1601,5	2052	11:06:06	3817,2
1953	10:57:51	2200,9	2003	11:02:01	1609,8	2053	11:06:11	3826,0
1954	10:57:56	2272,4	2004	11:02:06	1611,7	2054	11:06:16	4912,2
1955	10:58:01	2323,8	2005	11:02:11	1631,5	2055	11:06:21	5528,8
1956	10:58:06	2350,3	2006	11:02:16	1631,5	2056	11:06:26	5612,4
1957	10:58:11	2291,9	2007	11:02:21	1633,1	2057	11:06:31	1612,0
1958	10:58:16	2272,4	2008	11:02:26	1678,2	2058	11:06:36	1612,0
1959	10:58:21	2278,5	2009	11:02:31	1706,2	2059	11:06:41	1609,8
1960	10:58:26	2303,0	2010	11:02:36	1678,6	2060	11:06:46	1610,5
1961	10:58:31	2256,0	2011	11:02:41	1692,3	2061	11:06:51	1611,3
1962	10:58:36	2376,4	2012	11:02:46	1667,4	2062	11:06:56	1612,5
1963	10:58:41	2435,5	2013	11:02:51	1674,0	2063	11:07:01	1609,7
1964	10:58:46	2376,9	2014	11:02:56	1657,8	2064	11:07:06	1604,3
1965	10:58:51	2333,9	2015	11:03:01	1628,5	2065	11:07:11	1616,0
1966	10:58:56	2332,7	2016	11:03:06	1620,0	2066	11:07:16	1615,0
1967	10:59:01	2296,1	2017	11:03:11	1616,0	2067	11:07:21	1610,0
1968	10:59:06	2294,4	2018	11:03:16	1609,0	2068	11:07:26	1612,6
1969	10:59:11	2379,0	2019	11:03:21	1613,1	2069	11:07:31	1629,4
1970	10:59:16	2668,3	2020	11:03:26	1602,3	2070	11:07:36	1615,0
1971	10:59:21	2748,2	2021	11:03:31	1601,8	2071	11:07:41	1609,4
1972	10:59:26	2748,2	2022	11:03:36	1610,3	2072	11:07:46	1628,5
1973	10:59:31	2852,4	2023	11:03:41	1602,3	2073	11:07:51	1629,0
1974	10:59:36	3100,4	2024	11:03:46	1603,8	2074	11:07:56	1614,8
1975	10:59:41	3345,2	2025	11:03:51	1608,3	2075	11:08:01	1607,9
1976	10:59:46	3617,5	2026	11:03:56	1602,0	2076	11:08:06	1617,5
1977	10:59:51	7652,6	2027	11:04:01	1607,9	2077	11:08:11	1619,0
1978	10:59:56	7979,3	2028	11:04:06	1602,9	2078	11:08:16	1635,4
1979	11:00:01	2918,6	2029	11:04:11	1609,7	2079	11:08:21	1629,4
1980	11:00:06	2902,4	2030	11:04:16	4539,2	2080	11:08:26	1614,4
1981	11:00:11	2753,5	2031	11:04:21	4042,0	2081	11:08:31	1618,6
1982	11:00:16	2590,7	2032	11:04:26	3896,3	2082	11:08:36	1620,8
1983	11:00:21	2753,0	2033	11:04:31	3289,5	2083	11:08:41	1604,9
1984	11:00:26	2657,5	2034	11:04:36	3251,5	2084	11:08:46	1604,9
1985	11:00:31	2616,3	2035	11:04:41	3141,0	2085	11:08:51	1623,4
1986	11:00:36	2617,2	2036	11:04:46	3281,4	2086	11:08:56	1610,4
1987	11:00:41	2880,1	2037	11:04:51	2956,9	2087	11:09:01	1605,2
1988	11:00:46	1602,1	2038	11:04:56	2818,7	2088	11:09:06	1611,0
1989	11:00:51	1614,9	2039	11:05:01	2755,8	2089	11:09:11	1604,7
1990	11:00:56	1604,7	2040	11:05:06	2789,4	2090	11:09:16	1602,6
1991	11:01:01	1604,6	2041	11:05:11	2919,5	2091	11:09:21	1600,4
1992	11:01:06	1604,1	2042	11:05:16	4823,7	2092	11:09:26	1617,2
1993	11:01:11	1601,4	2043	11:05:21	8318,3	2093	11:09:31	1606,7
