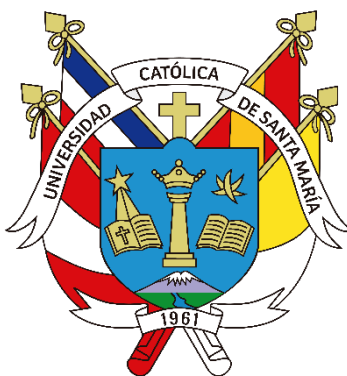


Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



Estudio comparativo sobre la eficacia de cuatro tipos de supresores para el control de polvo y reducción del consumo de agua en las rampas de una unidad minera de la región de Tacna, 2023

Tesis presentada por el Bachiller:

Chuyacama Zarate, Benjamin

ORCID: 0009-0005-6235-3885

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

Mg. López Casaperalta De Diaz, Patricia Yaneth

ORCID: 0000-0001-5853-2833

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 25 de Julio del 2024

Dictamen: 009034-C-EPIM-2024

Visto el borrador del expediente 009034, presentado por:

2014601191 - CHUYACAMA ZARATE BENJAMIN

Titulado:

ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LA EFICACIA DE CUATRO TIPOS DE SUPRESORES PARA EL CONTROL DE POLVO Y REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN LAS RAMPAS DE UNA UNIDAD MINERA DE LA REGIÓN DE TACNA, 2023

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA
DICTAMINADOR**



**40859499 - BERNEDO TITO EDWIN JOSE
DICTAMINADOR**



**40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY
DICTAMINADOR**



Estudio comparativo sobre la eficacia de cuatro tipos de supresores para el control de polvo y reducción del consumo de agua en las rampas de una unidad minera de la región de Tacna, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 3% |
| 2 | repositorio.uchile.cl Fuente de Internet | 2% |
| 3 | repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | Submitted to Universidad Manuela Beltrán Trabajo del estudiante | 1% |
| 5 | repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante | <1% |
| 7 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 8 | ec.europa.eu Fuente de Internet | <1% |

Dedicatoria

A mi hermano Josue David, quien fue mi mentor, mi compañero y cómplice en todos nuestros objetivos. Tu amor y apoyo han sido la base para lograr cada meta que nos propusimos. Esta tesis es un tributo al esfuerzo, confianza y dedicación que pusiste en mí. Muchas gracias por ser un pilar de fortaleza y mi gran ejemplo de superación continua. Tu presencia en mi vida fue un regalo invaluable, y este logro es nuestro.



Agradecimiento

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi hermano Josue David, quien en vida fue mi compañero, amigo y padre. Agradezco a Dios por permitirme conocerlo, crecer y creer en que siempre podemos ser mejores cada día.



RESUMEN

Las minas generan mucho polvo durante la operación, producción y el transporte, lo que no solo daña la salud del personal, sino que también causa contaminación ambiental. El polvo de carbón tiene un alto riesgo de explosión y al mismo tiempo reduce la vida útil del equipo. Por lo tanto, prevenir la propagación del polvo es vital para la extracción segura de las minas de carbón y el desarrollo de la industria minera. Se han llevado a cabo un estudio comparativo de cuatro supresores comerciales que son: H14, Dustex FL875L, Bivesoil y Earthbind 100™ para el control de polvo y reducción del consumo de agua en una rampa piloto de extensión de 1 Km y 30 m de ancho, se ha determinado que la mayor eficiencia alcanzada fue de mayor al 82% con una concentración promedio de partícula $621.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y que el menor consumo de agua fue de alrededor de 40 000 galones por tratamiento, el cual es 7 veces menor que el tratamiento convencional, sin embargo no necesariamente el mejor eficientemente en el control de polvo, razón por la cual se realizó el análisis tecno-económico para la determinación de la mejor alternativa de tratamiento, obteniéndose como resultado que la mejor opción de tratamiento es la aplicación del aditivo Bivesoil con un costo de 1575 US\$/día, pero sobre todo una reducción de gastos alrededor de 442 682 US\$ anuales frente al tratamiento convencional con el agua. El supresor de polvo puede cumplir con los requisitos de supresión de polvo en el proceso de minería y es no tóxico y respetuoso con el medio ambiente.

Palabras claves:

Polvo, supresores, consumo de agua

ABSTRACT

Mines generate a lot of dust during operation, production and transportation, which not only harms the health of personnel, but also causes environmental pollution. Coal dust has a high risk of explosion and at the same time reduces the useful life of the equipment. Therefore, preventing the spread of dust is vital for the safe extraction of coal mines and the development of the mining industry. A comparative study of four commercial suppressors has been carried out: H14, Dustex FL875L, Bivesoil and Earthbind¹⁰⁰™ for dust control and reduction of water consumption in a pilot ramp of 1 km and 30 m wide. It has been determined that the highest efficiency achieved was greater than 82% with an average particle concentration of 621.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and that the lowest water consumption was around 40,000 gallons per treatment, which is 7 times less than the treatment conventional, however not necessarily the best efficiently in dust control, which is why the techno-economic analysis was carried out to determine the best treatment alternative, resulting in the best treatment option being the application of the additive. Bivesoil with a cost of 1,575 US\$/day, but above all a reduction in expenses of around 442,682 US\$ per year compared to conventional water treatment. The dust suppressor can meet the dust suppression requirements in the mining process and is non-toxic and environmentally friendly.

Key words:

Dust, suppressors, water consumption

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------------------------|----|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTO | |
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I | 2 |
| 1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO..... | 3 |
| 1.1. Descripción del Problema..... | 3 |
| 1.2. Justificación..... | 4 |
| 1.3. Aporte del Desarrollo de Tesis | 4 |
| 2. OBJETIVOS | 5 |
| 2.1. Objetivo General | 5 |
| 2.2. Objetivos Específicos | 5 |
| 2.3. Pregunta General | 5 |
| 2.4. Preguntas Específicas | 6 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 3.1. Conceptos Básicos..... | 6 |
| 3.1.1. Suelo | 6 |
| Principales tipos de suelos | 7 |
| 3.1.2. Proceso Productivo de la Minería | 8 |
| Carguío, acarreo y transporte | 8 |
| 3.1.3. Clasificación de las vías de transporte | 11 |
| Vías auxiliares:..... | 11 |
| Vías de acarreo..... | 11 |
| Descripción de rampas mineras | 13 |
| 3.1.4. Polvo | 13 |
| a) Polvo inhalable (PM10): | 14 |
| b) Polvo respirable: | 14 |
| Polvo en mina | 14 |
| Fuentes de emisión de polvo | 15 |
| - Operación de voladura: | 15 |
| - Operación de carga: | 15 |
| - Operación de descarga: | 16 |

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| - Operación de transporte: | 16 |
| Impacto de la generación de polvo | 16 |
| - Enfermedades ocasionadas por inhalación de polvo..... | 16 |
| - Impactos en la piel | 17 |
| - Impactos debido a la inhalación de polvo..... | 17 |
| - Impacto del polvo en las operaciones mineras..... | 18 |
| 3.1.5. Métodos de mitigación..... | 19 |
| Métodos Físicos: | 20 |
| Métodos Químicos..... | 21 |
| 3.1.6. Supresores de polvo | 22 |
| Tipos de supresores de polvo | 23 |
| - Sales y cloruros | 24 |
| - Sustancias orgánicas no bituminosas | 24 |
| - Sustancias bituminosas | 25 |
| - Sustancias sintéticas..... | 25 |
| - Sustancias biológicas y biodegradables | 26 |
| 3.1.7. Supresores aplicados en la minera | 27 |
| H14..... | 27 |
| - Descripción | 27 |
| - Propiedades Físicoquímicas..... | 27 |
| - Composición química | 28 |
| - Características | 28 |
| DUSTEX FL 875 | 28 |
| - Descripción | 28 |
| - Propiedades Físicoquímicas..... | 29 |
| - Composición química | 29 |
| - Características | 29 |
| BIVESOIL | 30 |
| - Descripción | 30 |
| - Propiedades Físicoquímicas..... | 30 |
| - Composición química | 31 |
| - Características | 31 |
| EARTHBIND ¹⁰⁰ TM | 31 |
| - Descripción | 31 |
| - Propiedades Físicoquímicas..... | 32 |
| - Composición química | 32 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| - Características | 32 |
| 3.1.8. Preparación de rampas mineras..... | 33 |
| Escarificado..... | 33 |
| Recebado..... | 33 |
| Riego de agua y mezcla | 34 |
| Compactación | 34 |
| Método tradicional: Humectación con agua | 34 |
| 3.1.9. Marco legal | 35 |
| 3.2. Antecedentes de la Investigación | 35 |
| - Antecedentes Nacionales | 35 |
| - Antecedentes Internacionales..... | 37 |
| 4. HIPÓTESIS..... | 38 |
| 5. VARIABLES | 38 |
| 6. ALCANCES Y LIMITACIONES | 42 |
| 6.1.2. Limitaciones..... | 42 |
| 6.1.3. Aporte | 42 |
| 7. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN | 43 |
| 7.1.1. Tipo de investigación..... | 43 |
| 7.1.2. Nivel de investigación..... | 43 |
| CAPITULO II: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL | 44 |
| 1. CAMPO DE VERIFICACIÓN..... | 45 |
| 1.1. Unidades de estudio..... | 45 |
| 1.1.1. Población..... | 45 |
| 1.1.2. Muestra | 45 |
| - Condición de la muestra experimental - tramo piloto..... | 46 |
| 2. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN..... | 46 |
| 2.1. Técnicas..... | 46 |
| 2.2.1. Determinación de línea base estado inicial del tramo piloto..... | 46 |
| 2.2.2. Tasa de Evaporación del agua del tramo piloto | 47 |
| 2.2.3. Material particulado del tramo piloto..... | 47 |
| 2.2.4. Evaluación Visual | 48 |
| 2.2.5. Evaluación de humedad del suelo | 51 |
| 2.2.6. Diseño experimental. | 52 |
| 2.3. Instrumentos | 55 |
| 2.3.1. Cuantificación del material particulado | 55 |
| 2.3.2. Técnicas | 56 |

| | | |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. | ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 56 |
| 3.1. | Recolección de datos y análisis documental:..... | 56 |
| - | Materiales, Instrumentos y Equipos..... | 56 |
| - | Procedimiento general..... | 57 |
| - | Determinación de la eficiencia..... | 57 |
| 3.2. | Plan de análisis estadístico de los datos..... | 57 |
| 3.2.1. | Procesamiento Estadístico..... | 57 |
| CAPITULO III: RESULTADOS..... | | 59 |
| 1.1. | Determinación de la tasa de evaporación de agua en la rampa piloto..... | 60 |
| 1.2. | Determinación de la línea base de la rampa piloto..... | 60 |
| 1.3. | Determinación del mejor tipo de supresor para el control de polvo..... | 62 |
| - | H14..... | 62 |
| - | DUSTEX..... | 63 |
| - | BIVESOIL..... | 64 |
| - | EARTHBIND..... | 64 |
| 1.4. | Determinación del mejor tipo de supresor para la reducción del consumo de agua..... | 66 |
| - | Agua..... | 66 |
| - | H14..... | 67 |
| - | Dustex..... | 67 |
| - | Bivesoil..... | 68 |
| - | Earthbind..... | 69 |
| 1.5. | Determinación de la factibilidad tecno-económica del mejor supresor para el control y reducción del consumo de agua | 70 |
| - | Agua..... | 71 |
| - | H14..... | 72 |
| - | Dustex..... | 72 |
| - | Bivesoil..... | 73 |
| - | Earthbind..... | 74 |
| DISCUSIÓN | | 77 |
| CONCLUSIONES | | 80 |
| RECOMENDACIONES..... | | 81 |
| REFERENCIAS..... | | 82 |
| ANEXOS | | 85 |
| I. | Registro de consumo de agua | 85 |
| II. | Registro de consumo y dosificación del aditivo H14 | 86 |
| III. | Registro de consumo y dosificación del aditivo Dustex..... | 87 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IV. | Registro de consumo y dosificación del aditivo Bivesoil..... | 88 |
| V. | Registro de consumo y dosificación del aditivo Earthbind | 89 |
| VI. | Registro de control de polvo por el supresor químico H14 | 90 |
| VII. | Registro de control de polvo por el supresor químico Dustex..... | 95 |
| VIII. | Registro de control de polvo por el supresor químico Bivesoil..... | 101 |
| IX. | Registro de control de polvo por el supresor químico Earthbind | 107 |
| X. | Procedimiento Operacional del Equipo DUSTMATE | 113 |
| XI. | Elección de la prueba estadística de acuerdo a las características del estudio..... | 115 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1. Clasificación de los principales tipos de suelos..... | 8 |
| Figura 2. Equipos de Carguío y Transporte de la unidad minera | 9 |
| Figura 3. Pala Eléctrica #4 PyH 4100XPC..... | 10 |
| Figura 4. Flota de Camiones mineros Komatsu y características 930 E y CAT 797..... | 10 |
| Figura 5. Vías auxiliares de la unidad minera..... | 11 |
| Figura 6. Maquinaria Pesada para el transporte del mineral..... | 12 |
| Figura 7. Configuración de rampas en Zig Zag de la unidad minera..... | 13 |
| Figura 8. Impactos en el pulmón (silicosis) por la inhalación de polvo | 18 |
| Figura 9. Métodos Físicos y Químicos para la supresión de polvos..... | 20 |
| Figura 10. Clasificación de los métodos físicos..... | 21 |
| Figura 11. Clasificación de métodos químicos..... | 22 |
| Figura 12. Red vial de la Unidad Minera..... | 45 |
| Figura 13. Características del tramo piloto de estudio..... | 46 |
| Figura 14. Esquemmatización del procedimiento de medición de partículas..... | 48 |
| Figura 15. Ejemplificación de la escala visual de la determinación del nivel de supresión | 50 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tabla 1. <i>Clasificación de los tipos de supresores</i> | 23 |
| Tabla 2. <i>Ventajas y desventajas de los diferentes supresores de polvo</i> | 26 |
| Tabla 3. <i>Propiedades Fisicoquímica del supresor H14</i> | 27 |
| Tabla 4. <i>Composición química del supresor H14</i> | 28 |
| Tabla 5. <i>Propiedades Fisicoquímica del supresor Dustex FL 875</i> | 29 |
| Tabla 6. <i>Composición química del supresor Dustex FL875</i> | 29 |
| Tabla 7. <i>Propiedades Fisicoquímica del supresor Bivesoil</i> | 30 |
| Tabla 8. <i>Composición química del supresor Bivesoil</i> | 31 |
| Tabla 9. <i>Propiedades Fisicoquímica del supresor Earthbind 100 TM</i> | 32 |
| Tabla 10. <i>Composición química del supresor Earthbind 100 TM</i> | 32 |
| Tabla 11. <i>Operacionalización de las Variables a estudiar</i> | 40 |
| Tabla 12. <i>Escala visual para la determinación del nivel de supresión de polvo</i> | 48 |
| Tabla 13. <i>Condición del suelo de acuerdo a la escala de Humedad</i> | 51 |
| Tabla 14. <i>Diseño experimental de la investigación</i> | 52 |
| Tabla 15. <i>Plan de dosificación del supresor de acuerdo a la condición de mantenimiento o impacto</i> | 54 |
| Tabla 16. <i>Procesamiento de análisis de datos</i> | 58 |
| Tabla 17. <i>Análisis económico de la aplicación con agua</i> | 71 |
| Tabla 18. <i>Análisis económico de la aplicación con supresor químico H14</i> | 72 |
| Tabla 19. <i>Análisis económico de la aplicación con supresor químico Dustex</i> | 73 |
| Tabla 20. <i>Análisis económico de la aplicación con supresor químico Bivesoil</i> | 74 |
| Tabla 21. <i>Análisis económico de la aplicación con supresor químico Earthbind</i> | 75 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Gráfica 1. Determinación de la tasa de evaporación en la rampa piloto..... | 60 |
| Gráfica 2. Obtención de la línea base de estudio del tramo piloto..... | 61 |
| Gráfica 3. Determinación de la eficiencia de supresión con agua | 61 |
| Gráfica 4. Supresión de polvo con el aditivo químico H14..... | 63 |
| Gráfica 5. Supresión de polvo con el aditivo químico Dustex..... | 63 |
| Gráfica 6. Supresión de polvo con el aditivo químico Bivesoil..... | 64 |
| Gráfica 7. Supresión de polvo con el aditivo químico Bivesoil..... | 65 |
| Gráfica 8. Análisis comparativo de eficiencia de los supresores químicos | 65 |
| Gráfica 9. Volumen de consumo de Agua..... | 66 |
| Gráfica 10. Volumen de consumo del aditivo químico H14..... | 67 |
| Gráfica 11. Volumen de consumo del aditivo químico Dustex | 68 |
| Gráfica 12. Volumen de consumo del aditivo químico Bivesoil | 68 |
| Gráfica 13. Volumen de consumo del aditivo químico Bivesoil | 69 |
| Gráfica 14. Análisis comparativo de consumo de agua de los supresores químicos | 70 |
| Gráfica 15. Análisis comparativo del gasto económico de los supresores químicos | 76 |

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la contaminación atmosférica ambiental ha estimulado una mayor atención en lo social, ciencia y tecnología del desarrollo. Entre contaminantes del aire, materia particulada (específicamente PM_{10} y $PM_{2.5}$) es un contribuyente dominante a la contaminación del aire, que ha inducido innumerables efectos negativos en la salud humana y animal y el medio ambiente en general (Potter et al., 2021). En consecuencia, el control efectivo del polvo es de suma importancia para la mitigación de las partículas en el aire para salvaguardar la salud pública y el medio ambiente.

Los principales métodos actuales de control del polvo incluyen inyección de agua, ventilación, protección individual, operación cerrada y pulverización supresora de agua o polvo. En comparación con otros métodos, los materiales químicos de supresión de polvo tienen ciertas ventajas en la eficiencia de supresión de polvo, la duración, la degradación ambiental y la reducción de costos (Liu et al., 2020). Sin embargo, los estudios sobre el desarrollo de supresores de polvo no son suficientes actualmente, desventajas como baja humectabilidad, y mala adhesión, métodos de aplicación, entre otros. En la actualidad, las investigaciones en supresores de polvo han hecho un progreso significativo en todo el mundo.

Actualmente, el polvo de carbón en las minas a cielo abierto se elimina principalmente rociando con agua (Cai et al., 2021). Sin embargo, el agua se evapora rápidamente al aire libre y se requiere una pulverización repetida, lo que resulta en un desperdicio de mano de obra y recursos financieros (Jin et al., 2019; Jin, 2021; Liu et al., 2021). Además, la eficiencia de este método es limitada. En contraste, el método de supresión de polvo químico se ha utilizado ampliamente en el mundo debido a su alta eficiencia. De hecho, es considerado como uno de los métodos más efectivos para aliviar la contaminación del polvo en las minas a cielo abierto.

Como una medida eficaz para controlar la contaminación por polvo, los supresores de polvo se han aplicado ampliamente. En este estudio de investigación, el objetivo fue realizar un análisis comparativo de cuatro tipos de aditivos químicos comercialmente (H14, Dustex FL875L, Bivesoil and Earthbind¹⁰⁰™) para el control de polvo y reducción del consumo de agua en las rampas mineras de Tacna en un tramo de 1 Km y 30 m de ancho. Además, se realizó el análisis tecno-económico para la determinación y elección de la mejor alternativa de tratamiento como beneficios tanto económicos, sociales y sobre todo ambientalmente respetuoso con el medio ambiente.



1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Descripción del Problema

En el Perú la economía peruana, el sector minero conforma uno de lo más cruciales sectores en el crecimiento del PBI; ya que representa aproximadamente el 15% del total de la economía nacional, específicamente en la producción, exportación, inversión y generación de empleo directo e indirecto.

La minera está conformada por diversas operaciones industriales, dentro de la cual el recurso hídrico es un insumo crucial en diferentes etapas del proceso, concretamente el agua participa de inicio a fin en todo el procesamiento del mineral; sin embargo, este insumo es limitado para la mayoría de las mineras teniendo que realizar inversiones de gran costo para poder abastecerse de este recurso, afectando directamente en los estados financieros, peor aún en el impacto medioambiental y social.

Concretamente en la unidad minera de la región de Tacna donde se ejecutan actividades como: transporte, carguío, acarreo, almacenamiento entre otras, estas diversas operaciones con lleva la generación de gran cantidad de polvo, lo cual es mitigado con el riego y aspersion de agua. Este tratamiento presenta muchas limitaciones ya que no es del todo eficiente debido a su alta evaporación y algunas situaciones se utiliza elevadas cantidades de agua para poder reducir el polvo, observándose una aplicación derrochadora del recurso que genera altos costos para la propia mina.

Por otro lado, la generación del polvo y el consumo de agua representa una problemática emergente para el medioambiente, la salud propia de los trabajadores, seguridad en los trabajadores, desgastes de los equipos y elevados gastos. Razón por la cual se ha visto la necesidad de buscar nuevos tratamientos de supresión del polvo en esto últimos años, como nuevas soluciones que sean efectivas, sostenibles y rentables para su aplicación.

En este contexto, el presente trabajo tiene como propósito la evaluación comparativa de cuatro tipos de supresores: H14, Dustex FL875L, Bivesoil and

Earthbind¹⁰⁰™ en condiciones reales localizadas en las rampas de mina para su posterior aplicación de acuerdo a su efectividad.

1.2. Justificación

Una gran cantidad de polvo se genera durante la producción de minas a cielo abierto en actividades como: transporte, almacenamiento, carguío, operaciones mecánicas, subproducción, entre otros. El polvo, que se denomina un "asesino invisible", se ha convertido en los últimos años en un factor importante que restringe la producción segura de las minas de polimetálicas. Plantea peligros considerables, que incluyen neumoconiosis, contaminación ambiental, desgaste de equipos y explosiones de polvo. Para prevenir y tratar este fenómeno, en las operaciones tradicionales de control y eliminación de polvo, el agua ha sido el líquido de desempolvado más utilizado. Sin embargo, la extracción de agua es ineficiente y derrochadora. Además, no se ajusta al concepto de "ahorro de recursos".

Por lo tanto, reducir la propagación del polvo no solo es significativo para la salud y la seguridad de la vida de los trabajadores, sino que también es crucial para la situación general del desarrollo económico y la estabilidad social de las empresas y la comunidad aledaña que en muchas ocasiones manifiestan la falta de compromiso por el cuidado del medio ambiente y salud de los pobladores, para ello la investigación y desarrollo de nuevos productos de supresión de polvos son imprescindibles en el mercado, viéndose necesario la evaluación comparativa de su eficacia, factibilidad y rentabilidad en condiciones reales de la propia mina.

1.3. Aporte del Desarrollo de Tesis

Una gran cantidad de polvo se genera durante la producción de minas a cielo abierto en actividades como: transporte, almacenamiento, carguío, operaciones mecánicas, subproducción, entre otros. El polvo, que se denomina un "asesino invisible", se ha convertido en los últimos años en un factor importante que restringe la producción segura de las minas de polimetálicas. Plantea peligros considerables, que incluyen neumoconiosis, contaminación ambiental, desgaste de equipos y explosiones de polvo. Para prevenir y tratar este fenómeno, en las operaciones tradicionales de

control y eliminación de polvo, el agua ha sido el líquido de desempolvado más utilizado. Sin embargo, la extracción de agua es ineficiente y derrochadora. Además, no se ajusta al concepto de "ahorro de recursos".

Por lo tanto, reducir la propagación del polvo no solo es significativo para la salud y la seguridad de la vida de los trabajadores, sino que también es crucial para la situación general del desarrollo económico y la estabilidad social de las empresas y la comunidad aledaña que en muchas ocasiones manifiestan la falta de compromiso por el cuidado del medio ambiente y salud de los pobladores, para ello la investigación y desarrollo de nuevos productos de supresión de polvos son imprescindibles en el mercado, viéndose necesario la evaluación comparativa de su eficacia, factibilidad y rentabilidad en condiciones reales de la propia mina.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Ejecutar un estudio comparativo sobre la eficacia de cuatro tipos de supresores (H14, Dustex FL875L, Bivesoil and Earthbind¹⁰⁰™) para el control y reducción del consumo de agua en las rampas de una unidad minera de la región de Tacna, 2023.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar técnicamente el riego convencional mediante el uso exclusivo de agua en las rampas de una unidad minera de la región de Tacna, 2023.
- Determinar el mejor tipo de supresor para el control de polvo en las rampas de una unidad minera de la región de Tacna, 2023.
- Determinar el mejor tipo de supresor para la reducción del consumo de agua en las rampas de una unidad minera de la región de Tacna, 2023.
- Analizar tecno-económicamente el mejor supresor para el control y reducción del consumo de agua en las rampas de una unidad minera de la región de Tacna, 2023.

2.3. Pregunta General

¿Cuál es la eficacia de los tipos de supresores (H14, Dustex FL875L, Bivesoil and Earthbind 100 TM) sobre el control y reducción del consumo de agua en las rampas de la unidad minera?

2.4. Preguntas Específicas

- ¿Como se realiza la supresión del polvo y cuál es el consumo en las rampas de la unidad minera?
- ¿Cuál es el mejor tipo de supresor para el control de polvo en las rampas de la unidad minera?
- ¿Cuál es el mejor tipo de supresor para reducir el consumo de agua en las rampas de la unidad minera?
- ¿Cuál es el beneficio técnico-económico del mejor supresor para el control de polvo y consumos de agua en las rampas de una unidad minera?

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Conceptos Básicos

3.1.1. Suelo

La definición según la Real Academia Española (RAE), el suelo es “la capa superior de la corteza terrestre situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesta por partícula minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el agua y el aire. Así también le confiere la capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso” (Sánchez y Escribano, 1940). O en tal caso, la ciencia que estudia el suelo; la edafología define al suelo como un ser natural estructurado que está en constante cambio y que para su evolución y formación depende de factores bióticos como abióticos (Marín Serna, 2011). En si la definición de suelo se puede realizar de diferentes maneras debido a su aplicación y de que ciencia proviene, en este caso para la ingeniería, el suelo son partes de los materiales incoherentes que recubre a las rocas y que es capaz de sostener vida vegetal (Ministerio de Energía y Minas, 2003). Específicamente en la minería el suelo son partículas de diferentes tamaños que contienen bajas proporciones de arcillas y generalmente están desprovisto de materia orgánica, que sufre consecuencias directas de la actividad minera: tiene que ser removido para acabo la minería a cielo abierto;

sobre el suelo se realizan las actividades de transporte; sobre este mismo se ubican las escombreras; y recibe todos los efluente líquidos que se llegan a infiltran en la superficie de terreno, y entre otras perturbaciones (Oyarzún et al., 2011).

La existencia de polvo está vinculada a las características de la textura del suelo, que se define como una categoría textural describiendo la proporción relativa de las distintas clases de partículas presentes en un volumen específico de suelo. Todos los suelos están conformados por fracciones y partículas minerales de distintos tamaños, siendo las más grandes denominadas arenas, los intermedios limos y las más pequeñas arcillas.

Principales tipos de suelos

Los sistemas de clasificación del suelo te proporcionan información de que suelos son similares con respecto a sus propiedades físicas y químicas que afectan en gran medida a sus funciones del suelo, según su morfología o según su composición de minerales. Es de interés la clasificación según al contenido de mineralogía y granulometría, por lo tanto, el suelo se puede clasificar en cuatro tipos: arena, gravas, limo y arcilla (Kühn & Eberhardt, 2023) .

- **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos rocoso que presentan una granulometría superior de 2 mm de diámetro. Generalmente son acarreadas por las aguas por lo que se encuentran en los conos deyección y márgenes de los ríos o en algunos casos en lugares donde las gravas han sido transportadas. Dichas partículas presentan una granulometría aproximada entre 7.5 cm hasta 2 mm.
- **Arena:** La formación de este tipo de suelo se da generalmente por la descomposición o fragmentación de rocas como el granito, el cuarzo y la piedra caliza, el cual consiste de pequeñas partículas de roca erosionada que varían entre 2 mm hasta 0.05 mm de diámetro. Este tipo de suelo es muy bueno para sistemas de drenaje ya que no son plásticas y menos compresibles que la arcilla.
- **Limo:** Particularmente es mucho más pequeña que el suelo arenoso debido a la formación de rocas y otras partículas minerales mucho más pequeñas que la arena y más grandes que la arcilla; donde presenta una textura suave y final del

suelo que retiene el agua mejor que la arena. Dependiendo de su origen pueden ser limos inorgánicos que es producto de canteras (ninguna plasticidad) o limo orgánico provenientes en ríos con características plásticas. La granulometría de dichas partículas se encuentra entre 0.05 mm hasta 0.005 mm.

- **Arcilla:** Son partículas que están estrechamente empaquetadas entre si con muy poco o en ocasiones ningún espacio aéreo. Específicamente presenta la propiedad particular de volverse plástica al entra en contacto con el agua. La arcilla es la partícula más pequeña entre los dos tipos de suelo (arena y limo) con una granulometría menor a 0.005 m, la principal cualidad es el almacenamiento de agua lo que produce que la humedad y al aire no penetren fácilmente en él.



Figura 1. Clasificación de los principales tipos de suelos

3.1.2. Proceso Productivo de la Minería

El proceso productivo de una minera presenta varias etapas, que van desde la exploración, minado, extracción, carguío, acarreo, transporte, chancado, molienda, separación, concentración, refinación, transporte entre otros.

Son diferentes etapas que se intervienen para hacer la transformación del mineral de interés para su comercialización, sin embargo, el presente trabajo da mayor énfasis en la etapa de carguío y acarreo ya que son fuentes de mayor producción de supresión de polvos.

Carguío, acarreo y transporte

El Carguío y Transporte es una operación unitaria de gran importancia que está estrechamente vinculada, por lo que su análisis y dimensionamiento es crucial. Para ello, se debe considerar ambas operaciones como un conjunto, ya que están directamente relacionadas. Es necesario realizar un análisis exhaustivo de diferentes combinaciones de equipos que sean compatibles entre sí y también adecuados para la operación. La Figura 2 ilustra esta relación.



Figura 2. Equipos de Carguío y Transporte de la unidad minera

En la presenta minera, realizan el carguío del material fragmentado y lo depositan en camiones que transportan a distintas áreas como el tratamiento del mineral, el lixiviado o desmonte. El carguío se realiza con palas eléctricas PyH y palas hidráulicas CAT con capacidades nominales de cuchara desde 44.5 yd³ a 80 yd³ y carga útil nominal de 50 TM a 81.8 TM, Figura 3, así como un Cargador Frontal Letourneau L2350

- 1 CAT 6060 (44.5 yd³ 50 TM)
- 2 CAT 7495 (80 yd³ 81.8 TM)
- 3 PyH 4100XPC (64 yd³ 70 TM)
- 4 PyH 4100XPC (64 yd³ 70 TM)
- 13 CAT 6060 (44.5 yd³ 50 TM)



Figura 3. Pala Eléctrica #4 PyH 4100XPC.

Aproximadamente se realiza en transporte del material de 190 000 tn/día de todo el material dentro del cual esta segmentado por 130 000 tn/día de desmonte y otros, un aproximado de 40 000 y 20 000 tn/día de mineral de alta y baja ley respectivamente. Para el transporte y acarreo se utilizan camiones de diversos modelos entre los cuales se tiene:

- Komatsu 930 E (276 yd³ 300 TM)
- Caterpillar 793F (250 yd³ 280 TM)
- Caterpillar 797F (350 yd³ 390 TM)

Capacidades desde 276 yd³ hasta 350 yd³ y carga útil nominal varía desde las 300 TM a 390 TM, Figura 4



Figura 4. Flota de Camiones mineros Komatsu y características 930 E y CAT 797.

3.1.3. Clasificación de las vías de transporte

Debido que hay una extensión entre el material extraído y la unidad concentradora de más de 5 Km se emplea maquinarias para transportar dicho mineral el cual presenta dos tipos: vías auxiliares y vías de acarreo.

Vías auxiliares:

Este tipo de vías son construidas para utilizarse como caminos secundarios y de esta forma facilitar el acceso y la movilidad dentro del sitio minero, aun al ser de menor prioridad asegurar el correcto funcionamiento permite una operación eficiente de la minera ya que tiene propósitos específicos (Figura 5), como es el caso para el transporte interno de vehículos ligeros, caminos a planta de procesamiento, vías a talleres y almacenes de servicio necesario para el mantenimiento de equipos y más aún importante vías de evacuación, las cuales son rutas designadas para evacuar rápidamente a una área de emergencia designada. Al ser rutas auxiliares el transporte es básicamente de menor peso, razón por la cual no es necesario realizar mantenimientos reiterativos. No obstante, si se requiere de riegos para esta forma mitigar el polvo.



Figura 5. Vías auxiliares de la unidad minera

Vías de acarreo

Es el tipo de vía principal en la minería ya que están diseñados para el transporte eficiente de mineral extraído de interés desde que se encuentra en las áreas de explotación hasta las áreas de procesamiento y concentración del mineral, es importante detallar que este tipo de vías son un componente crucial y crítico en la logística minera debido que el transporte constituye un costo operativo importante al emplear un mantenimiento continuo, uso de maquinarias pesadas y grandes cantidades

de agua. El diseño de estas vías de acarreo toma en cuenta la topografía del terreno, la eficacia operativa es decir buscar optimizar y reducir las distancias y tiempos de transporte para reducir los costos operativos y sobre todo la capacidad de carga de los vehículos pesados de transporte, por ejemplo un camión mineros a todoterreno con capacidad de transporte de hasta 360 ton presenta dimensiones aproximadas de 50, 30 y más de 21 pies de largo, ancho y altura respectivamente , como se representa en la Figura 6.



Figura 6. Maquinaria Pesada para el transporte del mineral

Ya que las vías de acarreo generalmente se encuentran sometidas a un uso intensivo y están expuesto a condiciones extremas de carga se debe realizar un mantenimiento regular y periódico para de esta forma asegurar la seguridad, la eficiencia del transporte, pero sobre el cuidado ambiental por los impactos producidos asociado a emisión de partículas de polvo, para minimizar la contaminación por polvo,

la aspersión de agua en las carreteras de transporte es muy necesario (Lewis & Rosales, 2020)

Descripción de rampas mineras

Son sistemas que sirven de acceso y salida de una superficie a otro nivel para equipos pesado, pueden ser construidas de diferentes formas entre elípticas, circulares, zigzag, en ocho o rectas. La mayoría de empresas mineras a cielo abierto utilizan sistemas de rampas de forma zigzag (Figura 7). Donde la construcción empieza generalmente desde la superficie y de forma paralelo de la zona mineralizada y así también la longitud de la rampa está en función de la longitud de la veta, la construcción está conformada mayoritariamente con material estéril, rocas duras, grava, arena que deben ser competentes a la calidad y dureza para la resistencia a la maquinaria pesada. En la mayoría de casos la inclinación está en el rango de 8 a 12%, sin embargo, se ha determinado una pendiente recomendada de 10% es la más óptima y eficiente para transporte de maquinaria pesada



Figura 7. Configuración de rampas en Zig Zag de la unidad minera

3.1.4. Polvo

La RAE define al polvo con distintos criterios de observación desde que el polvo es la parte más menuda y deshecha de la tierra muy seca y que con cualquier acción se levanta en el aire o también como un conjunto de partículas sólidas que flotan en aire y se posan sobre los objetos (Sánchez y Escribano, 1940). Concretamente en el caso de estudio se describe al polvo como partículas pequeñas llevadas por una corriente de aire, donde la formación generalmente se da por la desintegración o fractura de materiales sólidos.

El tamaño de las partículas es igual de importante que la naturaleza del polvo a la hora de establecer si es peligroso. En general, los tipos más peligrosos de polvos

son aquellos con partículas muy pequeñas que no son perceptibles a simple vista, como sucede con los polvos finos. Estos tipos de partículas son lo bastante pequeñas para ser inhaladas, pero, al mismo tiempo, lo bastante grandes para quedar atrapadas en el tejido pulmonar y no ser exhaladas. De acuerdo al tamaño de la partícula suspendida se clasifican en 2 categorías primarias:

a) Polvo inhalable (PM10):

Se define como la fracción de polvo que puede ingresar al cuerpo, sin embargo, es atrapado en la nariz, vías respiratorias superiores o la garganta. El diámetro medio de esta partícula es aproximadamente de 10 μm .

b) Polvo respirable:

Descrito como partículas demasiado pequeñas capaces de penetrar la nariz y profundamente los pulmones, dichas partículas presentan mayor probabilidad de ser conservado en el organismo.

Polvo en mina

El control del polvo en proyectos mineros es fundamental para garantizar una mejor calidad de vida para los trabajadores, operadores y comunidades circundantes. Este aspecto adquiere especial relevancia no solo por razones de salud, al prevenir enfermedades respiratorias, pulmonares y oculares, sino también por su impacto en la seguridad y bienestar general. Diversas soluciones se han desarrollado para abordar de manera efectiva este desafío, incluyendo servicios integrales de control de polvo, mantenimiento de caminos y monitoreo ambiental.

El polvo, generado por diversas fuentes, es tan inherente a las operaciones mineras como la maquinaria utilizada. Uno de los desafíos continuos se relaciona con el control de este elemento, especialmente en los caminos internos de la mina, por donde transitan vehículos de alto tonelaje cargados con material y otros más pequeños. Dada la relevancia para la salud y la seguridad, las empresas mineras han intensificado sus esfuerzos en el control del polvo.

Esto no solo reduce los riesgos de enfermedades respiratorias y mejora la visibilidad en los caminos, brindando mayor seguridad a los vehículos, sino que también demuestra consideración hacia las comunidades cercanas, que pueden verse

afectadas por el polvo en los caminos de acceso o levantado por el viento desde las laderas de los cerros.

Fuentes de emisión de polvo

La perforación, voladura, palas, extracción de mineral, descarga de mineral, trituración, cribado, transporte y carga en el proceso de producción de minas de metal producen una gran cantidad de polvo (Lewis & Rosales, 2020) . A continuación, se describe el proceso de generación de polvo en algunos procesos de operación:

Cuando las operaciones de perforación se llevan a cabo en paradas y carreteras de minas de metal, las brocas de perforación de roca rotativa de alta velocidad acompañadas de aire a alta presión realizan la desintegración de la roca. El mineral triturado y produce una gran cantidad de polvo bajo el impacto de la vibración y la fricción severa de la broca. El polvo sopla bajo la acción del flujo de aire.

El polvo de gran tamaño se asienta gradualmente por gravedad, y el polvo de pequeño tamaño se difunde cerca del ambiente de trabajo después de ser descargado.

- Operación de voladura:

Para las minas de metal, la mayor parte del polvo se produjo durante las operaciones de voladura. El polvo producido por la operación de voladura incluye principalmente dos aspectos. Por un lado, el polvo generado después de la trituración del mineral se descompone bajo la acción de la onda de choque, lo que forman partículas de polvo con alta dispersión y pueden permanecer cerca de ambiente de trabajo de la operación de voladura durante mucho tiempo. Por otro lado, el polvo se puede acumular en la pared de la roca y la superficie del suelo, lo que agrava más aun la contaminación por polvo durante la operación de voladura.

- Operación de carga:

En el proceso de carga y transporte del mineral producido después de la voladura, el polvo del montón de escoria, la pared de roca, y la superficie se levanta nuevamente debido a la carga de la pala del cargador, el cubo de descarga y el transporte del camión. Y la pequeña partícula de polvo asentada flota nuevamente en el aire, causando contaminación secundaria.

- Operación de descarga:

En el proceso de descarga de mineral, el mineral colisiona y se aplasta entre sí durante el proceso de caída para producir un nuevo polvo e impactar el flujo de aire debido a la existencia de la gota. El polvo mineral con pequeño tamaño de partícula y peso ligero se eleva por el flujo de aire de impacto.

- Operación de transporte:

Bajo la acción de la carga del camión de transporte, el suelo en la superficie de la carretera de transporte de la mina de metal se rompe para formar polvo blando. Además, la rotación de la rueda se frota contra el suelo, haciendo que la carga del ancla del polvo alcance la fuerza de anclaje límite. El polvo en la superficie de la carretera se refina aún más bajo la acción de la fricción de corte, y el polvo se separa de la superficie de la carretera por la acción del flujo de aire inducido.

Además, debe tenerse en cuenta que la condición de ventilación (modo de ventilación, volumen de aire y velocidad del viento) en los sitios productores de polvo estaba relacionada con la concentración de polvo en las minas. Por ejemplo, cuando el flujo de aire en una mina con ventilación por zonificación es suficiente y la velocidad del viento es apropiada, la concentración de polvo disminuirá. Cuando se usa ventilación en serie, el aire polvoriento y sucio entra en el siguiente lugar de trabajo. La velocidad del viento relativamente baja y el volumen de aire insuficiente pueden conducir a un aumento correspondiente en la concentración de polvo. Además, muchas minas están ubicadas en áreas con ambientes relativamente duros, lo que resulta en que la mina está lejos de los ejes de aire. Debido a la influencia de la ventilación de presión negativa durante la minería, el aire contaminado entra en el subsuelo y la concentración de polvo aumentaría aún más.

Impacto de la generación de polvo

- Enfermedades ocasionadas por inhalación de polvo

La exposición ocupacional sigue siendo un contribuyente significativo al peligro para la salud de los mineros. El ambiente de trabajo en una mina se asocia con diversos riesgos para la salud debido a diferentes tipos de polvos y humos peligrosos, mala iluminación, alta temperatura y humedad, ruido y vibración (World Health Organization, 1999). Los polvos se identifican como un componente importante responsable de causar enfermedades respiratorias, como la silicosis, un peligro

prominente para la salud ocupacional en las minas (Occupational Safety and Health Administration, 2010)

La exposición de los mineros a partículas respirables es un peligro significativo para la salud, tanto a largo como a corto plazo, que afecta la salud de los mineros, ha sido clasificado como carcinógeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (Ping & Guang, 2017)

- Impactos en la piel

El polvo de sílice es de naturaleza abrasiva y causa sequedad de la piel, lo que lleva a la dermatitis de contacto. La adsorción de la piel ocurre cuando el polvo soluble con sudor humano penetra a través de la piel hasta el torrente sanguíneo causando intoxicación sistémica.

- Impactos debido a la inhalación de polvo

Los efectos nocivos para la salud de la exposición por inhalación de polvo en el aire en el lugar de trabajo pueden ser notables, que incluso progresan después de que se detiene la exposición. A veces, puede pasarse por alto como una enfermedad no ocupacional por error (Leung et al., 2012).

La forma más común de disfunción pulmonar observada entre los mineros que trabajan tanto en minas subterráneas como superficiales debido a la inhalación de polvo es la neumoconiosis. La neumoconiosis es el término genérico utilizado para las enfermedades pulmonares que ocurren debido a la exposición al polvo mineral. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la neumoconiosis se refiere a la acumulación de polvo en los pulmones y los tejidos' reacción a la misma. Específicamente, la neumoconiosis causada por la inhalación de sílice cristalina libre, asbesto, talco, mica, hierro, estaño, bario y aluminio los polvos minerales se denominan silicosis, asbestosis, talcosis, micatosis, siderosis, estannosis, baritosis y aluminosis, respectivamente (Leung et al., 2012)

La sílice cristalina se ha clasificado como un carcinógeno ocupacional potencial. A pesar de la amplia conciencia sobre la prevención de la silicosis, sigue siendo un problema común entre los mineros en los países en desarrollo. No hay cura

para la silicosis (Occupational Safety and Health Administration, 2010) y por lo tanto, las muertes ocurren en la industria minera cada año debido a esto.