1994	11:01:16	1603,6	2044	11:05:26	6936,1	2094	11:09:36	1604,5
1995	11:01:21	1602,4	2045	11:05:31	6936,1	2095	11:09:41	1602,7
1996	11:01:26	1603,5	2046	11:05:36	5139,8	2096	11:09:46	1605,6
1997	11:01:31	1602,6	2047	11:05:41	6145,8	2097	11:09:51	1618,9
1998	11:01:36	1606,3	2048	11:05:46	4728,8	2098	11:09:56	1602,7
1999	11:01:41	1604,5	2049	11:05:51	6014,4	2099	11:10:01	1608,5
2000	11:01:46	1601,3	2050	11:05:56	5227,3	2100	11:10:06	1604,7

Tabla 8.36: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte VII (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
2101	11:10:11	1611,9	2151	11:14:21	1845,8	2201	11:18:31	1714,3
2102	11:10:16	1608,8	2152	11:14:26	1846,4	2202	11:18:36	1713,4
2103	11:10:21	1602,0	2153	11:14:31	1846,4	2203	11:18:41	1714,1
2104	11:10:26	1604,4	2154	11:14:36	1846,3	2204	11:18:46	1713,9
2105	11:10:31	1605,1	2155	11:14:41	1846,1	2205	11:18:51	1714,1
2106	11:10:36	1601,6	2156	11:14:46	1845,9	2206	11:18:56	1711,8
2107	11:10:41	1603,1	2157	11:14:51	1844,2	2207	11:19:01	1713,7
2108	11:10:46	1602,0	2158	11:14:56	1846,8	2208	11:19:06	1603,2
2109	11:10:51	1603,7	2159	11:15:01	1845,9	2209	11:19:11	1597,5
2110	11:10:56	1603,7	2160	11:15:06	1845,6	2210	11:19:16	1606,4
2111	11:11:01	1600,7	2161	11:15:11	1844,8	2211	11:19:21	1602,6
2112	11:11:06	1617,1	2162	11:15:16	1845,2	2212	11:19:26	1604,7
2113	11:11:11	1599,9	2163	11:15:21	1845,3	2213	11:19:31	1598,0
2114	11:11:16	1603,4	2164	11:15:26	1844,9	2214	11:19:36	1602,0
2115	11:11:21	1602,6	2165	11:15:31	1845,9	2215	11:19:41	1602,0
2116	11:11:26	1610,1	2166	11:15:36	1610,9	2216	11:19:46	1598,9
2117	11:11:31	1605,1	2167	11:15:41	1608,0	2217	11:19:51	1603,4
2118	11:11:36	1618,0	2168	11:15:46	1610,0	2218	11:19:56	1599,5
2119	11:11:41	1605,4	2169	11:15:51	1599,8	2219	11:20:01	1605,6
2120	11:11:46	1603,9	2170	11:15:56	1606,6	2220	11:20:06	1802,4
2121	11:11:51	1610,6	2171	11:16:01	1600,1	2221	11:20:11	1801,1
2122	11:11:56	1606,8	2172	11:16:06	1600,9	2222	11:20:16	1801,0
2123	11:12:01	1618,5	2173	11:16:11	1604,5	2223	11:20:21	1800,1
2124	11:12:06	1606,4	2174	11:16:16	1603,5	2224	11:20:26	1801,9
2125	11:12:11	1613,2	2175	11:16:21	1615,9	2225	11:20:31	1801,1
2126	11:12:16	1618,4	2176	11:16:26	1612,8	2226	11:20:36	1800,3
2127	11:12:21	1626,0	2177	11:16:31	1611,9	2227	11:20:41	1800,9
2128	11:12:26	1631,0	2178	11:16:36	1602,0	2228	11:20:46	1801,1
2129	11:12:31	1628,4	2179	11:16:41	1597,1	2229	11:20:51	1800,2
2130	11:12:36	1619,4	2180	11:16:46	1604,4	2230	11:20:56	1801,1
2131	11:12:41	1608,6	2181	11:16:51	1598,1	2231	11:21:01	1799,7
2132	11:12:46	1622,3	2182	11:16:56	1599,9	2232	11:21:06	1801,7