La vigilancia de la salud de los mineros para detectar la silicosis en una etapa temprana es imprescindible. La silicosis se diagnostica principalmente en función de la combinación de historial de exposición ocupacional, examen físico, radiografía de tórax, espirometría y sintomatología clínica (Jindal, 2013). Los síntomas de la silicosis pueden incluir irritación en el pecho, dificultad para respirar, tos, fiebre, fatiga y pérdida de peso asociada con tuberculosis y cáncer de pulmón, dependiendo de la forma de silicosis. La Figura 8 muestra las radiografías y fotos de pulmón normal, silicosis simple y silicosis complicada.

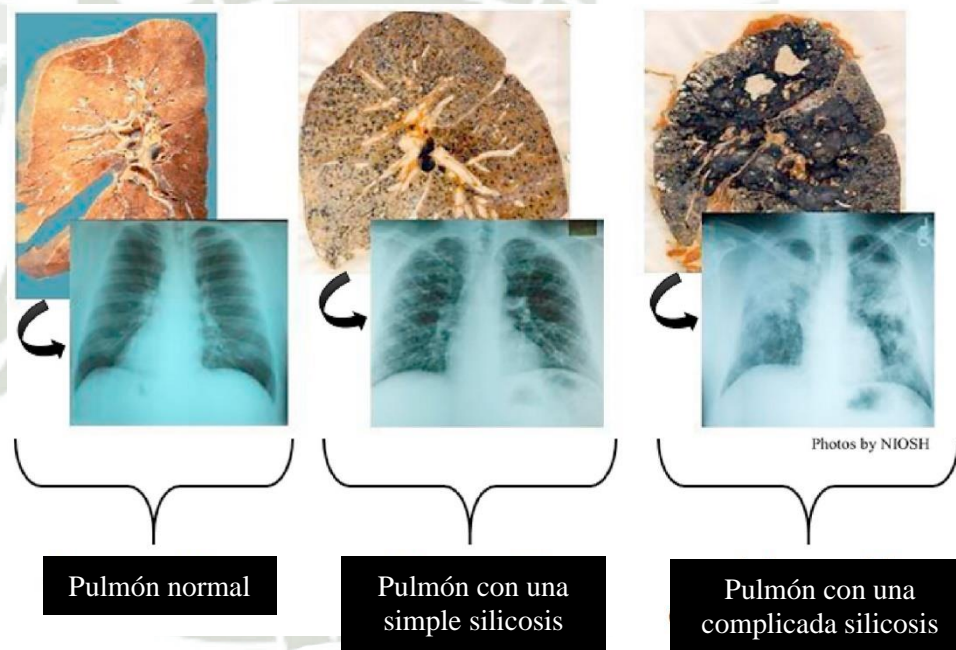


Figura 8. Impactos en el pulmón (silicosis) por la inhalación de polvo

No existe un tratamiento específico o efectivo para detener o revertir la progresión de la silicosis y, por lo tanto, limitar la exposición al polvo de sílice podría evitar el empeoramiento de la enfermedad. El tratamiento de la silicosis incluye el uso de broncodilatador, aunque los médicos recomiendan vacunas para prevenir infecciones respiratorias (Leung et al., 2012)

- Impacto del polvo en las operaciones mineras

Aparte de efectos adversos para la salud, el efecto corrosivo de partículas de polvo reduce la vida de lubricantes utilizado en maquinarias de movimiento de tierras

pesadas y, a su vez, aumenta su costo de mantenimiento debido al desgaste excesivo y fracaso prematuro de los componentes de la máquina (Pandey, 2012). Además, el polvoriento entorno de la mina subterránea afecta muchos de los sistemas eléctricos utilizado en operaciones mineras autónomas (Gustafson et al., 2017). Por lo tanto, es importante eliminar o suprimir los polvos de la mina a un nivel más seguro para mantener un ambiente de trabajo seguro y productivo en la minería

- a. La visibilidad de los conductores se ve comprometida al anochecer debido a la presencia de nubes de polvo en suspensión, incrementando el riesgo de accidentes de tráfico.
- b. Las partículas finas generadas por la acción de las ruedas de los vehículos en movimiento en los caminos se convierten en polvo, liberándose al entorno y generando pérdidas económicas para la gestión de las vías.
- c. El material particulado fino puede tener propiedades abrasivas, lo que conlleva un desgaste significativo de las piezas móviles de los vehículos.
- d. Las partículas de polvo, generadas por las precipitaciones, se limpian al depositarse en ríos, arroyos y lagos, aumentando la turbidez de dichos cuerpos de agua.
- e. El material particulado tiene la capacidad de desplazarse a distancias considerables, penetrando en viviendas y cubriendo cultivos.
- f. El polvo impacta negativamente en la salud de las personas, causando enfermedades respiratorias, alergias y sirviendo como vehículo para la propagación de otras enfermedades.

3.1.5. Métodos de mitigación

Los métodos actuales para tratar la contaminación por polvo se dividen principalmente en dos tipos, a saber, métodos físicos y métodos químicos, resumiendo el contenido de manera más completa e introduciendo cada contenido de investigación en detalle. Como se muestra en la Figura 9, estos métodos físicos se pueden dividir en atomización por aire, atomización ultrasónica, agua magnetizada y carga de agua nebulizada para mejorar el rendimiento de reducción de polvo. Además, los métodos químicos incluyen supresores de polvo monofásicos preparados y espuma supresora de polvo de fase mixta.



Figura 9. Métodos Físicos y Químicos para la supresión de polvos.

Métodos Físicos:

El método físico es mejorar la capacidad de capturar polvo para agua sin agregar solutos. Comparado con los métodos químicos de adición de agentes químicos, este método tiene ventajas significativas de protección ambiental. El spray es una de las tecnologías de control de polvo más comunes durante el proceso de producción industrial. El agua se rocía a alta velocidad desde la boquilla y luego el líquido se descompone para formar gotas de niebla. Este método tiene las ventajas de bajo costo, instalación simple y buena flexibilidad (Liu et al., 2019). Sin embargo, el rociado tradicional tiene un efecto de atomización deficiente debido al límite de la presión del agua y tiene una baja eficiencia de reducción de polvo, particularmente en polvo respirable (Nie et al., 2016; H. Wang et al., 2018a)

Por lo tanto, académicos de todo el mundo han introducido la electricidad, el magnetismo y el sonido en las tecnologías de reducción de polvo por aspersión para mejorar el efecto de reducción del polvo por aspersión, y han obtenido muchos resultados con atomización por aire, atomización ultrasónica, agua magnetizada y agua nebulizada cargada. Como se muestra en la Figura 10, los métodos físicos se pueden dividir en atomización por aire, atomización ultrasónica, agua cargada con neblina de agua y agua magnetizada. Hay diferencias en la estructura de las cuatro boquillas, y la figura muestra cómo la electricidad y los campos magnéticos mejoran el rendimiento del agua.

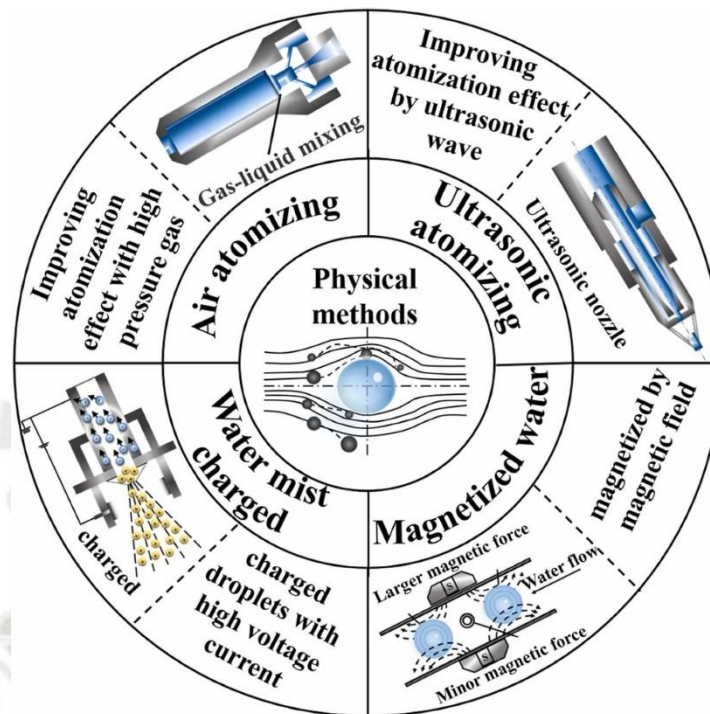


Figura 10. Clasificación de los métodos físicos

Métodos Químicos

Los métodos químicos aumentan la capacidad de capturar y humedecer las partículas de polvo mediante la adición de reactivos químicos. Según sus características, se pueden dividir en supresores de polvo con fase líquida única y espuma supresora de polvo con fase mixta gas-líquido, como se muestra en la Figura 11. Los supresores de polvo de un solo líquido incluyen cuatro tipos de humectación, unión, condensación y compuesto (Wei et al., 2020). Debido a que la mayoría del polvo se caracteriza por la hidrofobicidad, es necesario aumentar la humectabilidad del agua o cambiar la hidrofobicidad del polvo con agentes químicos (Fan et al., 2018).

En la figura 11, es fácil ver que estas moléculas activas están en las interfaces gas-líquido y sólido-líquido, y luego el polvo se humedecerá, se unirá y se asentará. Como espuma de supresión de polvo de fase mixta gas-líquido, con la ayuda de la formación de espuma para empujar el aire a la solución, la espuma de supresión de polvo mezclada de gas-líquido se puede ver como agregados de burbujas separados por la película líquida (Mingyue et al., 2020; H. Wang et al., 2018b; J. Wang et al., 2019).

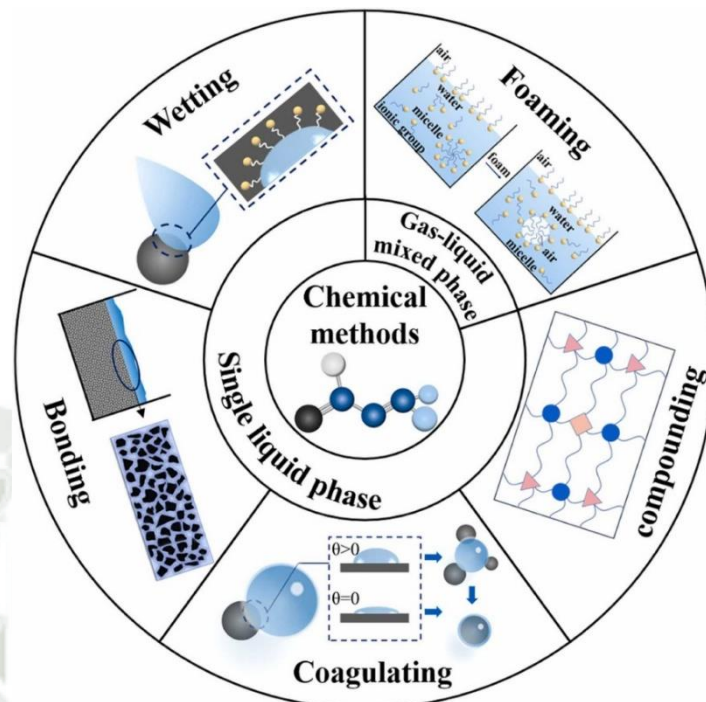


Figura 11. Clasificación de métodos químicos

Para la mitigación de polvo, como anteriormente se describe la eliminación se pueden hacer por dos vías tanto físicas y químicas, para este estudio el interés es la aplicación de sustancias químicas “supresores”.

3.1.6. Supresores de polvo

El supresor de polvo es un método eficaz para suprimir el levantamiento secundario de polvo en minas de metal. Está compuesto por dos grupos funcionales diferentes, hidrofílico e hidrofóbico. Al cambiar la tensión superficial del agua y las propiedades fisicoquímicas del polvo, se mejora la capacidad de humectación de la solución a partículas sólidas, especialmente partículas finas. Donde se debe de agregar el supresor de polvo al agua, el grupo hidrofílico se disuelve rápidamente en el agua, mientras que el grupo hidrofóbico se repela y descarga en el aire.

La formación de una capa de adsorción interfacial en la superficie gas-líquido cambia el estado de contacto de la interfaz gas-líquido, reduciendo así la tensión superficial del líquido. Mientras tanto, el grupo hidrofóbico es atraído por partículas sólidas. Así, cuando las moléculas de agua entran en contacto con moléculas sólidas, el grupo hidrófobo y las partículas sólidas, así como el grupo hidrófilo y la solución, formaran una encapsulación de partículas de polvo, haciéndolos más fáciles de mojar.

Tipos de supresores de polvo

De acuerdo con diferentes mecanismos, los supresores de polvo se pueden dividir en tipo húmedo, tipo adhesivo, tipo de condensación y tipo compuesto.

Tabla 1. Clasificación de los tipos de supresores

| Tipo de supresores de polvo. | Ventajas de los supresores de polvo. | Desventajas de los supresores de polvo. |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo húmedo | Los supresores de polvo de tipo húmedo pueden suprimir eficazmente el micro polvo hidrofóbico y mejorar la eficiencia del agua en la captura de polvo. | Tiempos de supresión del polvo muy cortos, entre periodos de 5 a 10 días, por lo que se requiere aplicaciones repetidas para la supresión de polvo. Además, presenta resistencia a la intemperie muy baja |
| Tipo adhesivo | Las principales materias primas de los supresores de polvo de tipo adhesivo son la utilización de residuos. Puede unir efectivamente el polvo. El período de supresión de polvo esta entre 15 a 30 días. | Existen muy pocas materias primas para la utilización y fabricación de supresores de polvo. Presenta una permeabilidad muy baja, como también hay evidencias que este tipo se adhiere fácilmente a los neumáticos de la maquinaria pesada y removiendo dicha capa lo que reduce el efecto de supresión del polvo. Se manifiesta también la presencia de un olor irritante que puede ser perjudicial para la salud humana y la contaminación ambiental |
| Tipo de condensación | Los supresores de polvo de tipo condensador pueden dotar al polvo de propiedades de absorción de humedad y retención de agua y pueden agregar polvo. El período máximo de supresión de polvo puede ser de más de 45 días. Tiene una función anticongelante. Por lo tanto, se puede utilizar en regiones frías. | Presenta baja estabilidad y fuerte corrosividad, no es adecuado para zonas lluviosas y del tránsito de varios vehículos. Otra limitación, son los costos elevados de aplicación debido a una complicada preparación del aditivo |
| Tipo compuesto | Los supresores de polvo de tipo compuesto tienen las ventajas de humedecer, unir y coagular con un largo período de supresión de polvo y un buen valor socioeconómico | El proceso de aplicación de este tipo es complejo y de elevados costos, razón por la cual la aplicación es limitada |

Así también los supresores de polvo se pueden clasificar de acuerdo a su composición química se tienen sales y cloruros, sustancias orgánicas no bituminosas, sustancias bituminosas.

- Sales y cloruros

Las sales más comúnmente utilizadas incluyen el cloruro de magnesio ($MgCl_2$) y el cloruro de calcio ($CaCl_2$). Estas sustancias tienen la capacidad de suprimir el polvo al atraer la humedad del entorno. A diferencia del cloruro de sodio ($NaCl$), que tiene una limitada capacidad para absorber agua (solo lo hace cuando la humedad supera el 75%), el cloruro de calcio muestra una capacidad de absorción de humedad que varía según la humedad relativa y la temperatura circundante. Es especialmente efectivo en áreas con alta humedad y bajas temperaturas, comenzando a absorber agua al 29% de humedad relativa a 25 °C y al 20% a 38 °C.

Por otro lado, el cloruro de magnesio incrementa la tensión superficial y genera una superficie más resistente que el cloruro de sodio al secarse. No obstante, requiere un mínimo del 32% de humedad para absorber agua del ambiente, independientemente de la temperatura, lo que resulta en una superficie inestable en presencia de agua. En comparación con el agua, se considera que las sales son más efectivas en el control del polvo.

- Sustancias orgánicas no bituminosas

Los lignosulfonatos desempeñan el papel de aglutinantes al unir las partículas del suelo entre sí, conservando la plasticidad y facilitando la compactación en caminos con elevado contenido de arcilla. Sin embargo, su eficacia y superficie pueden disminuir o desaparecer completamente en situaciones de lluvia, ya que estos productos son solubles en agua y tienden a escurrir, sin lograr establecer una superficie repelente al agua.

Por otro lado, los aceites vegetales, que son generalmente una combinación de glicéridos derivados de semillas y/o frutos como la canola, soya o semilla de algodón, tienen la capacidad de aglomerar las partículas del suelo, formando una capa superficial suave. No obstante, su eficiencia es de corta duración. Las melazas o productos obtenidos de la caña de azúcar también pueden unir temporalmente las partículas del suelo, pero para mantener este efecto se requieren aplicaciones

frecuentes, especialmente porque son solubles en agua. Además, la eficacia de este producto se ve afectada por la humedad ambiental y la presencia de lluvia.

- Sustancias bituminosas

Dentro de esta categoría se encuentran los asfaltos cortados y las emulsiones asfálticas, entre otros productos similares. Estos materiales aglomeran partículas finas, generando habitualmente una superficie que retiene las partículas del suelo en su lugar. Proporcionan una respuesta eficaz al encapsular y estabilizar la superficie de rodado, logrando propiedades de visibilidad y seguridad comparables a las de los caminos asfaltados.

En condiciones adecuadas de suelo y material de relleno, esta solución tiene la capacidad de mantener estabilizado y encapsulado un camino para vehículos livianos durante más de un año. Son productos altamente resistentes, no solubles en agua y no presentan evaporación. Por lo general, resisten el desgaste del rodado y tienen un alto punto de tensión de rotura, transmitiendo la fortaleza desde la base hasta la superficie.

Algunas emulsiones asfálticas se complementan con aglomerantes y emulsificantes, que son componentes clave para su eficacia al evitar la lixiviación del agente bituminoso, ya que distintos tipos de suelo no compactan de la misma manera. Las emulsiones con un alto contenido bituminoso (superior al 50%) forman una capa altamente resistente a la carga y al rodado, con gran adherencia e impermeabilidad al agua, y no resultan resbaladizas en presencia de humedad.

- Sustancias sintéticas

Las características adhesivas de los polímeros sintéticos favorecen la unión de las partículas del suelo. Estos polímeros tienen la capacidad de fortalecer la superficie del camino, incrementando la tensión de rotura hasta en 10 veces, lo que permite mantener su densidad compactada en condiciones de clima seco. Sin embargo, muestran tendencia a fallos cuando se encuentran en presencia de agua, neblina o temperaturas bajo cero, ya que se congelan o resquebrajan debido a la falta de flexibilidad.

A pesar de que los polímeros compactan de manera eficiente, no logran prevenir la generación de polvo, ya que la superficie saturada donde han sido aplicados tiende a propiciar este efecto.

- Sustancias biológicas y biodegradables

En los últimos años, se están desarrollando supresores de polvos de nano películas de origen biológico de contaminación no tóxico, no irritante, biodegradable y no secundario que presenta una eficiencia de desempolvado del >95%.

En comparación con otras materias primas químicas supresoras de polvo tradicionales, los supresores de polvo biológicos tienen natural biodegradabilidad, protección del medio ambiente verde, y cumplió con los requisitos ambientales. Mientras tanto, las materias primas de los supresores biológicos del polvo eran recursos renovables con una amplia gama de fuentes y eran fáciles de obtener. Puede reducir en gran medida el costo de producción de los supresores de polvo y lograr buenos efectos de supresión de polvo. Por lo tanto, los supresores de polvo biológicos se consideraron la dirección principal de la investigación futura sobre supresores de polvo ecológicos.

A continuación, se describe en la Tabla 2 las ventajas y desventajas de los tipos de supresores de acuerdo a su composición química.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los diferentes supresores de polvo

| Tipo de supresores de polvo. | Desventajas de los supresores de polvo a nivel operacional. |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sales y cloruros (Cloruro de Magnesio) | La adición de este tipo de supresores modifica el pH y aumenta la salinidad de la solución del aditivo, por lo tanto, se pueden presentar problemas en la corrosión de la maquinaria pesada y como la infraestructura física. Presentan propiedades higroscópicas elevadas por lo que ocasionales superficies resbaladizas y estas pueden afectar en la seguridad del tránsito de vehículos. De otro lado produce la sequedad de los revestimientos de equipos como caucho, gomas entre otros. |
| Sustancias no bituminosas (Lignosulfonato) | Se requiere condiciones de baja humedad y presencia de temperaturas altas para que este sea efectivo. En algunas ocasiones puede producir lanchas en los equipos y vehículos durante la aplicación. |
| Sustancias no bituminosas (Aceite vegetales) | La aplicación de este tipo de supresores evitar la impermeabilización de los caminos mineros y por lo tanto en muchas ocasiones se logran eliminar con la presencia del agua |

| | |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sustancias bituminosas (Emulsión asfáltica) | Presentan una buena eficacia en contraste con los otros tipos de supresores. Sin embargo, producen alta resistencias de los caminos, y en consecuencia resistencia en los neumáticos de la maquinaria pesada. Puede presentar algunas manchas durante su aplicación |
| Sustancias sintéticas (Polímeros) | Cuando se aplica este tipo de supresores la circulación de los equipos y vehículos no puede ser inmediata, se debe esperar un tiempo para que la aplicación sea eficaz |
| Sustancias biológicas | No es apto para la aplicación de todo tipo de carreteras y el periodo de supresión de polvo es muy corto, aproximadamente 8 días por lo que se requiere ciclos de aplicación mayores |

3.1.7. Supresores aplicados en la minera

H14

- Descripción

H14 es un sistema supresor para la estabilización funcional y supresión de polvo en rampas y caminos mineros. Se compone de una emulsión asfáltica modificada, sales y surfactantes. El diseño de la mezcla de asfalto y el resto de sus componentes varía según la necesidad de cada proyecto: tipo de suelo, tipo de tránsito, geografía, topografía y situación climática.