2133	11:12:51	1612,0	2183	11:17:01	1603,3	2233	11:21:11	1799,0
2134	11:12:56	1618,8	2184	11:17:06	1600,7	2234	11:21:16	1802,9
2135	11:13:01	1616,5	2185	11:17:11	1600,4	2235	11:21:21	1799,9
2136	11:13:06	1616,5	2186	11:17:16	1601,2	2236	11:21:26	1802,2
2137	11:13:11	1845,2	2187	11:17:21	1605,8	2237	11:21:31	1801,6
2138	11:13:16	1844,9	2188	11:17:26	1714,0	2238	11:21:36	1800,3
2139	11:13:21	1842,8	2189	11:17:31	1713,4	2239	11:21:41	1800,9
2140	11:13:26	1843,8	2190	11:17:36	1711,1	2240	11:21:46	1801,1
2141	11:13:31	1846,9	2191	11:17:41	1712,9	2241	11:21:51	1800,8
2142	11:13:36	1844,8	2192	11:17:46	1713,9	2242	11:21:56	1800,8
2143	11:13:41	1844,3	2193	11:17:51	1713,4	2243	11:22:01	1801,0
2144	11:13:46	1843,8	2194	11:17:56	1712,1	2244	11:22:06	1801,8
2145	11:13:51	1845,8	2195	11:18:01	1714,2	2245	11:22:11	1801,0
2146	11:13:56	1844,2	2196	11:18:06	1713,2	2246	11:22:16	1802,0
2147	11:14:01	1844,8	2197	11:18:11	1713,6	2247	11:22:21	1803,5
2148	11:14:06	1845,6	2198	11:18:16	1712,5	2248	11:22:26	1800,2
2149	11:14:11	1844,4	2199	11:18:21	1714,5	2249	11:22:31	1802,2
2150	11:14:16	1845,7	2200	11:18:26	1713,9	2250	11:22:36	1803,2

Tabla 8.37: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte VIII (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
2251	11:22:41	1800,3	2301	11:26:51	1597,1	2351	11:31:01	1602,6
2252	11:22:46	1800,7	2302	11:26:56	1595,6	2352	11:31:06	1606,7
2253	11:22:51	1803,2	2303	11:27:01	1600,2	2353	11:31:11	1608,5
2254	11:22:56	1802,5	2304	11:27:06	1599,4	2354	11:31:16	1619,4
2255	11:23:01	1801,5	2305	11:27:11	1597,9	2355	11:31:21	1619,6
2256	11:23:06	1802,0	2306	11:27:16	1600,3	2356	11:31:26	1632,5
2257	11:23:11	1801,8	2307	11:27:21	1596,6	2357	11:31:31	1674,6
2258	11:23:16	1802,2	2308	11:27:26	1601,2	2358	11:31:36	1630,0
2259	11:23:21	1801,7	2309	11:27:31	1599,8	2359	11:31:41	1635,6
2260	11:23:26	1799,8	2310	11:27:36	1616,9	2360	11:31:46	1650,7
2261	11:23:31	1802,5	2311	11:27:41	1599,5	2361	11:31:51	1630,5
2262	11:23:36	1793,8	2312	11:27:46	1604,2	2362	11:31:56	1641,8
2263	11:23:41	1714,5	2313	11:27:51	1599,1	2363	11:32:01	1625,3
2264	11:23:46	1664,4	2314	11:27:56	1598,2	2364	11:32:06	1605,9
2265	11:23:51	1638,0	2315	11:28:01	1598,8	2365	11:32:11	1632,4
2266	11:23:56	1641,3	2316	11:28:06	1600,1	2366	11:32:16	1616,4
2267	11:24:01	1641,3	2317	11:28:11	1600,8	2367	11:32:21	1630,1
2268	11:24:06	1615,9	2318	11:28:16	1599,3	2368	11:32:26	1614,6
2269	11:24:11	1620,6	2319	11:28:21	1599,3	2369	11:32:31	1620,9
2270	11:24:16	1723,7	2320	11:28:26	1598,9	2370	11:32:36	1616,3
2271	11:24:21	1724,2	2321	11:28:31	1599,1	2371	11:32:41	1616,3
2272	11:24:26	1724,4	2322	11:28:36	1605,6	2372	11:32:46	1627,9
2273	11:24:31	1725,4	2323	11:28:41	1608,0	2373	11:32:51	1623,9
2274	11:24:36	1725,7	2324	11:28:46	1596,6	2374	11:32:56	1657,6
2275	11:24:41	1726,0	2325	11:28:51	1598,9	2375	11:33:01	1630,1
2276	11:24:46	1725,6	2326	11:28:56	1601,9	2376	11:33:06	1623,9
2277	11:24:51	1724,9	2327	11:29:01	1603,5	2377	11:33:11	1639,3
2278	11:24:56	1724,1	2328	11:29:06	1600,6	2378	11:33:16	1634,8
2279	11:25:01	1726,3	2329	11:29:11	1605,4	2379	11:33:21	1635,7
2280	11:25:06	1724,6	2330	11:29:16	1601,1	2380	11:33:26	1682,9
2281	11:25:11	1723,6	2331	11:29:21	1600,7	2381	11:33:31	1715,4
2282	11:25:16	1724,8	2332	11:29:26	1599,8	2382	11:33:36	1678,2
2283	11:25:21	1724,8	2333	11:29:31	1597,9	2383	11:33:41	1645,2
2284	11:25:26	1723,9	2334	11:29:36	1597,5	2384	11:33:46	1630,3
2285	11:25:31	1723,8	2335	11:29:41	1596,0	2385	11:33:51	1640,5
2286	11:25:36	1725,1	2336	11:29:46	1602,0	2386	11:33:56	1631,7
2287	11:25:41	1724,0	2337	11:29:51	1600,5	2387	11:34:01	1611,2
2288	11:25:46	1721,6	2338	11:29:56	1604,0	2388	11:34:06	1645,8
2289	11:25:51	1721,4	2339	11:30:01	1600,9	2389	11:34:11	1609,8
2290	11:25:56	1719,7	2340	11:30:06	1600,1	2390	11:34:16	1609,3
2291	11:26:01	1720,8	2341	11:30:11	1600,8	2391	11:34:21	1599,0
2292	11:26:06	1719,4	2342	11:30:16	1600,2	2392	11:34:26	1599,2
2293	11:26:11	1718,6	2343	11:30:21	1600,6	2393	11:34:31	1597,6
2294	11:26:16	1721,6	2344	11:30:26	1603,0	2394	11:34:36	1601,1
2295	11:26:21	1544,7	2345	11:30:31	1603,0	2395	11:34:41	1602,3
2296	11:26:26	1598,6	2346	11:30:36	1603,0	2396	11:34:46	1599,1
2297	11:26:31	1595,9	2347	11:30:41	1609,9	2397	11:34:51	1599,1
2298	11:26:36	1601,5	2348	11:30:46	1616,5	2398	11:34:56	1606,8
2299	11:26:41	1597,9	2349	11:30:51	1607,3	2399	11:35:01	1603,8
2300	11:26:46	1597,0	2350	11:30:56	1608,4	2400	11:35:06	1598,7

Tabla 8.38: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte IX (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
2401	11:35:11	1599,3	2451	11:39:21	1804,6	2501	11:43:31	1599,8
2402	11:35:16	1612,6	2452	11:39:26	1791,2	2502	11:43:36	1615,8
2403	11:35:21	1616,4	2453	11:39:31	1790,0	2503	11:43:41	1612,7
2404	11:35:26	1625,9	2454	11:39:36	1735,2	2504	11:43:46	1624,3
2405	11:35:31	1631,8	2455	11:39:41	1679,6	2505	11:43:51	1609,5
2406	11:35:36	1734,2	2456	11:39:46	1665,1	2506	11:43:56	1630,1
2407	11:35:41	1755,1	2457	11:39:51	1605,1	2507	11:44:01	1607,3
2408	11:35:46	1881,5	2458	11:39:56	1605,1	2508	11:44:06	1609,9
2409	11:35:51	2007,0	2459	11:40:01	1601,0	2509	11:44:11	1628,4
2410	11:35:56	2058,8	2460	11:40:06	1601,8	2510	11:44:16	1777,6