- Propiedades Físicoquímicas

Tabla 3. *Propiedades Físicoquímica del supresor H14*

| Propiedades Físicoquímicas H14 | |
|--------------------------------|--------------------------|
| Estado físico | Líquido |
| Textura | Fluido levemente viscoso |
| Olor | Leve |
| Color | Café oscuro |
| Temperatura de ebullición | 150 °C |
| Temperatura de congelación | -25 °C |
| Presión de vapor a 20°C | No determinado |
| Densidad a 20°C | 1.20 g/mL ± 0.05 |
| Solubilidad | Soluble en agua |
| Punto de inflamación | No es relevante |
| Temperatura de autoignición | No determinado |
| Peligros de explosión | No presenta a CN |

- Composición química

Tabla 4. *Composición química del supresor H14*

| Denominación química sistémica | Nombre genérico | Numero CAS | % en Peso |
|--------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| Dihidruro de hidrógeno | Agua | 7732-18-5 | 75-85% |
| Emulsión Asfáltica | Emulsión asfáltica | 8052-42-4 | 1-5% |
| Surfactante | Surfactante | 151-21-3 | <1.5% |
| Acido o Base | Regulador de pH | 7647-01-0 | 0.5-1.5% |

- Características

Es adherente e hidratante de las partículas del suelo tratado, manteniendo la humedad óptima, no siendo necesario realizar riegos posteriores de agua.

Endurece la superficie evitando daños inducidos por tracción superficial, aumentando la vida útil del camino.

Es de curado rápido y no es necesario interrumpir el tránsito durante su aplicación.

Funciona en suelos plásticos y no plásticos.

Se puede modificar su estructura para resistir precipitaciones en caminos con un adecuado diseño geométrico.

Resiste tránsito frecuente y/o con carga pesada.

En presencia de lloviznas y/o garuas, disminuye la posibilidad de resbalamiento (derrape) comparado con la estabilización usando sales (ejemplo: calcio, sodio, etc.)

Cumplimiento normativo: o Toxicidad:

- Cumple Test TCLP – método EPA 1311
- Reactividad: Cumple Método EPA 1001 y 1002
- Corrosividad: Cumple Método EPA 1110 A. Clasificación No Corrosivo

DUSTEX FL 875

- Descripción

El supresor Dustex FL 875, es un polímero natural, derivado de la lignina, aglutinante de las fibras de la madera, es un producto sostenible y ecológico. Dustex es

un producto líquido y soluble en agua, por sus propiedades de adherencia y tensoactivas, une las partículas del suelo reduciendo el polvo generado, penetra fácilmente y mejora la humectación, creando una carpeta firme y resistente a la tracción. Es efectivo para diversos tipos de suelos y materiales agregados, vías con inclinación y con alto tráfico pesado.

- Propiedades Fisicoquímicas

Tabla 5. *Propiedades Fisicoquímica del supresor Dustex FL 875*

| Propiedades Fisicoquímicas Dustex FL875 | |
|------------------------------------------------|-----------------|
| Estado físico | Líquido |
| Olor | Suave |
| Color | Color marrón |
| Presión de vapor a 20°C | 14.2 mmHg |
| Densidad a 20°C | 1.220 ± 0.1 |
| Viscosidad | < 600 cSt |
| pH (solución para uso) | pH 4.0 - 6.5 |
| Temperatura de ebullición | 104 °C |
| Tasa de evaporación | 0.4 |
| Solubilidad | Hidrosoluble |
| Punto de inflamación | No es relevante |
| Temperatura de autoignición | No determinado |
| Peligros de explosión | No determinado |

- Composición química

Tabla 6. *Composición química del supresor Dustex FL875*

| Denominación química sistémica | Nombre genérico | Numero CAS | % en Peso |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| Dihidruro de hidrógeno | Agua | 7732-18-5 | 51% |
| Ácido lignosulfónico | Sal de amonio | 8061-53-8 | 49% |

- Características

Polímero 100% orgánico, no tóxico y es biodegradable.

Incrementa la visibilidad del camino disminuyendo el polvo.

Reduce el consumo de agua utilizado en los riegos.

Forma un suelo estable y contribuye a reducir los costos de mantenimiento de los caminos.

No es corrosivo.

De fácil aplicación y manipulación.

Mejora el rendimiento medioambiental y de seguridad de la empresa.

BIVESOIL

- Descripción

Es un producto desarrollado a partir de una mezcla de bitúmenes, y esteres vegetales emulsionados más aditivos que le confieren una alta penetración, para darle la mayor durabilidad frente al desgaste producido por el tráfico vehicular y de camiones; esta formulación presenta la particularidad de que es insoluble en agua después de ser aplicado, actúa por la formación de una carpeta superficial que mantiene aglutinado los finos de la carpeta de rodado granular.

- Propiedades Físicoquímicas

Tabla 7. *Propiedades Físicoquímica del supresor Bivesoil*

| Propiedades Físicoquímicas Bivesoil | |
|--------------------------------------------|------------------------|
| Estado físico | Líquido |
| Textura | Líquido viscoso |
| Olor | Suave |
| Color | Color marrón |
| Temperatura de ebullición | No determinado |
| Presión de vapor a 20°C | No determinado |
| Densidad a 20°C | 1.05 ± 0.1 |
| pH de la solución al 10% | pH=7, neutro |
| Temperatura de ebullición | 100 °C |
| Solubilidad | Soluble antes de curar |
| Punto de inflamación | No es relevante |
| Temperatura de auto inflamación | > 280°C (residuo seco) |
| Temperatura de descomposición | > 300°C (residuo seco) |
| Peligros de explosión | No determinado |

- Composición química

Tabla 8. *Composición química del supresor Bivesoil*

| Denominación química sistémica | Nombre genérico | Numero CAS | % en Peso |
|--------------------------------|-------------------|------------|-----------|
| Dihidruo de hidrógeno | Agua | 7732-18-5 | 80-60% |
| Mezcla de bitumen | Mezcla de bitumen | 8052-42-4 | 10-30% |
| Esteres vegetales emulsionados | Esteres vegetales | - | 10-30% |
| Tensoactivos y emulsionantes | Estabilizantes | 7647-01-0 | <1% |

- Características

Mejora en la Salud ocupacional del personal (control de sílice y pm-2,5)

Aumento de las condiciones de seguridad por mejor visibilidad, y mayor velocidad de acarreo.

Disminución de las mantenciones con perfilado.

Ahorro efectivo de agua que puede ser usada con fines de producción.

Escasa interrupción de acarreo por acción del aljibe.

Menores deslizamientos por menor uso de agua en la supresión.

Disminución de fisuras en estructura de la carpeta por proceso de congelamiento de agua retenida dentro de la estructura.

Cumplimiento normativo: o Toxicidad:

- Cumple Test TCLP – método EPA 1311
- Reactividad: Cumple Método EPA 9010B y 9030B
- Corrosividad: Cumple Método EPA 1110 A. Clasificación No Corrosivo

EARTHBIND¹⁰⁰™

- Descripción

Earthbind¹⁰⁰™ es una emulsión asfáltica bituminosa modificada con una base de bio polímeros con una fórmula patentada y diseñada exclusivamente para el control de polvo y estabilización de suelos, totalmente amigable con el medio ambiente. Al ser una fórmula patentada, el porcentaje aproximado de cantidad bituminosa en los

componentes químicos en Earthbind es de aproximadamente el 40% del concentrado, el cual al ser diluido en agua va reduciendo ese porcentaje. Los betunes de Earthbind se consideran de naturaleza coloidal y no de aceites.

- Propiedades Fisicoquímicas

Tabla 9. *Propiedades Fisicoquímica del supresor Earthbind¹⁰⁰™*

| Propiedades Fisicoquímicas Earthbind ¹⁰⁰ ™ | |
|-------------------------------------------------------|----------------------|
| Estado físico | Líquido |
| Olor | Suave/melaza/asfalto |
| Color | Color marrón oscuro |
| Temperatura de ebullición | No determinado |
| Presión de vapor a 20°C | < 1 mmHg |
| Densidad a 20°C | 1.1 a 1.5 ± 0.1 |
| Viscosidad | 345-660 cSt |
| pH de la solución al 10% | pH=7, neutro |
| Temperatura de ebullición | 100 °C |
| Solubilidad | Completo |
| Temperatura de autoignición | No determinado |
| Peligros de explosión | No determinado |

- Composición química

Tabla 10. *Composición química del supresor Earthbind¹⁰⁰™*

| Denominación química sistémica | Nombre genérico | Numero CAS | % en Peso |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------|
| Dihidruro de hidrógeno | Agua | 7732-18-5 | 80-60% |
| Betún | Mezcla de bitumen | Propietario | 40-60% |
| Estabilizador | | Propietario | 5-30% |
| Emulsionante | | Propietario | Equilibrio |

- Características

La aplicación del supresor no requiere que el camino se encuentre regado y su aplicación no necesita el cierre de un camino.

El supresor aplicado no utiliza equipos especializados.

El supresor une las partículas de suelo y por lo tanto no requiere humedad ni riego adicional para funcionar.

La aplicación del supresor puede ser a una variedad de suelos.

Reduce la frecuencia de uso de camiones cisterna.

Reduce la nivelación y compactación.

Reduce el uso de agregados y movimiento de tierras.

Reduce las emisiones de polvo PM_{10} y $PM_{2.5}$.

3.1.8. Preparación de rampas mineras

La preparación de una rampa minera, el cual es un camino no pavimentado es una tarea esencial para conservar la ruta en óptimas condiciones. Es importante señalar que existen diversas metodologías para la reconstrucción de capas de rodado, pero la abordada en este caso específico se ajusta a las principales directrices del manual de carreteras de la minería y es la utilizada en el estudio en cuestión. La reconstrucción de la capa de rodado comprende una serie de actividades que se describirán a continuación.

Escarificado

La mezcla que se empleará para la reparación de la carpeta debe cumplir con la granulometría específica. Previo al escarificado, se debe aplicar una dosis de humedad entre el 10% y el 14% en peso sobre la carpeta, ya que el suelo contiene un nivel de sal añadida en procesos anteriores, lo que contribuye a mantener la superficie en una condición dura. Es esencial realizar un lavado y retirar todos los áridos cuyo tamaño sea mayor a 3". Finalmente, se llevará a cabo un escarificado con un espesor promedio de 10 cm.

Recebado

El material seleccionado se esparce en el área designada, al cual se le incorpora sal en una proporción que varía entre 8 y 12 kg/m², aproximadamente equivalente a 4 a 5 pasadas. Posteriormente, se procede a mezclar el material escarificado, los finos y la sal mediante 3 a 4 pasadas de lado a lado hasta lograr una completa homogeneidad. El exceso de material obtenido debe ser depositado siempre en el camellón. El camellón se mantiene a una altura no inferior a 80 cm, que corresponde a la mitad del diámetro de la rueda más grande utilizada en el camino.

Riego de agua y mezcla

La humedad ideal para la nueva mezcla es del 6%. Debe mezclarse hasta que la sal añadida se disuelva por completo, logrando una consistencia semiplástica que permita moldear el material con las manos y detectar humedad superficial. En caso de que falte humedad para alcanzar esta condición, se deben añadir cantidades controladas de agua hasta lograrlo.

Compactación

La mezcla previamente preparada se expande para alcanzar un espesor aproximado de 25 cm, el cual será reducido a unos 20 cm mediante compactación. La expansión debe considerar un bombeo mínimo del 2%. Se humedecerá ligeramente la superficie y se procederá al rodillado, preferiblemente con un rodillo compactador de tambor. El proceso de rodillado se llevará a cabo en 3 a 4 pasadas por punto, comenzando siempre desde la cuneta hacia el centro (desde la caja y desde el camellón), con el objetivo de mantener el bombeo. En curvas, se realizará desde la pendiente menor a la mayor, respetando el peralte y en línea recta, sin seguir el radio de giro. La primera pasada del rodillo se realizará en "Alta" y las siguientes en "Baja", ya que las pasadas fuertes posteriores pueden soltar el material que se encuentra en el fondo.

La compactación óptima requerida es del 100%, con un mínimo del 95%, y será controlada por personal calificado. Si en algún sector la humedad se satura, será necesario repetir el proceso, permitiendo que se evapore el exceso de agua.

Método tradicional: Humectación con agua

Es bien conocido que las estrategias de supresión de polvo que implican la pulverización de agua sobre las partículas de polvo representan el método más efectivo para controlar el polvo en las plantas de procesamiento. No obstante, estas técnicas a menudo presentan dos inconvenientes: en primer lugar, son altamente demandantes de agua, un recurso que es limitado y, por ende, estas soluciones pueden resultar costosas. En segundo lugar, la aspersión tiende a secarse rápidamente, lo que implica la necesidad de una nueva aplicación de agua y, en consecuencia, un mayor consumo del recurso hídrico. Por ejemplo, en condiciones áridas como particularmente son las minas de la costa del Perú y el norte de Chile, el tiempo de evaporación del agua puede alcanzar

hasta 25 minutos. La rápida evaporación se debe a propiedades físicas como la tensión superficial y la presión de vapor. Factores adicionales que influyen en este proceso incluyen la humedad ambiental y la composición del material que conforma la vía. Por ejemplo, las vías con arcilla retienen más agua en condiciones húmedas, pero en entornos áridos, este material tiende a generar polvo debido a su tendencia a resecarse. En la minería, se emplean tanques de gran capacidad y tonelaje (30,000 galones), diseñados para regar extensiones extensas. La tasa de riego de estos equipos suele variar entre 0.4 y 0.8 litros por metro cuadrado.

3.1.9. Marco legal

De acuerdo a la resolución ministerial N° 315-96-EM-VMM del sector de Energía y Minas, señala en el artículo 3 que el Nivel Máximo Permisible de Emisión de Partículas de la Unidades Minero-Metalúrgicos debe ser de 100 mg/m³, dicha medición se puede hacer en cualquier momento o punto de control.

Por otro lado, según el decreto supremo N° 023-2017-EM en el artículo 317, describe que todas las etapas de operaciones y proceso de minerales donde se pudiera generar partículas en suspensión, es de uso obligatorio los colectores de polvo, campanas extractoras o atomizadores de agua en los puntos de descarga, como también el riego adecuado en vías de acarreo o almacenamiento de concentrados.

3.2. Antecedentes de la Investigación

A continuación, se describe la revisión exhaustiva de diferentes investigaciones y proyectos de tesis a nivel nacional e internacional respectivamente que para este estudio serviría como antecedentes esenciales para la orientación de la ejecución del estudio.

- Antecedentes Nacionales

Guivar y Zelada (2018), los siguientes autores realizaron un estudio comparativo de tres tipos de supresores: Dasaut, DL 10 Plus y Knockout Dustply con la finalidad de reducir el material particulado de las vías de minera de Yanacocha, los resultados óptimos fue el producto Dasaut con radio de adición y riego de 2.0 ml/l –

0.9 ml/m² respectivamente, a un pH de 2.83, aplicación del producto con una cantidad de 37 854.1 l del supresor por cisterna, tiempo de degradación de 180 días y con ello lograron un efectividad de reducción de 88.9% de material particulado. Para el caso del segundo mejor resultado, fue el producto DL 10 plus con un radio de adición y riego de 1.1 ml/l y 0.5 ml/m² respectivamente, aún pH de 7,23, adición del producto a una cantidad de 2000000 ml de supresor por cisterna, obteniéndose resultados de eficiencia al 81.6 % de reducción de material particulado, no obstante, este supresor es de naturaleza biodegradable tomándose también de mayor interés (Guivar & Zelada, 2018). En este estudio nos permite conocer los rangos de operación de la aplicación de los diferentes supresores, así mismo el promedio de efectividad. Así mismo se evidencia que este estudio comparativo se efectúa en diferentes vías del tramo de la minería de Yanacocha omitiéndose los factores de las condiciones climatológicas y geográficas, lo que podría afectar ciertos rendimientos.

Álvarez (2019), realizó una evaluación técnica y económica de únicamente el supresor DL10 Plus para el control de polvo en las vías internas de la minera Yanacocha, específicamente en las vías de mantenimiento mediante el consumo de agua en un periodo de 2016 a 2018 y comparación del 2019. Determinó los siguientes resultados, de acuerdo al análisis de rentabilidad y comparación de costos en el tiempo, la aplicación de producto permite reducción el consumo de agua en un 11.78% y a la vez se reduce el costo de los equipos en un 37.28% con respecto al 2018, todo eso se estimó en un ahorro total de \$40685.54 en las vías de servicio activo (Álvarez, 2019). En este trabajo se valida la efectividad del producto en condiciones técnicas y económicas y que el estudio de diferentes supresores permite a la minería reducir los costos y generar ahorros operacionales y sobre todo la reducción del consumo de agua, este último es de importancia para la minería por ser un recurso limitado en muchas de ellas.

Usca (2021), el siguiente autor realiza un análisis del supresor de polvo del aditivo H 14 con la finalidad de mejorar las vías de acarreo horizontal- vías auxiliares con una pendiente del 10% y de esta manera reducir los gastos de la unidad minera de Apumayo, inicialmente sin la aplicación de producto la eficiencia de supresión de polvo y agua era del 71.28% para PM10 y de 69.52% para PM_{2.5} y después efectúa la aplicación se logró resultados positivos al reducirse el ciclo de carguío para el material

de mineral 0.47 horas por ciclo con el uso de la emulsión de H14, con todo ello se logra la reducción de gastos neto en 50.300 soles (Usca, 2021). En este estudio determina la efectividad mediante la reducción del ciclo de carguío.

- Antecedentes Internacionales

Jaimes (2016), efectuó un trabajo de evaluación de un supresor de polvo en la mina de beneficio aurífero, en concreto de la mina de Reina de Oro en Vetas – Santander en diferentes etapas del proceso, ejecutándose pruebas en la trituración, molienda, espesamiento y flotación del mineral. Para ello, inicialmente se evaluó sin aplicación de supresor como pruebas control y después la aplicación de diferentes concentraciones de supresores de cloruro de calcio (1, 2, 4, 8 y 16%). Se obtuvieron resultados más a nivel microscópico mediante la caracterización del mineral por medio de difracción de rayos X, encontrándose que el producto puede alterar sus propiedades fisicoquímicas del medio y del mineral, produciéndose partículas más finas en la etapa de la molienda, esto mejora la densidad de la pulpa y reduciendo la velocidad del espesamiento debido al supresor. Por otro lado, a nivel macroscópico se determinó que, en el proceso de flotación, no obtuvo ningún tipo efecto debido al supresor (Jaimes León, 2016). En este estudio nos permite validar que cualquier tipo de supresor tiene diferentes efectos en las etapas de proceso en algunas más influencias que otro y además que en el proceso de extracción de mina de oro la generación del material particulado es más fino y es vital la aplicación de un supresor para reducir la emisión de PM10, sin que se vea afectado los procesos unitarios y reduciendo los costos de mantenimiento de máquinas.

Brauer et al. (2019), los autores ejecutaron el estudio de cinco de supresores (melaza, hidróxido de magnesio, Total Ground Control (TGC), cloruro de sodio y bischofita aplicado en la mina de cielo abierto de beneficio de oro y plata de Argentina, se utilizaron el software Comet y un equipo especialista en la captación de polvo E – Sampler recolectándose datos de polvo y calidad del aire tomados en medio ambiente. Obtuvieron los siguientes resultados; del estudio comparativo de esos cinco supresores el mejor resultado se obtuvo con el producto de Bischofita que el que presenta la composición de 10% de magnesio, 33 % de cloro, 52% de agua y 4% en impurezas, lo cual se determinó que para aumentar la eficiencia previamente se debe tratar al suelo

con una solución de cloruro de sodio, se estimó que el radio de aplicación fue de 1.56 L/m² durante 20 días con buenos resultados y después de los siguientes días perdió eficacia por las condiciones climatológicas. (Andrés Brauer et al., 2019). En este estudio se puede evidenciar que las condiciones climatológicas tienen un efecto en la eficacia ya que no es factible la aplicación durante la época de nevada ya que puede provocar un suelo resbaloso debido a la aplicación del supresor.

4. HIPÓTESIS

La aplicación del supresor Bivesoil va presentar una mayor eficacia al reducir el consumo de agua que está destinado al riego del tramo Este, como también la mitigación del polvo generado por el tránsito de equipos vehiculares y de maquinaria pesada de una unidad Minera de la región de Tacna.

5. VARIABLES

El presente estudio va presentar variables correlacionales es decir una variable independiente y dependiente. A continuación, se presenta la identificación de variables en la Tabla 11.

5.2.1. Variables Dependiente Y: Mitigación de polvo y reducción de agua.

- Mitigación de polvo

❖ **Definición conceptual:** Proceso de uso de agua o un producto de supresión para restringir que las partículas finas se diseminen en el aire. Así mismo es una práctica eficiente para industrias que trabajan con productos polvorientos o en condiciones polvorientas.

❖ **Definición operacional:** Proceso de aplicación de agua o aditivo químico para reducir, remover o suprimir el polvo para crear un ambiente en el cual el personal pueda laborar con mayor seguridad en la unidad minera.