2411	11:36:01	1974,3	2461	11:40:11	1603,9	2511	11:44:21	2194,0
2412	11:36:06	1946,8	2462	11:40:16	1611,8	2512	11:44:26	1961,5
2413	11:36:11	1949,0	2463	11:40:21	1603,9	2513	11:44:31	1959,4
2414	11:36:16	2118,6	2464	11:40:26	1606,5	2514	11:44:36	1959,4
2415	11:36:21	2175,5	2465	11:40:31	1605,7	2515	11:44:41	1960,9
2416	11:36:26	2001,3	2466	11:40:36	1603,6	2516	11:44:46	1959,7
2417	11:36:31	1816,9	2467	11:40:41	1607,1	2517	11:44:51	1960,7
2418	11:36:36	1710,8	2468	11:40:46	1618,0	2518	11:44:56	1959,4
2419	11:36:41	1672,4	2469	11:40:51	1612,4	2519	11:45:01	1960,6
2420	11:36:46	1713,1	2470	11:40:56	1605,9	2520	11:45:06	1959,3
2421	11:36:51	1668,2	2471	11:41:01	1601,4	2521	11:45:11	1960,4
2422	11:36:56	1649,0	2472	11:41:06	1618,7	2522	11:45:16	1959,5
2423	11:37:01	1649,0	2473	11:41:11	1615,8	2523	11:45:21	1960,6
2424	11:37:06	1660,1	2474	11:41:16	1605,9	2524	11:45:26	1961,8
2425	11:37:11	1620,0	2475	11:41:21	1605,9	2525	11:45:31	1962,0
2426	11:37:16	1629,5	2476	11:41:26	1617,9	2526	11:45:36	1961,8
2427	11:37:21	1622,0	2477	11:41:31	1625,5	2527	11:45:41	1961,5
2428	11:37:26	1609,9	2478	11:41:36	1626,5	2528	11:45:46	1961,4
2429	11:37:31	1624,4	2479	11:41:41	1643,2	2529	11:45:51	1961,5
2430	11:37:36	1614,2	2480	11:41:46	1626,5	2530	11:45:56	1961,6
2431	11:37:41	1612,5	2481	11:41:51	1626,6	2531	11:46:01	1961,7
2432	11:37:46	1615,9	2482	11:41:56	1610,6	2532	11:46:06	1773,6
2433	11:37:51	1613,2	2483	11:42:01	1608,7	2533	11:46:11	1852,8
2434	11:37:56	1617,1	2484	11:42:06	1620,4	2534	11:46:16	1823,2
2435	11:38:01	1607,0	2485	11:42:11	1606,7	2535	11:46:21	1834,9
2436	11:38:06	1599,2	2486	11:42:16	1623,5	2536	11:46:26	1834,6
2437	11:38:11	1604,1	2487	11:42:21	1619,2	2537	11:46:31	1853,9
2438	11:38:16	1601,3	2488	11:42:26	1617,0	2538	11:46:36	2002,5
2439	11:38:21	1600,4	2489	11:42:31	1604,6	2539	11:46:41	2002,7
2440	11:38:26	1605,6	2490	11:42:36	1601,5	2540	11:46:46	2002,7
2441	11:38:31	1598,9	2491	11:42:41	1603,6	2541	11:46:51	2003,6
2442	11:38:36	1610,1	2492	11:42:46	1600,3	2542	11:46:56	2005,2
2443	11:38:41	1611,4	2493	11:42:51	1604,9	2543	11:47:01	2002,9
2444	11:38:46	1602,2	2494	11:42:56	1610,3	2544	11:47:06	2002,3
2445	11:38:51	1598,2	2495	11:43:01	1597,3	2545	11:47:11	2004,0
2446	11:38:56	1599,4	2496	11:43:06	1622,4	2546	11:47:16	2001,6
2447	11:39:01	2015,7	2497	11:43:11	1597,8	2547	11:47:21	2002,4
2448	11:39:06	1940,9	2498	11:43:16	1605,0	2548	11:47:26	2003,4
2449	11:39:11	1865,8	2499	11:43:21	1603,2	2549	11:47:31	2004,1
2450	11:39:16	1800,4	2500	11:43:26	1599,8	2550	11:47:36	2000,2

Tabla 8.39: MP10 condición ambiente (verde) y con aplicación de producto (amarillo), Parte X (Tapia, 2023).

Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Medición	Hora	MP10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
2551	11:47:41	2002,1	2601	11:51:51	1793,8	2651	11:56:01	2343,8
2552	11:47:46	2002,5	2602	11:51:56	1797,1	2652	11:56:06	2344,3
2553	11:47:51	2003,5	2603	11:52:01	1794,8	2653	11:56:11	2346,0
2554	11:47:56	2002,5	2604	11:52:06	1797,2	2654	11:56:16	2344,7
2555	11:48:01	2002,4	2605	11:52:11	1795,1	2655	11:56:21	2346,2
2556	11:48:06	2002,4	2606	11:52:16	1795,0	2656	11:56:26	2346,0
2557	11:48:11	2002,3	2607	11:52:21	1795,0	2657	11:56:31	2343,6
2558	11:48:16	2002,3	2608	11:52:26	1795,4	2658	11:56:36	2344,4
2559	11:48:21	1729,5	2609	11:52:31	1794,9	2659	11:56:41	2344,7
2560	11:48:26	1727,1	2610	11:52:36	1794,9	2660	11:56:46	2342,3
2561	11:48:31	1732,6	2611	11:52:41	1795,9	2661	11:56:51	2344,3
2562	11:48:36	1731,7	2612	11:52:46	1794,2	2662	11:56:56	2344,0
2563	11:48:41	1772,0	2613	11:52:51	1795,4	2663	11:57:01	2345,4
2564	11:48:46	1817,4	2614	11:52:56	1795,7	2664	11:57:06	2344,2
2565	11:48:51	1803,8	2615	11:53:01	1795,0	2665	11:57:11	2345,5
2566	11:48:56	1833,2	2616	11:53:06	1794,2	2666	11:57:16	2344,3
2567	11:49:01	1802,0	2617	11:53:11	1794,8	2667	11:57:21	2344,3
2568	11:49:06	1818,4	2618	11:53:16	1794,7	2668	11:57:26	2344,2
2569	11:49:11	1724,1	2619	11:53:21	1794,7	2669	11:57:31	2344,2
2570	11:49:16	1689,8	2620	11:53:26	1794,6	2670	11:57:36	2344,1
2571	11:49:21	1664,0	2621	11:53:31	1604,3	2671	11:57:41	1604,6
2572	11:49:26	1642,5	2622	11:53:36	1603,1	2672	11:57:46	1604,2
2573	11:49:31	1689,5	2623	11:53:41	1605,8	2673	11:57:51	1610,8
2574	11:49:36	1651,2	2624	11:53:46	1601,3			
2575	11:49:41	1625,2	2625	11:53:51	1606,1			
2576	11:49:46	1617,4	2626	11:53:56	1602,5			
2577	11:49:51	1612,9	2627	11:54:01	1607,7			
2578	11:49:56	1615,0	2628	11:54:06	1619,2			
2579	11:50:01	1607,5	2629	11:54:11	1607,5			
2580	11:50:06	1607,5	2630	11:54:16	1603,3			
2581	11:50:11	1620,1	2631	11:54:21	1607,7			
2582	11:50:16	1616,1	2632	11:54:26	1607,7			
2583	11:50:21	1607,5	2633	11:54:31	1616,5			
2584	11:50:26	1602,8	2634	11:54:36	1613,1			
2585	11:50:31	1599,9	2635	11:54:41	1631,9			
2586	11:50:36	1600,6	2636	11:54:46	1602,4			
2587	11:50:41	1599,8	2637	11:54:51	1619,7			
2588	11:50:46	1599,6	2638	11:54:56	1599,1			
2589	11:50:51	1598,8	2639	11:55:01	1606,0			
2590	11:50:56	1601,6	2640	11:55:06	1601,9			
2591	11:51:01	1598,2	2641	11:55:11	1604,7			
2592	11:51:06	1599,4	2642	11:55:16	1598,0			
2593	11:51:11	1601,4	2643	11:55:21	1602,0			
2594	11:51:16	1602,4	2644	11:55:26	1603,2			
2595	11:51:21	1601,4	2645	11:55:31	1606,7			
2596	11:51:26	1598,4	2646	11:55:36	2345,8			
2597	11:51:31	1607,6	2647	11:55:41	2344,6			
2598	11:51:36	1796,4	2648	11:55:46	2345,8			
2599	11:51:41	1795,4	2649	11:55:51	2345,4			
2600	11:51:46	1795,9	2650	11:55:56	2343,8			