- Consumo de agua

❖ **Definición conceptual:** Expresión que se utiliza para indicar el consumo realizado por una persona o actividad industrial en un determinado tiempo, expresado generalmente por L/ hab.× día o L/m² × día.

- ❖ **Definición operacional:** Describe el consumo realizado por la actividad de transporte de unidades vehiculares y de maquinaria pesada por una trayectoria definida de la unidad minera. Así mismo como la determinación cuantitativa de la cantidad de riesgos realizados para suprimir el polvo. Recurso esencial donde el principal interés es la reducción.

5.2.2. Variables independiente X: Tipo de supresores de polvo (H14, Bivesoil, Dustex FL875L y Earthbind 100TM)

- ❖ **Definición conceptual:** Son aditivos químicos y estabilizadores de polvo que debido a su adherencia lo concentra o aglomera en gránulos pequeños reduciendo su movimiento.
- ❖ **Definición operacional:** Es la capacidad del tipo de supresor a utilizar para reducir o mitigar eficazmente las partículas finas de polvo en las operaciones o actividades que se realiza en las vías de tránsito de la unidad minera.

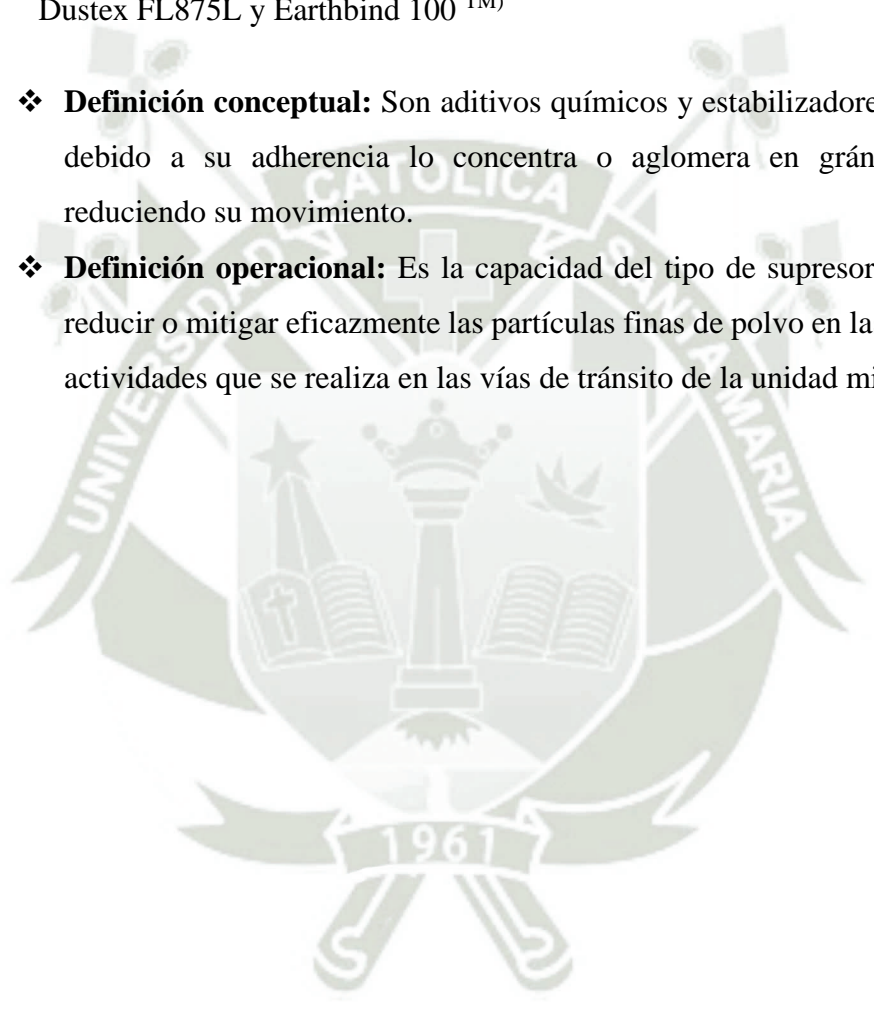


Tabla 11. Operacionalización de las Variables a estudiar

| Tipo | Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicador | Unidades |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Variable independiente | Tipo de supresores de polvo | Son aditivos químicos y estabilizadores de polvo que debido a su adherencia lo concentra o aglomera en gránulos pequeños reduciendo su movimiento | Es la capacidad del tipo de supresor a utilizar para reducir o mitigar eficazmente las partículas finas de polvo en las operaciones o actividades que se realiza en las vías de tránsito de la unidad minera. | Dosificación | Ratio de adición | ml/l |
| | | | | | Ratio de riego | ml/m ² |
| | | | | | Costos | US\$/m ² |
| Variable dependiente | Mitigación de polvo | Proceso de uso de agua o un producto de supresión para restringir que las partículas finas se diseminen en el aire. Así mismo es una práctica eficiente para industrias que trabajan con productos polvorientos o en condiciones polvorientas. | Proceso de aplicación de agua o aditivo químico para reducir, remover o suprimir el polvo para crear un ambiente en el cual el personal pueda laborar con mayor seguridad en la unidad minera, producto de actividades del tránsito de vehículos, maquinaria pesada o por acción del viento. | Control de polvo | Escala visual | niveles |
| | | | | | PM 10 antes de la aplicación | ug/m ³ |
| | | | | | PM 10 después de la aplicación | ug/m ³ |
| | | | | | Eficiencia de supresión | % |
| | Reducción de agua | Expresión que se utiliza para indicar el consumo realizado por una persona o actividad industrial en un determinado tiempo, expresado generalmente por L/ hab.× día o L/m ² × día. | Describe el consumo realizado por la actividad de transporte de unidades vehiculares y de maquinaria pesada por una trayectoria definida de la unidad minera. Así mismo como la determinación cuantitativa de la cantidad de riesgos realizados para | Consumo de agua | Radio de riego | L/m ² |
| | | | | | Litros/riego | L/N° riego |
| | | | | | N° de riegos/día | N° riego/día |

suprimir el polvo. Recurso esencial
donde el principal interés es la
reducción

Horas Maquina de
Tanques cisternas

Hrs



6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1.1. Alcances

El presente trabajo de investigación ha sido previamente probado en diferentes tramos de la unidad minera, sin embargo, para realizarse un estudio comparativo en las mismas condiciones se delimitará en un tramo de rampa, la cual está definida por la rampa Este.

La investigación se realizó y se consideró en un periodo definido de tiempo para evitar el efecto de las condiciones climatológicas.

El proyecto no tomó en cuenta las diferentes condiciones operacionales de aplicación, es decir, cantidad de aspersores y tratamiento previo debido a las diferentes propiedades de cada tipo de supresor

6.1.2. Limitaciones

El presente trabajo realizó el estudio en condiciones reales de operación de la mina lo cual no se pudo evitar situaciones como la cantidad de vehículos y maquinarias pesadas que han transitado con carga o sin carga razón por la cual pudo tener un efecto en la efectividad del supresor, por lo cual se tomó en cuenta en las observaciones y de acuerdo a la data obtenida se decidió si es conveniente la toma y eliminación de esos resultados. Además, el efecto de evaporación del agua está relacionado con las condiciones climatológicas en cuestión de las horas de aplicación, por ello fue importante en la toma de datos el registro de la hora de aplicación y el tiempo de medición para tomarse en cuenta el procesamiento de datos para ajustar en la mayoría de lo posible las mismas condiciones para los cuatro tipos de supresores.

6.1.3. Aporte

En este proyecto de investigación va permitir evidenciar la aplicación de cuatro tipos de supresores que no han sido reportados en ninguna referencia bibliográfica debido al desconocimiento de los productos que han sido últimamente formulados, con excepción del supresor de H14 el cual ha sido evaluado en varios estudios y se tomó como un punto de referencia y comparación en la efectividad. El propósito de la investigación va permitir encontrar las mejores condiciones de aplicación del mejor supresor y en la toma de decisión de la aplicación del aditivo en la propia mina como

producto de este estudio comparativo. Finalmente se pretende ser un punto de referencia para futuros estudios en el sector minero del país.

7. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

7.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se realizó en este estudio es del tipo de aplicada ya que se realizó el análisis comparativo en condiciones reales de la unidad minera, al mismo tiempo se trató de encontrar el mejor supresor para de esta manera reducir los costos en el consumo de agua para la misma empresa el cual ha financiado este estudio.

Así mismo este estudio fue efectuado a nivel cuantitativo para evidencias de la causa y efecto de las alternativas para saber las ventajas técnicas y económicas, ya que se realizó los diferentes análisis mediante indicadores de ratio de aplicación, consumo de agua y evidencia fotográfica del material particulado.

7.1.2. Nivel de investigación

El proyecto de investigación constituyó las características metodológicas de un nivel del tipo aplicativo - experimental donde se realizó un enfoque científico, empleándose un conjunto de variables constantes, es decir distancia de la aplicación del tramo, tiempo de medición, con tránsito, condición seca del tramo y velocidad del vehículo. Donde el otro conjunto de variables se midió y se comparó, como es el caso del tipo de supresor que es sujeto del experimento.



1. CAMPO DE VERIFICACIÓN

1.1. Unidades de estudio

1.1.1. Población

Toquepala es un yacimiento de cobre que se encuentra ubicada en el sur de Perú, en la región de Tacna, Provincia de Jorge Basadre, Distrito de Ilabaya donde se encuentra a una altura aproximada de 3400 m.s.n.m. La población está conformada por todos los alrededores de una unidad minera de cobre localizada en la región de Tacna, dentro de la cual las instalaciones abarcan una extensión de área 900 ha, no se enunció el nombre de empresa por cuestiones de privacidad.

La red de caminos de la minería se extiende a una superficie de alrededor de 1 430 000 m² como se presenta en la Figura 12, esto describe todos los caminos que se encuentra dentro del área de la mina, donde se hace la exclusión de las zonas de almacenamiento, frentes de carguío y caminos de circuito a botaderos, como también no considera las vías de tránsito que conecta a áreas como las oficinas y a la planta concentradora.



Figura 12. Red vial de la Unidad Minera

1.1.2. Muestra

Del total de la población estudiada, el 92% corresponde a caminos donde transita equipos de alto tonelaje, dentro de los cuales el 60% de dicha red vial desarrolla las actividades en pendientes longitudinales y el 8% restante corresponde a vías exclusivas para el tránsito de vehículos livianos. El tamaño de la muestra fue

delimitado por el tramo 1 y 2 con una extensión de un 1 km cada una en toda la Rampa Este con una pendiente del 8% donde el tránsito del equipo pesado se encuentra con carga, esta rampa representa una extensión de ancho de 30 m con área aproximada de 30 km² y la ubicación exacta es descripta por las coordenadas de 70°36'29"W, latitud 17°15'17"S.

- Condición de la muestra experimental - tramo piloto

El tramo piloto consiste en un kilómetro de carretera de mina de 30 metros de ancho donde cada pista de circulación está delimitada por una berma central que está construida de manera segmentada, la cual separa los carillos por sentido de dirección



Figura 13. Características del tramo piloto de estudio

(ida y regreso). La berma central cuenta con la instalación de “delineadores” del tipo tambor con cintas reflectantes el cual tienen el principal propósito de alerta y guía a los conductores durante el turno de la noche, lo anterior descrito se describe en la Figura 13.

2. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

2.1. Técnicas

2.2.1. Determinación de línea base estado inicial del tramo piloto

Se realizó inicialmente un diagnóstico del estado actual del tramo piloto en términos de línea base de emisiones de polvo, consumo de agua e infraestructura disponible, y a partir de la información obtenida, permitió la comparación objetiva del desempeño de los distintos supresores aplicados.

2.2.2. Tasa de Evaporación del agua del tramo piloto

Para la evaluación de la tasa de evaporación del agua en el tramo piloto se realizó un seguimiento en el tiempo transcurrido durante un periodo de 90 minutos, donde inicialmente se realizó el regado único con cisternas de 30 000 galones actividad usual que realiza la unidad minera y por lo tanto se realizó las mediciones de humedad y material particulado cada 15 minutos, es decir mediciones de tiempo = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 minutos tomándose en consideración lo dispuesto por el marco normativo.

2.2.3. Material particulado del tramo piloto

Con la finalidad de la determinación de la línea base correspondiente al nivel de concentraciones de material particulado que se producen en las rampas mineras, se realizó levantamientos sucesivos al tramo piloto generado por el tránsito de vehículos pesados durante una semana para la determinación promedio de emisión. Se llevo a cabo la medición de PM₁₀ mediante un procedimiento modificado por los autores (Ingeniería de Caminos, 2016) , el cual consiste la adecuación de un vehículo liviano acoplado con medidor de partículas (DUSTMATE) donde posee una bomba interna de 600 (cm³/min) de capacidad que permitió obtener directamente una muestra del aire circundante en la zona del neumático, dicha muestra de aire fue medida por el analizador de partículas que contiene un fotómetro laser el cual permite la cuantificación de la cantidad de partículas según el tamaño especificado, PM₁₀ con una frecuencia de medición de la muestra por segundo, los resultados obtenidos define la cantidad de partículas de tamaño menor a micrones que posee un centímetro cubico del aire y las cuales quedan almacenadas en la memoria del equipo y son exportadas a Hoja de Datos de Excel para su procesamiento.

La muestra de aire se tomó detrás de la rueda trasera del vehículo, con el objetivo de obtener la medición directa de la cantidad de polvo generado por la interacción del neumático con la superficie del camino, como se muestra en la Figura 14.

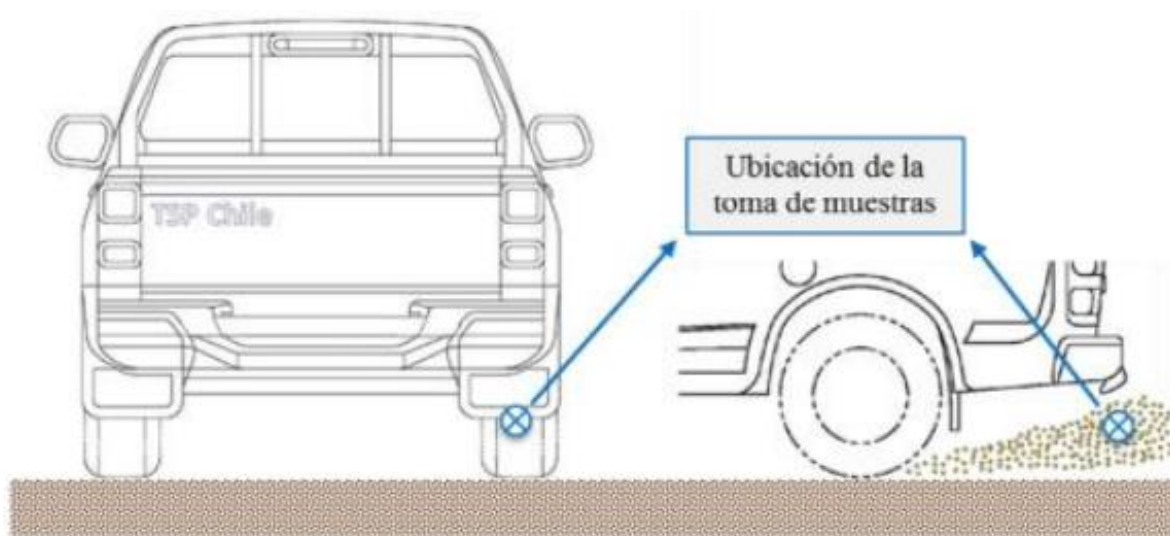


Figura 14. Esquematación del procedimiento de medición de partículas

2.2.4. Evaluación Visual

Otro indicador de eficacia de este trabajo de investigación fue la observación directa, donde se comparó por medio de la elaboración visual el contraste entre un objeto y su alrededor en presencia de una nube de polvo. Se realizó la estimación subjetiva del grado de emisión de polvo basado en niveles con fotos y descripción de referencia, elaborándose una escala visual por niveles que se describe a continuación:

Tabla 12. Escala visual para la determinación del nivel de supresión de polvo

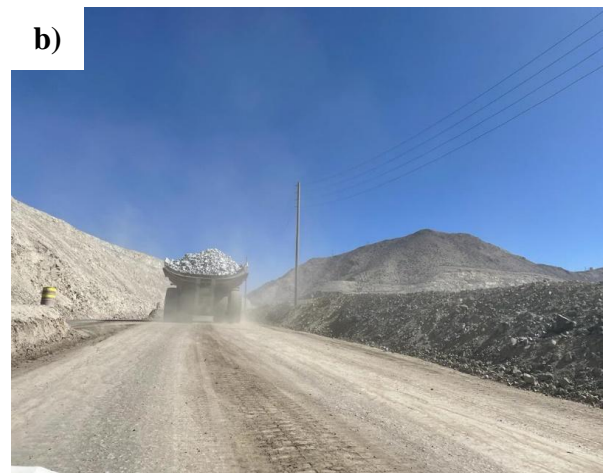
| NIVEL | DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE ACUERDO AL NIVEL | EJEMPLO |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Nivel 1 | Se puede identificar completamente al camión, el polvo generado por el tránsito es mínimo y no dificulta la visibilidad | Figura 15 (a) |
| Nivel 2 | Se puede identificar los neumáticos y la tolva del camión, el polvo que genera el tránsito no invade al carril contrario | Figura 15 (b) |

| | | |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Nivel 3 | Se puede identificar los neumáticos y la tolva del camión, el nivel de polvo es nivel medio, el polvo generado invade al carril contrario | Figura 15 (c) |
| Nivel 4 | Difícilmente se puede identificar al camión minero, no se puede identificar que camión es ya que solo se llega a divisar la tolva | Figura 15 (d) |
| Nivel 5 | El camión minero es prácticamente invisible debido a la gran cantidad de polvo que genera al transitar por la rampa | Figura 15 (e) |





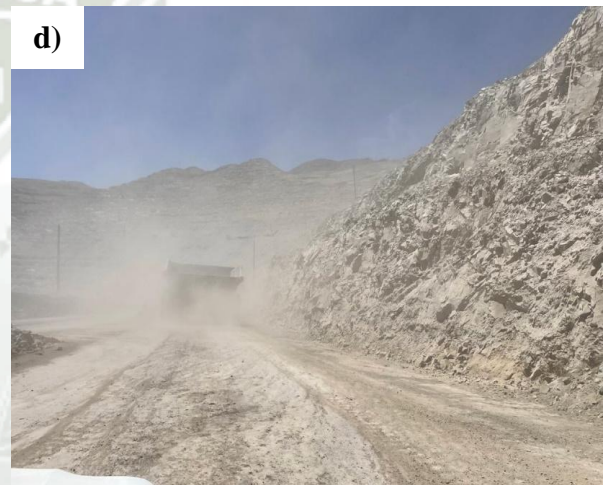
Nivel 1



Nivel 2



Nivel 3



Nivel 4



Nivel 5

Figura 15. Ejemplificación de la escala visual de la determinación del nivel de supresión

2.2.5. Evaluación de humedad del suelo

La determinación de la cantidad de agua, es decir la humedad en el suelo es un indicador de indirecto de la compactación del suelo para evitar la emisión de partículas finas a la atmosfera. Existe una variedad de métodos instrumentales para la medición de la humedad para la supresión de polvo, como son método del tacto, gravimétrico, sonda de neutrones, resistencia eléctrica, tensiométrico y entre otros.

Concretamente la medición de la humedad en la unida minera se realiza por el método tensiométrico, el cual es la fuerza física actual de retención del agua en el suelo compactado. A continuación, se presenta el procedimiento para la medición de la humedad.

Procedimiento:

- ❖ Calibración y revisión del tensiómetro Fito Tech
- ❖ Determinación del punto adecuado para la instalación del equipo.
- ❖ Instalación del tensiómetro a una distancia del suelo entre 15 cm.
- ❖ Inspección del equipo, donde debe estar en contacto entre la parte enterrada del tensiómetro y el suelo.
- ❖ Fijación e instalación del equipo antes (medición control) y después del riego por aspersión.
- ❖ Aseguración de la eliminación completa del aire a través del amontonado de suelo alrededor del tensiómetro.

Las mediciones de la humedad del suelo, se realizó en forma simultánea con las mediciones de la concentración de partículas, seguidamente los resultados determinados de acuerdo a la humedad son clasificados y reciben una designación de condición de suelo, es una escala interna dispuesto por la unidad minera, para el registro de datos y tomas de decisiones en la dosificación y adición de aditivos, como se describe en la Tabla 13.

Tabla 13. *Condición del suelo de acuerdo a la escala de Humedad*

| Escala de Humedad | | |
|-------------------|--------|-------------|
| Valor | Unidad | Condición |
| [0-5] | % | Seco |
| [5-15] | % | Semi Húmedo |

| | | |
|---------|---|--------|
| [15-30] | % | Húmedo |
| [30-50] | % | Mojado |

2.2.6. Diseño experimental.

Para la obtención de la información se realizó las pruebas experimentales, como se describe en la Tabla 13 con la aplicación de cuatro tipos de supresores (H14, Dustex FL875L, Bivesoil y Earthbind 100 TM), empleando un solo aditivo a la vez en la rampa piloto y de manera secuencial con un plazo máximo de 45 días por supresor.

Tabla 14. *Diseño experimental de la investigación*

| Tipo de supresor | Tratamiento |
|------------------|-------------|
| A | O1 |
| B | O2 |
| C | O3 |
| D | O4 |
| E | O5 |

Donde:

A: Aplicación únicamente de agua en la rampa

B: Aplicación del supresor H14 en la rampa

C: Aplicación del supresor Bivesoil en la rampa

D: Aplicación del supresor Dustex FL875L en la rampa

E: Aplicación del supresor Earthbind 100 TM en la rampa

O1: Escala visual, cuantificación del material particulado y consumo de agua

O2: Escala visual, cuantificación del material particulado y consumo de agua del supresor H14

O3: Escala visual, cuantificación del material particulado y consumo de agua del supresor Dustex FL875L

O4: Escala visual, cuantificación del material particulado y consumo de agua del supresor Bivesoil

O5: Escala visual, cuantificación del material particulado y consumo de agua del supresor Earthbind 100 TM

Se tuvo en cuenta la información técnica de cada tipo de supresor como el procedimiento de aplicación y condiciones de aplicación para lograr la eficacia objetivo, de manera en el cual se analizó la cantidad de aditivo, el agua utilizada, el rendimiento real y lo que implica los costos operacionales que afectan al proceso. A continuación, se describe el procedimiento y condición de aplicación de cada tipo de supresor.

H14

Para la aplicación del supresor se tomó en cuenta las consideraciones previas que señala el producto al inicio de los experimentos:

- Aseguramiento de que la rampa piloto deba estar nivelada, compactada y lastrada antes de la aplicación del aditivo
 - Antes de su aplicación se debe asegurar una humectación mínima previa al tramo piloto.
 - Adicionalmente del programa de aplicación se sugiere la humectación mínima de 2 veces por mes con el propósito de fijar el polvo procedente de otras zonas de contaminación, con una tasa de riego de 0.5 L/m²
- Programa de aplicación

La aplicación del supresor de H14 se dividió en dos tipos de aplicación, la primera la aplicación de dosis de impacto inicial, y la segunda la dosis de refuerzo las cuales fueron repartidas en seis semanas, la descripción detallada del programa de aplicación se describió en la parte de Anexos II.

DUSTEX FL 875

Para la aplicación del supresor se tomó en cuenta las consideraciones previas que señala el producto al inicio de los experimentos:

- Antes de la aplicación del producto, la rampa piloto debe presentar una humedad óptima, si en caso la condición es seca se debe realizar la aplicación de un riego rápido únicamente con agua.
 - La aplicación del aditivo no requiere un tiempo de curado, ni tampoco del bloqueo de la vía, por lo que es apta para el tránsito instantáneo.
- Programa de aplicación

El procedimiento de aplicación consiste en 2 etapas: La implementación con la dosis de impacto, seguida de la etapa de mantenimiento con producto diluido. Se elaboro un programa de aplicación tanto para la dosis de impacto el cual está dividida en 6 aplicación durante los primeros 15 días, por otro lado, la dosis de mantenimiento con supresor diluido se realizó con 2 a 4 veces al mes (30 días restantes) con supresor

diluido al 5%. La frecuencia de post de mantenimiento se determinó durante la aplicación y evaluación del experimento, dicho programa se encuentra descrito en el inciso de Anexo III.

BIVESOIL

Para la aplicación del supresor se tomó en cuenta las consideraciones previas que señala el producto al inicio de los experimentos:

- Medición de la temperatura ambiente con un pirómetro digital, si es menor o igual a 4° no se puede realizar la aplicación del producto y se debe reprogramar la aplicación para no generar ningún tipo de riesgo.
- Si se presentase un mal tiempo durante la aplicación del producto o antes de las 12 horas se debe suspender la aplicación.
- La velocidad máxima del equipo empleado para la aplicación no debe superar los 25 km/Hrs logrando un traslado de 5.5 m/s, es decir en 5 segundo logra cubrir la distancia de 27.5 metros.
- Está totalmente prohibido la aplicación del producto en retroceso o marcha atrás del equipo aplicador.

Este tipo de supresor describe que la dosis de aplicación está en función de la condición del tramo, haciendo una distinción de un tramo de mantención¹ o de impacto²

Tabla 15. Plan de dosificación del supresor de acuerdo a la condición de mantenimiento o impacto

| Extensión superficial (m ³) | MANTENIMIENTO | | | IMPACTO | | |
|-----------------------------------------|---------------|--------------|----------|---------------|--------------|----------|
| | % de supresor | Supresor (L) | Agua (L) | % de supresor | Supresor (L) | Agua (L) |
| 30 | 1% | 300 | 29700 | 3% | 900 | 29100 |

▪ Programa de aplicación

La aplicación del supresor Bivesoil se dividió en dos ciclos, el primero el ciclo de impacto que consistió de 4 días y segundo ciclo de mantenimiento de 41 días. Estableciéndose un programa para el ciclo de impacto de 1 riego por día y el ciclo de mantenimiento de 3 riegos diarios que consistió en la aplicación de dos riegos por la

¹ Proceso de mitigación de polvo

² Actividad que se aplica post frente del mal tiempo (Lluvia, nieve, entre otros)

mañana y un riego por la noche, se presenta el programa completo de aplicación del supresor en la parte de Anexos IV.

EARTHBIND

Para la aplicación del supresor se tomó en cuenta las consideraciones previas que señala el producto al inicio de los experimentos:

- Se requiere un tiempo de secado y curado correcto del aditivo en la rampa de estudio.
- Las aplicaciones de los aditivos deben realizarse después que el agua haya penetrado de forma correcta y lo suficiente para que la siguiente aplicación no aumente la humedad y no se acumule sobre la superficie de la rampa, se recomienda de la espera aproximada de 1 hora.
- Si en caso el nivel de la superficie de la rampa de estudio no se encuentra en óptimas condiciones, es necesario de la aplicación de la una motoniveladora que nivele por lo menos aproximadamente más de 2 cm de profundidad.

▪ Programa de aplicación

La planificación de la aplicación del aditivo Earthbind requiere de la condición de secado y curado, razón por la cual se realizó una programación tomándose en cuenta dichas consideraciones y fue conveniente la aplicación de 2 veces en el turno de mañana entre los cambios de turno y por la tarde de una aplicación en el turno de vespertino. El programa de aplicación toca en cuenta la aplicación de impacto y de mantenimiento, y el cual se encuentra detallado en la parte de Anexos V.

2.3. Instrumentos

2.3.1. Cuantificación del material particulado

Para la cuantificación del material particulado existen dos métodos instrumentales, sin embargo, en la actualidad el método usual y con mayor exactitud es la medición de las partículas con equipos contadores de partículas basado en un sensor de laser fotométrico, por lo que se realizó la medición con equipo portátil digital “DUSTMATE”. Este equipo analiza la cantidad y el tamaño de las partículas PM₁₀ y PM_{2.5} dando como resultado las concentraciones en ug/m³.

- Procedimiento

El equipo testeador se instalada en la parte trasera de un vehículo, específicamente en la parte trasera del neumático con el propósito de obtener directamente la cantidad de polvo producido por la tracción del neumático con la vía. A medida que el vehículo transita el camino el equipo almacena los datos obtenidos en segundos y minutos, las mediciones realizadas fueron recolectadas en unas hojas de datos, una recolección inicial donde únicamente se aplica únicamente agua y después de la aplicación del tipo de supresor (Anexo VI, VII ... VIII). Así mismo se describe el protocolo para la medición del equipo (Anexo X).

2.3.2. Técnicas

▪ **Observación visual de aplicación de agua y supresores en la rampa:**

Se observó de forma directa el riego de la rampa comprobando la condición del efecto del agua y del supresor para constatar visualmente que la rampa tratada con los supresores reduce el polvo y minimizan el consumo de agua durante la movilización de vehículos, maquinaria pesada o por el viento.

3. ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. Recolección de datos y análisis documental:

Se determinará mediante el estudio estadístico el procesamiento de datos al cuantificar el material particulado en la rampa para determinar la eficacia de los supresores aplicados en área de estudio.

- Materiales, Instrumentos y Equipos

- Cámara fotográfica
- Laptop
- Equipos de Protección Personal (EPP's)
- Equipo de Material particulado
- Reporte de dosificación de los cuatro tipos de supresor
- Registro de control del consumo de agua
- Registro de control del monitoreo de polvo

- Procedimiento general

- Se registró la información obtenida como control en función al consumo agua inicial sin la aplicación de ningún supresor en la rampa y se reportó las condiciones meteorológicas como el tiempo y radiación.
- Se aplicó el supresor en estudio de acuerdo al procedimiento de aplicación enunciado en la ficha técnica, descrito en la parte de Anexos y se adecuó las mismas condiciones meteorológicas como el tiempo de aplicación y toma de dato
- Se tomó los datos en campo y se registró los indicadores como: cantidad de agua, radio de aplicación, material particulado, rendimiento entre otros.
- Se cuantificó el costo de inversión con la aplicación del mejor producto y la línea base con la aplicación únicamente de agua.

- Determinación de la eficiencia

La eficiencia de los tipos de supresores se realizó mediante la medición antes de la aplicación de dicho supresor y la cuantificación de material particulado después de la aplicación del producto. La reducción porcentual de emisión de material particulado con respecto de la situación inicial se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia} = \left(1 - \frac{\text{PM después}}{\text{PM antes}} \right) \times 100$$

3.2. Plan de análisis estadístico de los datos

Los resultados obtenidos mediante la toma de los datos fueron registrados en las tablas de recopilación de datos (Anexo VI, VII, ...IX), se registró en una hoja de cálculo de Microsoft Excel el cual sirvió para realizar el procesamiento de los datos. Se realizó el análisis de datos, se representó los resultados mediante tablas, figuras y graficas en el inciso de Resultados.

3.2.1. Procesamiento Estadístico

Finalmente, para el contraste de la hipótesis, se utilizó el software estadístico SPSS versión 25, la elección de las pruebas estadísticas está sujetas a las

características del estudio como se presenta en el cuadro de criterios (Anexo XI). Para la investigación se empleó inicialmente la prueba de normalidad para evaluar si los datos obtenidos se aproximan a una distribución normal, mediante la representación de la campana de Gauss, donde de acuerdo al procesamiento de información que es menor a 50 datos se debe utilizar la prueba de Normalidad Shapiro Wilk, determinándose el valor de p (se rechaza la hipótesis nula de que no hay diferencia entre las medias y concluimos que si existe una diferencia significativa cuando es menor que 0.05) (Tabla 16).

Así también, para la comparación de los cuatros tipos de supresores se empleó la prueba ANOVA de una vía para muestras independientes, se realizó esta prueba estadística debido al objetivo del estudio, donde se determinó la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los otros grupos , es decir se comparó las mediciones de control de polvo y consumo de agua antes y después de su aplicación, evaluándose si existían diferencias significativas en los valores promedios de consumo de agua y control de polvo de los otros tres supresores.

La formulación de la hipótesis para el estudio ANOVA.

- H_0 : No hay diferencias significativas en la mitigación de polvo entre los diferentes tipos de supresores.
- H_1 : Existen diferencias significativas en la mitigación de polvo entre al menos dos de los diferentes tipos de supresores.

Si el ANOVA muestra diferencias significativas entre los grupos, puedes realizar pruebas post hoc, como la prueba de Tukey o la prueba de Bonferroni, para determinar cuáles de los grupos difieren entre sí.

Tabla 16. *Procesamiento de análisis de datos*

| Prueba estadística | Criterio para aceptación o rechazo de la hipótesis |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prueba T | Regla de la decisión |
| Muestras independientes | Si $p \text{ valor} = \text{Sig. (bilateral)} \leq 0.05$ no se acepta H_0 $H_0: u_1 = u_2$ $H_a: u_1 \neq u_2$ |

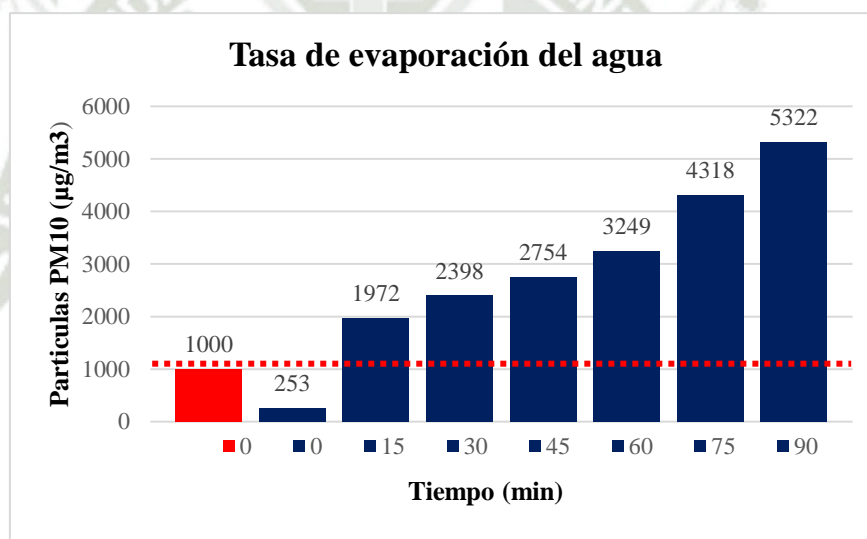


CAPITULO III: RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados obtenidos mediante la ejecución de los diferentes diseños experimentales propuestos en el apartado III del marco metodológico.

1.1. Determinación de la tasa de evaporación de agua en la rampa piloto.

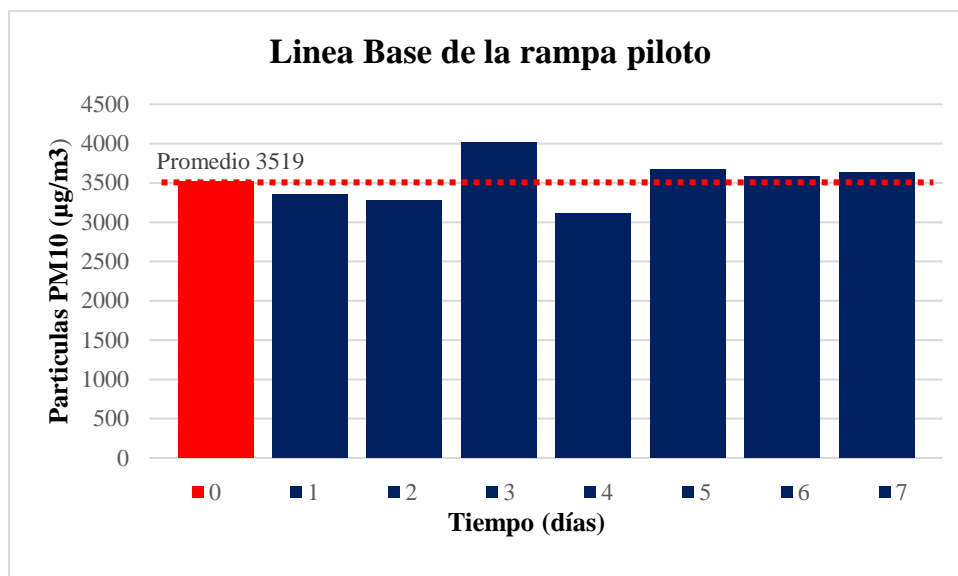
De acuerdo a los resultados obtenido, se determinó que a los 11 minutos la rampa piloto paso de estar húmedo a un estado superficialmente seco del camino, así como también se evidencia que pasado dicho tiempo ya no se logra cumplir con la legislación dispuesta que señala un máximo de PM_{10} de acuerdo a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (línea roja) , evidentemente la condición de la rampa en el cual se ejecuta con una pendiente del 8%, sumado a la cantidad de maquinarias pesada que transita se evidencia la reducción efectiva de la aplicación del agua como supresor por lo que se considera necesario la aplicación de un aditivo para poder cumplir con la legislación.



Gráfica 1. Determinación de la tasa de evaporación en la rampa piloto

1.2. Determinación de la línea base de la rampa piloto

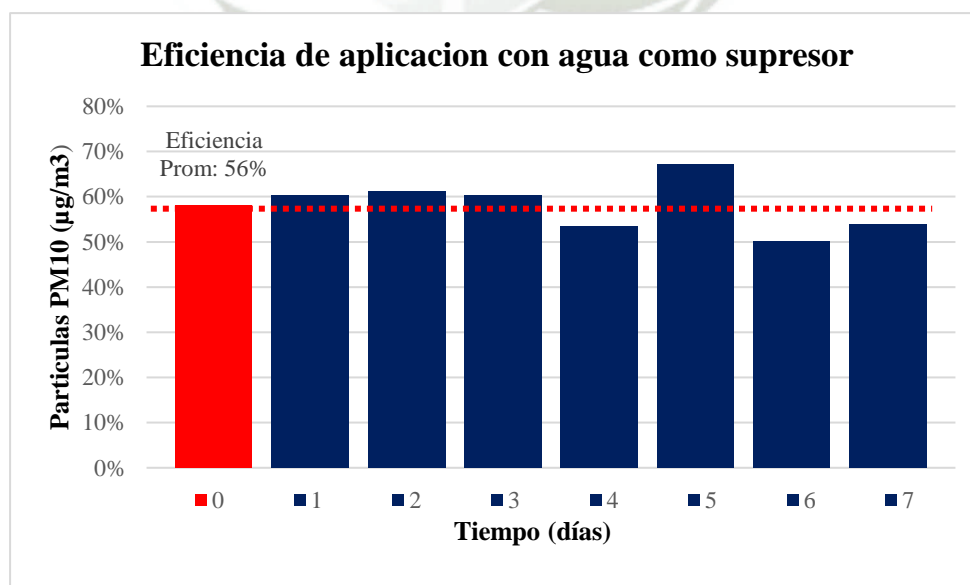
Se realizó la medición del material particulado durante una semana en hora fijada todos los días donde no se encuentra aplicado ninguna adición de agua, procedimiento usual que realiza la unidad minera, de acuerdo a la Gráfica 2 se obtuvo un valor de línea base promedio de $3519 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de tamaño PM_{10} , los resultados obtenidos permitieron la determinación de eficiencia de la aplicación con agua y otros supresores.



Gráfica 2. Obtención de la línea base de estudio del tramo piloto

De los anteriores resultados mencionados, fue posible realizar la estimación de la eficiencia que lograba la unidad minera de mediante la aplicación de agua como supresor, el cual es la técnica de sistema de riego implementado por el área de operaciones para de esta manera poder controlar las emisiones de polvo generada por las actividades del tránsito de vehículos de alta carga.

El procesamiento de resultados, señalo un promedio de las mediciones realizadas en la condición de ese momento un valor de $1473 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una eficiencia promedio de 58%, como se representa en la Gráfica 3 de la condición inicial del tramo Oeste de la Unidad Minera con respecto a la línea base.



Gráfica 3. Determinación de la eficiencia de supresión con agua

Para alcanzar la eficiencia de supresión con agua, se ha requerido de la aplicación de 5 tanques de agua de capacidad de 30 000 galones con una ratio de aplicación de 3.7 litros de agua por metro cuadrado de superficie de estudio lo que inicialmente representa el 60% del tramo, el 40% restante del tramo es mediante la aplicación del agua de forma intermitente o esporádica, en algunas ocasiones podría ser nula sujeto a condiciones climatológicas (tasa de evaporación muy baja).

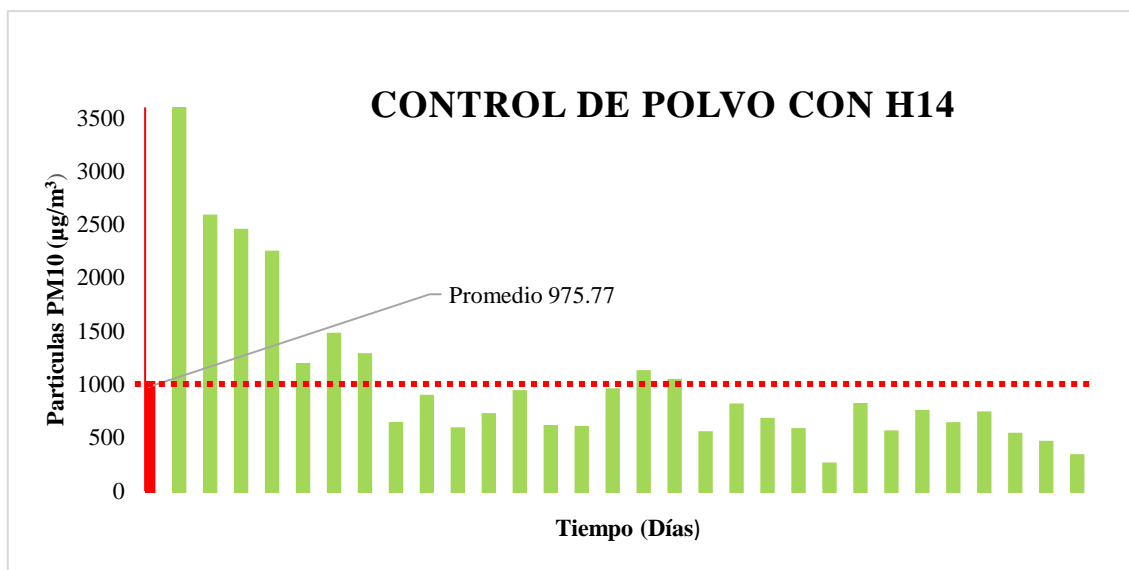
Con los resultados alcanzado en la determinación del diagnóstico inicial del tramo piloto se tomó referencia para poder realizar un análisis comparativo, fijando una eficacia mínima del 70% para el control de polvo y, de esta forma poder cuantificar los recursos utilizados para cada tipo de supresor.

1.3. Determinación del mejor tipo de supresor para el control de polvo

Se tomo como línea base poder alcanzar una eficacia mínima del 70% para los cuatro tipos de supresores por un tiempo de tratamiento de 30 días para cada tipo, registrando la concentración promedio del día a través de la medición de 5 muestras durante el día, para la obtención representativa de los resultados. A continuación, se describe los resultados encontrados para cada tipo de supresor.

- H14

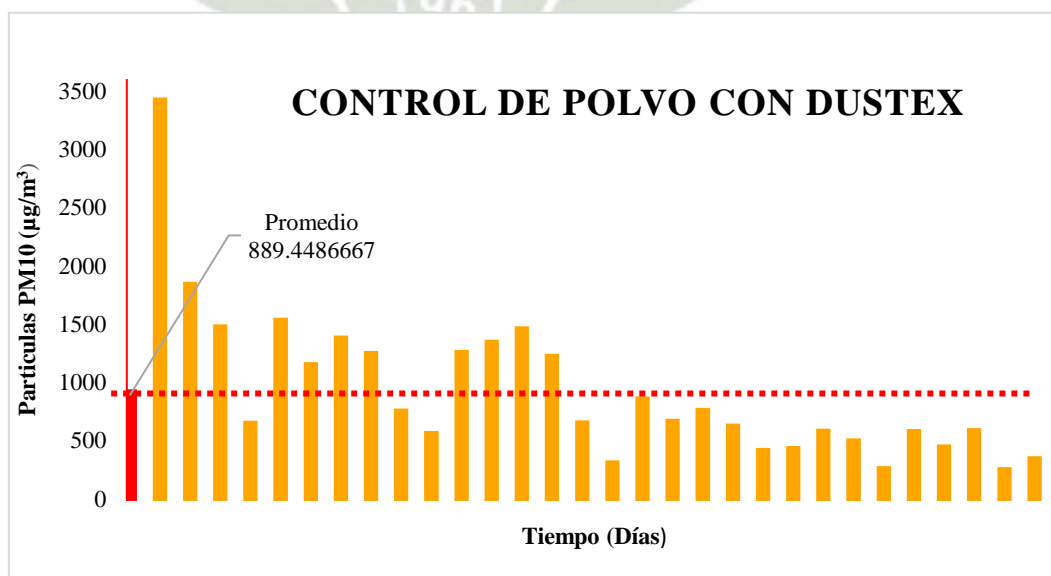
La aplicación del supresor H14 alcanzo una concentración promedio de partícula PM10 de $975.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como se describe en la Gráfica 4, donde logró alcanzar la estabilidad de supresión a partir del octavo día en adelante, a excepción de los días 16 y 17, de acuerdo a las observaciones señaladas no hubo la aplicación continua del supresor durante esos días debido a la falta del aditivo del supresor, y en general se logró alcanzar una reducción del polvo de forma eficaz de acuerdo a la evaluación por observación y que se encuentra descrito en la parte de Anexos VI.



Gráfica 4. Supresión de polvo con el aditivo químico H14

- **DUSTEX**

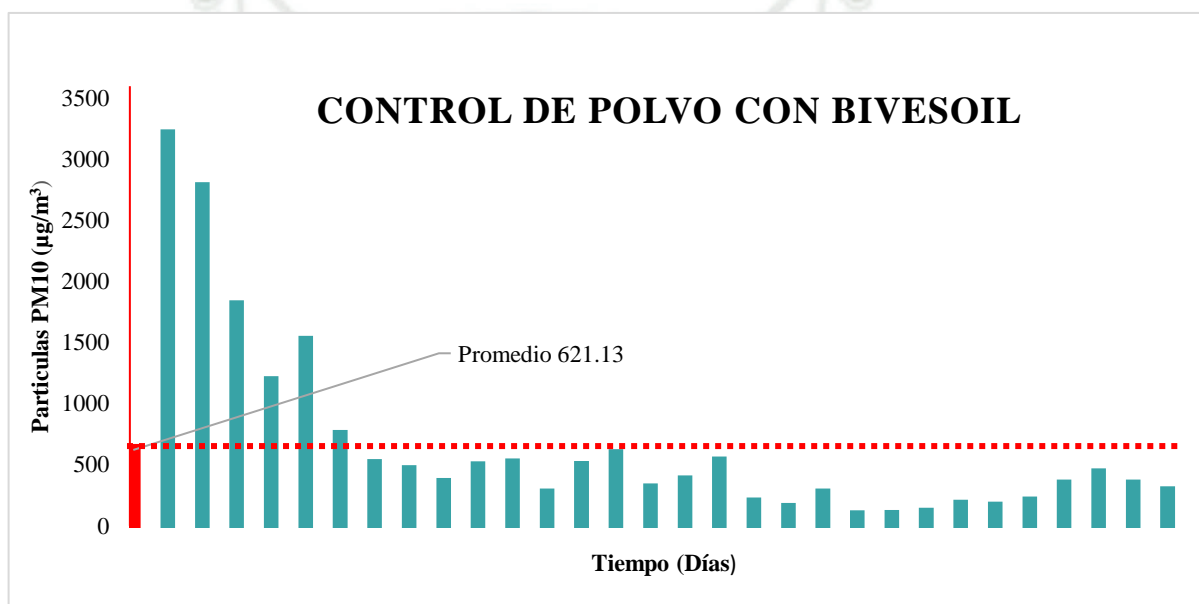
Concluida las pruebas de aplicación del anterior supresor, se dejó un margen de tiempo para no afectar los siguientes análisis de partículas del supresor Dustex. Como se describe en la gráfica 5, el supresor Dustex alcanzo una concentración promedio de partícula de 889.448 µg/m³ durante la experimentación. Se puede concluir una mejor supresión con el anterior, sin embargo, alcanzar la estabilidad de supresión del Dustex fue a partir de quinceavo día, el doble más que el supresor H14. Por otro lado, a partir del quinceavo día la eficacia fue constante y se validó con las observaciones realizadas durante la experimentación y descritas en la parte de Anexos VII.



Gráfica 5. Supresión de polvo con el aditivo químico Dustex

- **BIVESOIL**

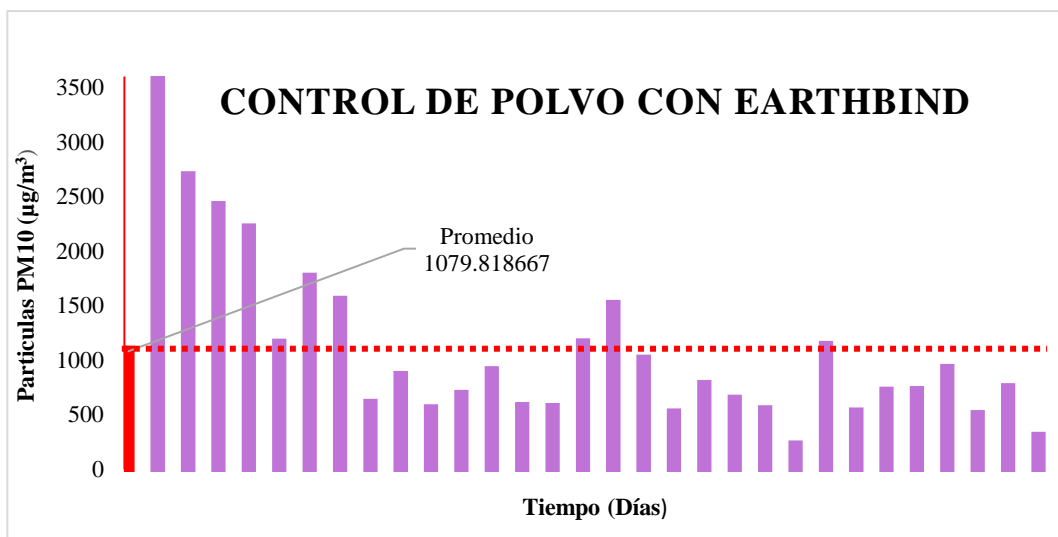
En la gráfica 6, se presenta los resultados determinados mediante la aplicación del supresor Bivesoil, determinándose una concentración promedio de partícula $621.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por otro lado se alcanzó la estabilidad de supresión al séptimo día de forma muy rápida, en adelante el control de la supresión fue de forma descendente alcanzando a rangos inferior de incluso de $77.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que señalo un buen indicador de eficacia y el cual es validos con las análisis mediante observación reportado en Anexos VIII y se mantuvo en el rango establecido.



Gráfica 6. Supresión de polvo con el aditivo químico Bivesoil

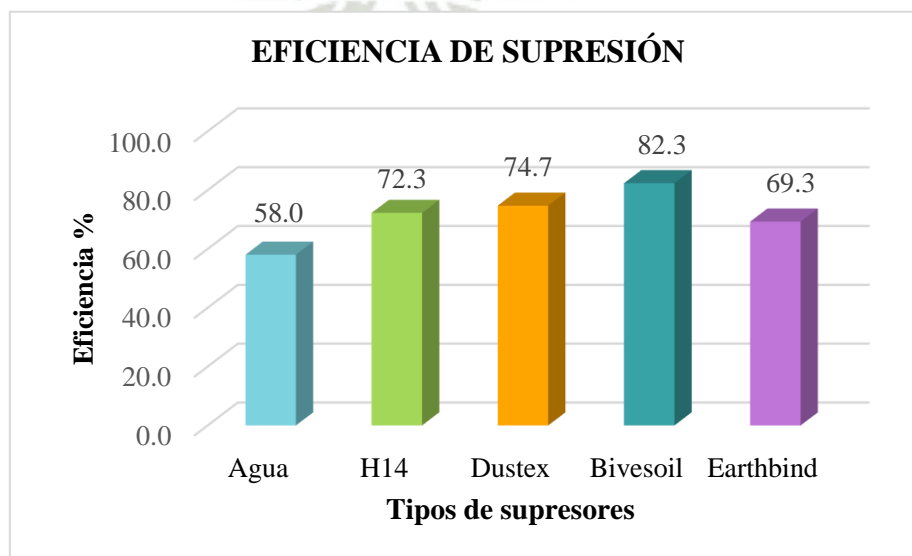
- **EARTHBIND**

Finalmente, se realizó la evaluación de la aplicación del supresor de EarthBind como ultimo supresor, se determinó una concentración promedio de partícula de $1079.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las mediciones realizadas señalaron que no se alcanzó una estabilidad de supresión constante durante la experimentación como se muestra en la Gráfica 7, en algunas situaciones se supera el umbral establecido como línea base, lo que representa una menor eficacia a comparación de los resultados obtenidos con los otros supresores.



Gráfica 7. Supresión de polvo con el aditivo químico Bivesoil

Mediante el procesamiento de los resultados obtenidos de cada tipo de supresor: H14, Dustex, Bivesoil y Earthbind, así como también tomando se línea base de comparación la aplicación de agua como supresor, se determinó como mejor supresor para el control de polvo al supresor Bivesoil alcanzando una eficacia de supresión del 82.3% sobre encima de 10% de la línea base establecida como comparación. Por otro lado, de acuerdo a la Gráfica 8, se puede demostrar que en promedio la eficacia de los otros supresores fueron de forma similar con una variación de 3%, no obstante, esto representa un efecto en la parte tanto de consumo de agua como la parte económica que más adelante se describe, a excepción del agua como tipo de supresor no se logra cumplir con lo establecido por legislación nacional.



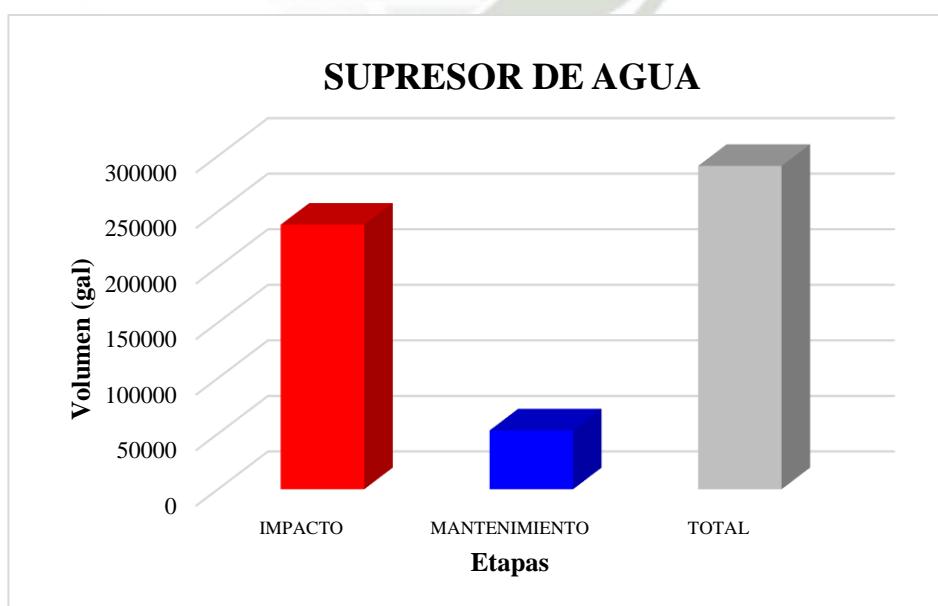
Gráfica 8. Análisis comparativo de eficiencia de los supresores químicos

1.4. Determinación del mejor tipo de supresor para la reducción del consumo de agua

Para el análisis comparativo de la reducción del consumo de agua de los diferentes tipos de supresores, se tomó como supresor de referencia el agua, ya que es el supresor aplicado actualmente por la unidad minera y el que se busca reemplazar debido a su alto consumo como también de no lograr alcanzar de forma constante la eficacia establecida con el marco normativo dispuesto. La cantidad de consumo de agua se estimó de acuerdo a la bitácora elaborada por el área de operación por un periodo de tiempo de 30 días de tratamiento y el cual se encuentra reportado en la parte Anexos.

- Agua

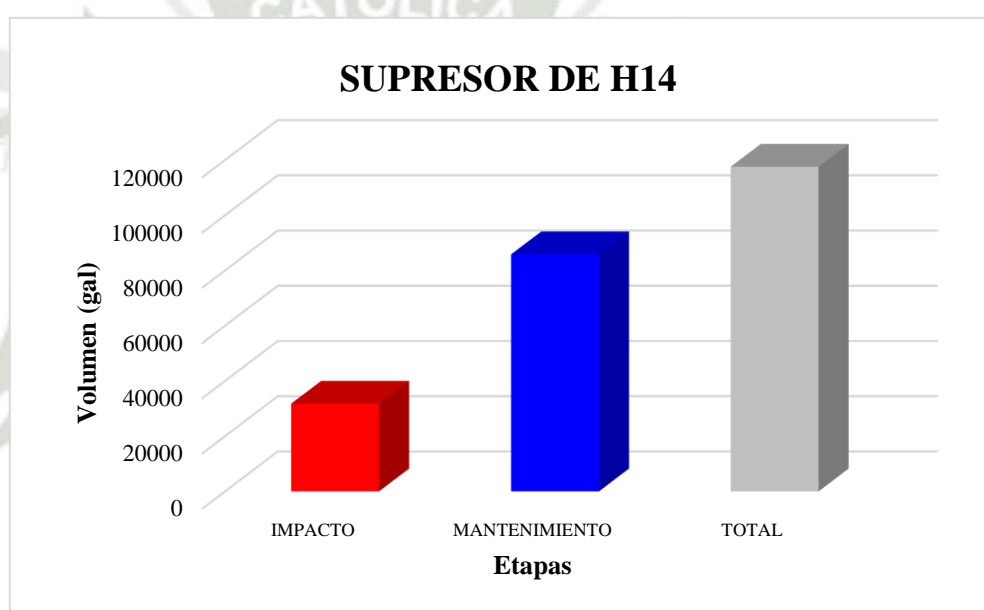
De acuerdo al procedimiento convencional de supresión de polvo, se utilizó el agua por un periodo de 30 días con una tasa de riego variable, donde los 10 primeros días fue una tasa de riego de 1.667 L/m² con 6 riegos por día, seguido del día 11 hasta el día 20 de 1.11 L/m² con 3 riegos, lo que representa el tratamiento de impacto y finalmente los días restantes una tasa de riego de 0.833 L/m² para el tratamiento de mantenimiento mediante 2 riegos, como se describe en la gráfica 9, hay consumo total de 158730 de galones de agua. Es importante, destacar con estas dosis de aplicación no llega alcanzar la eficacia mínima del 70% de supresión, así como también la estabilidad de supresión es variable por las tasas de evaporación de agua elevadas reportadas en la gráfica 1.



Gráfica 9. Volumen de consumo de Agua

- **H14**

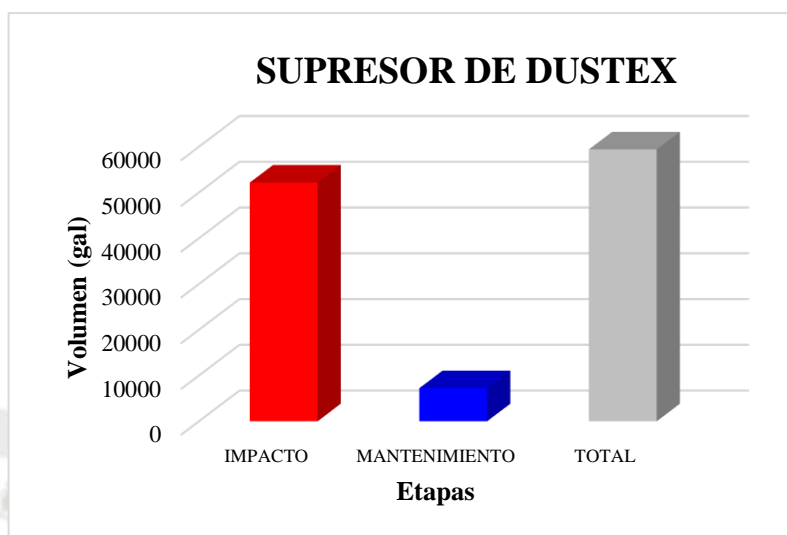
La aplicación del supresor del H14, consto de una la parte de impacto durante el tiempo de una semana con una tasa de riego de 0.429 L/m^2 y una dosis del supresor del 43%, y la segunda etapa de mantenimiento los 23 días restantes a una tasa de riego del aditivo de 0.143 L/m^2 esta fue variable con la dosis del supresor del día 8 hasta el 14 una dosis del 29% y el resto al 14% con una sola aplicación del día. La grafica 10, describe un consumo total de 117572 galones de agua, donde la mayor proporción de consumo de agua representa la etapa de mantenimiento.



Gráfica 10. Volumen de consumo del aditivo químico H14

- **Dustex**

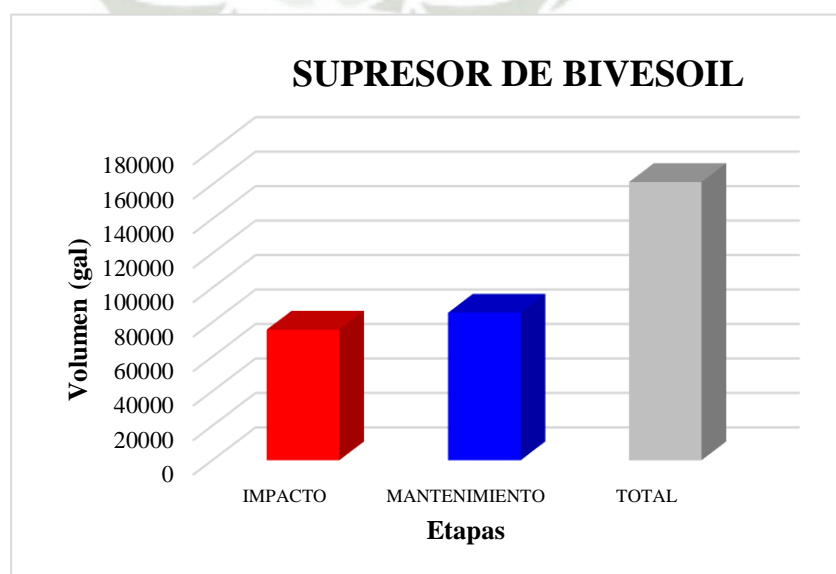
La aplicación del supresor Dustex presento un consumo total de 59414 galones de agua, distribuida en mayor proporción por la parte de impacto mediante la aplicación del supresor con una tasa de riego y dosis del aditivo entre ($1.231 - 1.300 \text{ L/m}^2$) y (26-10%) respectivamente durante los primero 15 días. Seguido de la segunda parte del mantenimiento con tasa de riego de 0.320 L/m^2 y dosis del 5% del supresor por los días restantes y el cual representa la mayor proporción de consumo de agua. Así también describiría que una vez alcanzado la estabilidad de la supresión esta implicaría menores consumos de agua para su mantenimiento.



Gráfica 11. Volumen de consumo del aditivo químico Dustex

- **Bivesoil**

La aplicación del aditivo químico de Bivesoil como supresor represento un consumo total de agua de 161455 galones de agua como se describe en la Grafica 12, repartidos casi de forma equitativa el gasto de agua, tanto para la parte de impacto con 75794 galones de agua únicamente por la aplicación de 4 días con una tasa de riego de 2.5 L/m² variándose diferentes concentraciones de aditivos y seguido del consumo mayor en la etapa mantenimiento de 85661 galones de agua con una tasa de riego de 0.3 L/m², dosis del supresor del 2% y la aplicación de 3 riegos durante el día por 26 días restantes.

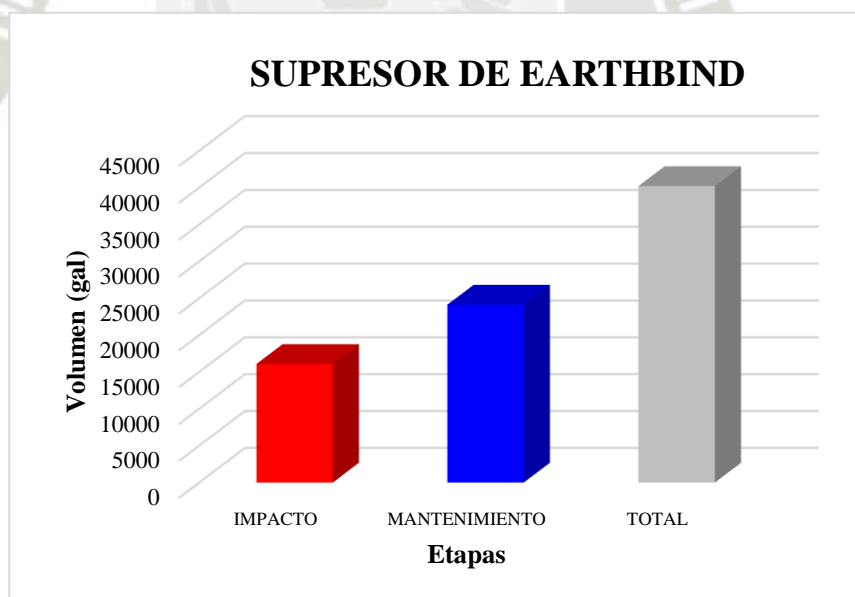


Gráfica 12. Volumen de consumo del aditivo químico Bivesoil

Dichos resultados señalan que en poco tiempo logra alcanzar la estabilidad de supresión (4 días) y lo que permite reducir en gran cantidad el consumo de agua del todo el proceso de tratamiento, como también la reducción del consumo del aditivo.

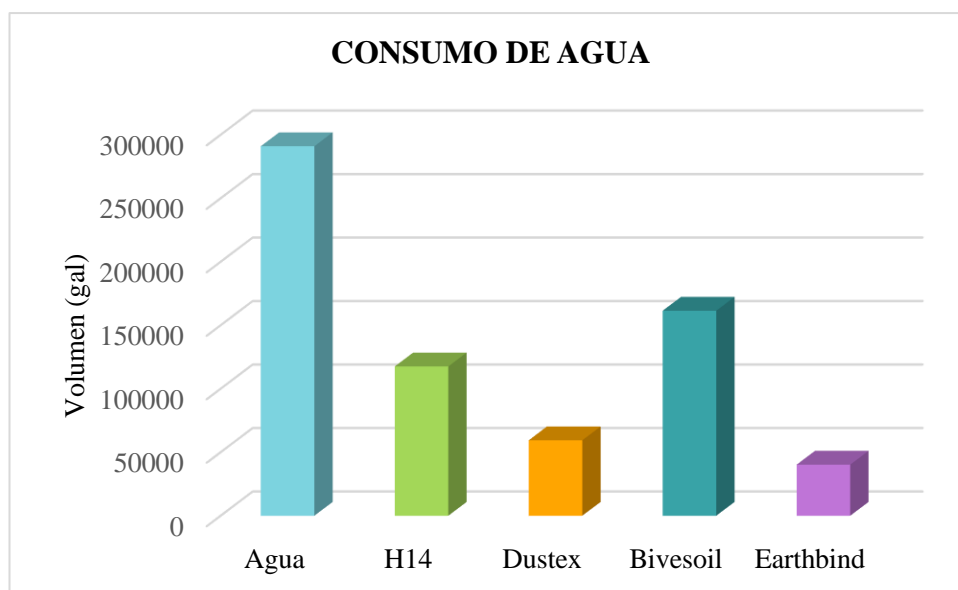
- **Earthbind**

Con la aplicación del supresor Earthbind se determinó un consumo total de agua de 40212 galones de agua descrito en la Grafica 13, donde alcanza la estabilidad de supresión en los primeros 4 días como parte de la etapa de impacto con un volumen de 16085 galones de agua con una tasa de riego de 0.633 L/m² con 3 riegos por día. Por otro lado, en la etapa de mantenimiento es superior a la de impacto, el cual representa un consumo de agua de 24127 galones de agua con una tasa de riego de 0.560 L/m² distribuidos únicamente en 6 riegos durante los 26 días restantes de la etapa de mantenimiento lo que permite reducir de forma muy significativa el consumo de agua en el tratamiento de supresión.



Gráfica 13. Volumen de consumo del aditivo químico Bivesoil

Con los resultados obtenidos de consumo de agua de cada tipo de supresor, se presenta en la Grafica 14 el análisis comparativo de cada aditivo, validándose inicialmente que el supresor convencional (agua) exige grandes volúmenes de agua llegando alcanzar un volumen aproximado de 300000 galones de agua y dicha diferencia es significativa a comparación de los otros supresores que no alcanzan ni el 50% de consumo de agua con el supresor convencional.



Gráfica 14. Análisis comparativo de consumo de agua de los supresores químicos

De los cuatro tipos de supresores químicos el aditivo de Bivesoil es de mayor consumo de agua no obstante de acuerdo a los resultados obtenidos en la eficacia de supresión es el de mayor eficacia alrededor del 80% lo que significa que dicho consumo se lograría reducir bajándose en la exigencia de supresión, en contraste el supresor con menor consumo de agua es el producto químico de Earthbind sin embargo, dicho supresor no alcanza la exigencia mínima de supresión del 70% de eficacia, dichas consideraciones deben ser evaluadas en la parte factibilidad tecno-económica.

1.5. Determinación de la factibilidad tecno-económica del mejor supresor para el control y reducción del consumo de agua

Con los resultados previos obtenidos anteriormente, tanto como eficacia y consumo de agua se determinó que dicha información es parcialmente muy similar en la parte de eficacia con un margen del 3% y por otro lado el consumo de agua está muy relacionada con el efecto de dilución del aditivo, lo que señala y justifica la importancia de realizarse el análisis de factibilidad tecno-económica para todos los supresores y no únicamente para el mejor supresor ya que dichas diferencias en todos los supresores tienen un gran efecto en la parte económica y permitirá la elección objetiva del mejor supresor para la aplicación de las rampas mineras.

Se toma como unidad funcional de análisis tecno-económico un periodo de tratamiento de 30 días de aplicación del producto, tomando en consideración la parte del

costo de aditivo que incluye el costo de transporte hasta la unidad minera y es variable para cada tipo de supresor ya que está en función de la dosis, costo del agua relacionado también con la dilución del supresor, los equipo y herramientas auxiliares son similares, la parte de mano de obra es variable en función de la cantidad de riegos y la exigencia de eficacia y el servicio de alquiler de las cisternas para la aplicación en función de las tasas de riego. A continuación, se presenta el análisis tecno-económico de los supresores como el agua, H14, Bivesoil y Earthbind respectivamente.

- **Agua**

El análisis tecno-económico de la aplicación del supresor convencional que es el agua, está fuertemente influenciada en la adquisición del servicio de tercero debido al costo por hora del alquiler de la cisterna que está directamente relacionado por las frecuencias de riego en todo el proceso de tratamiento con agua, dicha evaluación señala un valor de US\$ 83106.86 descrito en la Tabla 17.

Tabla 17. Análisis económico de la aplicación con agua

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | P.U (USD) | TOTAL (USD) |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|--------|--------------|----------------|
| SUMINISTRO DE MATERIALES | | | | | |
| 1 | Agua | 291005 | glns | \$0.01 | \$3,473.68 |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AUXILIARES | | | | | |
| 1 | Válvulas de aspersión | 3 | global | \$228.79 | \$686.37 |
| 2 | Llave de Bola/Compuerta | 2 | global | \$76.27 | \$152.54 |
| PERSONAL DE TRABAJO | | | | | |
| 1 | Ingeniero supervisor | 3 | global | \$921.05 | \$2,763.16 |
| 2 | Personal técnico | 6 | global | \$526.32 | \$3,157.89 |
| SERVICIO TERCERO | | | | | |
| 1 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 5000 glns | 1 | global | \$21,315.79 | \$21,315.79 |
| 2 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 9000 glns | 1 | global | \$35,526.32 | \$35,526.32 |

| | |
|------------------------|--------------------|
| COSTO DIRECTO | \$67,075.75 |
| Gastos Generales (5%) | \$3,353.79 |
| SUB TOTAL (USD) | \$70,429.54 |
| I.G.V (18%) | \$12,677.32 |
| TOTAL (USD) | \$83,106.86 |

- **H14**

Se determino un gasto total económico para el tratamiento por un mes del supresor de H14 por un valor de US\$ 62348.43, de acuerdo a la Tabla 18 dicho gasto está representado en mayor proporción de un 64 % del gasto total en gastos del consumo del aditivo debido que la aplicación del químico H14 se encuentra en una dosis de 43% y 29% para impacto y mantenimiento respectivamente.

Tabla 18. Análisis económico de la aplicación con supresor químico H14

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | P.U (USD) | TOTAL (USD) |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------|--------|------------|-------------|
| SUMINISTRO DE MATERIALES | | | | | |
| 1 | Aditivo del supresor de polvo H14 | 49888 | glns | \$0.80 | \$39,789.75 |
| 2 | Agua | 117572 | glns | \$0.01 | \$1,403.44 |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AUXILIARES | | | | | |
| 1 | Válvulas de aspersión | 3 | global | \$228.79 | \$686.37 |
| 2 | Llave de Bola/Compuerta | 2 | global | \$76.27 | \$152.54 |
| PERSONAL DE TRABAJO | | | | | |
| 1 | Ingeniero supervisor | 1 | global | \$921.05 | \$921.05 |
| 2 | Personal técnico | 2 | global | \$526.32 | \$1,052.63 |
| SERVICIO TERCERO | | | | | |
| 1 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 5000 glns | 1 | global | \$2,368.42 | \$2,368.42 |
| 2 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 9000 glns | 1 | global | \$3,947.37 | \$3,947.37 |

| | |
|------------------------|--------------------|
| COSTO DIRECTO | \$50,321.57 |
| Gastos Generales (5%) | \$2,516.08 |
| SUB TOTAL (USD) | \$52,837.65 |
| I.G.V (18%) | \$9,510.78 |
| TOTAL (USD) | \$62,348.43 |

- **Dustex**

De la misma forma el análisis tecno-económico del supresor Dustex presenta un gasto total del US\$ 82194.05 por el tratamiento de un mes, donde más del 70%

representa los gastos del costo de aditivo y que a diferencia de otros supresores este presenta un mayor costo unitario, aun así, la cantidad del supresor sea menor, tal cual como lo presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Análisis económico de la aplicación con supresor químico Dustex

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | P.U (USD) | TOTAL (USD) |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|--------|--------------|----------------|
| SUMINISTRO DE MATERIALES | | | | | |
| 1 | Aditivo del supresor de polvo Dustex | 9032 | glns | \$6.59 | \$59,560.64 |
| 2 | Agua | 59414 | glns | \$0.01 | \$709.21 |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AUXILIARES | | | | | |
| 1 | Válvulas de aspersión | 3 | global | \$228.79 | \$686.37 |
| 2 | Llave de Bola/Compuerta | 2 | global | \$76.27 | \$152.54 |
| PERSONAL DE TRABAJO | | | | | |
| 1 | Ingeniero supervisor | 1 | global | \$921.05 | \$921.05 |
| 2 | Personal técnico | 2 | global | \$526.32 | \$1,052.63 |
| SERVICIO TERCERO | | | | | |
| 1 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 12000 glns | 1 | global | \$2,368.42 | \$2,368.42 |
| 2 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 4000 glns | 1 | global | \$888.16 | \$888.16 |

| | |
|------------------------|--------------------|
| COSTO DIRECTO | \$66,339.03 |
| Gastos Generales (5%) | \$3,316.95 |
| SUB TOTAL (USD) | \$69,655.98 |
| I.G.V (18%) | \$12,538.08 |
| TOTAL (USD) | \$82,194.05 |

- **Bivesoil**

De acuerdo al análisis tecno-económico del supresor de Bivesoil se estima un gasto mensual de alrededor de US\$ 46695.66 como se describe en la Tabla 20. Donde el gasto del aditivo representa alrededor del 60%, a diferencia de todos los supresores este presenta el menor impacto económico, esto se explica debido que este tratamiento el costo unitario del supresor es menor como también se reduce la cantidad de químico por dosis entre el 2% al 6% mucho menor a diferencia de otros.

Tabla 20. Análisis económico de la aplicación con supresor químico Bivesoil

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | P.U (USD) | TOTAL (USD) |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------|--------|--------------|----------------|
| SUMINISTRO DE MATERIALES | | | | | |
| 1 | Aditivo del supresor de polvo Bivesoil | 5320 | glns | \$5.37 | \$28,553.59 |
| 2 | Agua | 161455 | glns | \$0.01 | \$1,927.26 |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AUXILIARES | | | | | |
| 1 | Válvulas de aspersión | 3 | global | \$228.79 | \$686.37 |
| 2 | Llave de Bola/Compuerta | 2 | global | \$76.27 | \$152.54 |
| PERSONAL DE TRABAJO | | | | | |
| 1 | Ingeniero supervisor | 1 | global | \$921.05 | \$921.05 |
| 2 | Personal técnico | 3 | global | \$526.32 | \$1,578.95 |
| SERVICIO TERCERO | | | | | |
| 1 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 9000 glns | 1 | global | \$789.47 | \$789.47 |
| 2 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 4000 glns | 1 | global | \$3,078.95 | \$3,078.95 |

| | |
|------------------------|--------------------|
| COSTO DIRECTO | \$37,688.18 |
| Gastos Generales (5%) | \$1,884.41 |
| SUB TOTAL (USD) | \$39,572.59 |
| I.G.V (18%) | \$7,123.07 |
| TOTAL (USD) | \$46,695.66 |

- **Earthbind**

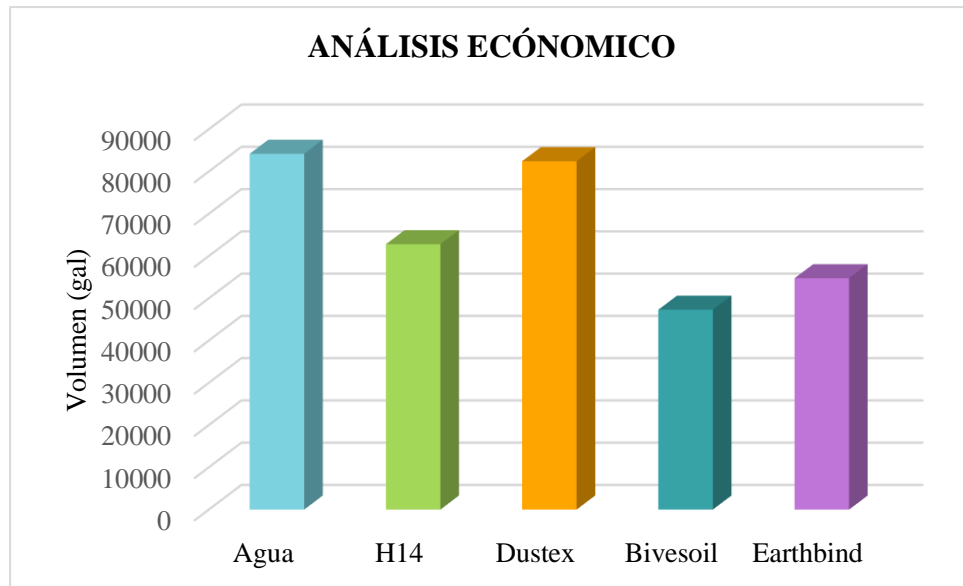
La aplicación del supresor de EarthBind representa un gasto total económico de US\$ de 80014.69, donde el mayor impacto de la misma forma es el costo unitario es elevado a diferencia de los otros supresores aun a pesar que la cantidad sea menor y esto eleva el costo económico aun el consumo de agua sea menor debido que el costo de agua es muy inferior al costo del aditivo y no tiene mucha relevancia, esto se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. Análisis económico de la aplicación con supresor químico Earthbind

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | P.U (USD) | TOTAL (USD) |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------|--------|--------------|----------------|
| SUMINISTRO DE MATERIALES | | | | | |
| 1 | Aditivo del supresor de polvo EarthBind | 6541 | glns | \$8.51 | \$55,629.00 |
| 2 | Agua | 40212 | glns | \$0.01 | \$480.00 |
| EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AUXILIARES | | | | | |
| 1 | Barra Rociadora | 1 | global | \$50.00 | \$50.00 |
| PERSONAL DE TRABAJO | | | | | |
| 1 | Ingeniero supervisor | 1 | global | \$921.05 | \$921.05 |
| 2 | Personal técnico | 3 | global | \$526.32 | \$1,578.95 |
| SERVICIO TERCERO | | | | | |
| 1 | Alquiler de camión cisterna 4x2 de 5000 glns | 1 | global | \$5,921.05 | \$5,921.05 |

| | |
|------------------------|--------------------|
| COSTO DIRECTO | \$64,580.05 |
| Gastos Generales (5%) | \$3,229.00 |
| SUB TOTAL (USD) | \$67,809.06 |
| I.G.V (18%) | \$12,205.63 |
| TOTAL (USD) | \$80,014.69 |

De acuerdo al análisis comparativo económico descrito en la Grafica 15, se ha determinado que el supresor del tipo Bivesoil presenta el menor gasto económico logrando alcanzar la eficacia deseada y reducir el consumo de agua, en contraste a otros tratamientos que el aditivo de Earthbind y Dustex se asemeja al costo del tratamiento convencional con agua debido al elevado costo del producto. Por otro lado, el segundo menor gasto es la aplicación del aditivo H14, sin embargo, este aun es relativamente superior al Bivesoil debido que se aplicada grandes volúmenes de producto aun a pesar que el costo del producto sea el más inferior comparado a otros.



Gráfica 15. Análisis comparativo del gasto económico de los supresores químicos



DISCUSIÓN

Los experimentos se realizaron durante un periodo de tratamiento de 30 días, tomándose en cuenta el concepto de la durabilidad del tratamiento como un indicador de eficiencia a largo plazo, sin embargo un tiempo mayor a 30 días se reduce significativamente la eficiencia, y tal como se demuestra en el estudio realizado por los autores (Zhang et al., 2024) donde utilizan diferentes supresores comerciales y se verifico los diversos grados de reducción de eficiencia alrededor de 35 a 45%. Razón por la cual, se vio necesario el tratamiento únicamente de un periodo de un mes y como línea base de eficiencia del 70%, dicho tratamiento fue dividido por la etapa de impacto y mantenimiento, durante los cuales se realizaron observaciones y mediciones de muestreo de 5 veces por día.

Se ha determinado que el supresor que alcanza la mejor eficacia es la aplicación del aditivo de Bivesoil con un 82.3% de eficiencia superior a línea base establecida, estos resultados señalan la mejor alternativa de tratamiento de control de polvo. La efectividad del supresor puede ser explicada por presentar una alta capacidad de retención de agua y por lo consecuente una menor tasa de evaporación esto puede ser atribuido a la abundancia de compuestos hidroxilos, grupo carboxilos presentes en la composición del supresor (Huang et al., 2021; Ren et al., 2019) y mejor aún la presencia de grupos funcionales como los esteres presente en la adición aproximada del 20% del supresor por esteres vegetales lo que conduce a la formación de enlaces de hidrogeno con el agua, mejorando así las interacciones entre el supresor del polvo y el agua (Du et al., 2021), resultados similares obtuvieron los autores .En contraste a las aplicaciones de los otros supresores comerciales que ninguno presenta en su composición grupos funcionales como los esteres.

Basándonos en los hallazgos de los experimentos, se puede inducir el mecanismo de supresión donde particularmente existe una importancia de las características fisicoquímicas del supresor, donde viscosidades menores facilitan la distribución eficiente en la superficie, lo que conlleva a una rápida infiltración y penetración en las partículas de polvo (Shao et al., 2022; Wu et al., 2022). Como se describe en las propiedades fisicoquímicas de Bivesoil (Tabla 7) presenta la menor viscosidad en comparación con los otros aditivos químicos, y le proporciona una excelente capacidad de dispersión del producto, consecuentemente la retención de agua, que a su vez minimiza la perdida de humedad de la superficie (Bao et al., 2019)

Adicionalmente la capacidad de retención de agua del supresor no se debe a los enlaces formados, sino también a los cambios estructurales que se producen en el suelo, el cual es inducido por la adición del supresor de polvo (Zhou et al., 2021). Donde la proporción de macro agregados se correlacionarían con una mayor capacidad de retención del suelo, esto se explica que existen unas fuerzas interactivas de interpartículas y promueven la aglomeración entre las partículas del suelo.

En la parte de la evaluación del consumo de agua, de acuerdo a la Grafica 14 existe una reducción aproximada del 55% de consumo de agua frente al tratamiento convencional, esta reducción del consumo de agua presenta un gran impacto en la parte del análisis tecno-económico. Estos resultados se asimilan a los descritos por los autores (Guivar & Zelada, 2018) que de la misma forma realizaron la comparación de supresores de polvo como el Dasaut, dl10 plues y knockout dustply, donde se valida dos indicadores cruciales y que son diferentes para cada supresor, es decir se puede presentar una buena eficiencia de supresión pero un alto consumo de agua o de forma inversa una reducida eficiencia pero un bajo de consumo lo que justifica la importancia de la evaluación comparativa a través de un análisis tecno-económico, donde se determinó que la mejor eficiencia de supresión fue de 91.89% con una reducción del 60% del consumo de agua con el aditivo químico dl10 plus, dicho aditivo también fue evaluado por los autores (Infante Ayay, 2022) donde se obtuvieron una reducción del consumo de agua del 50% y una eficiencia del 78% de control de polvo pero con menores recursos empleados.

Por otro lado en este estudio se determinó una eficiencia del 82.3% y una reducción del consumo de agua al 55%, sin embargo en la evaluación tecno-económica del dl10 plues presenta un costo de tratamiento de 2 382 US\$/ día para el dl10 plues y 1 575 US\$/día con la aplicación del supresor Bivesoil, estos resultados pueden señalar que la mejor alternativa de tratamiento representaría la aplicación del Bivesoil aun conociendo que la eficiencia es menor comparada a otros supresores comerciales, pero lo suficiente para el cumplimiento de lo exigido por la parte del marco legal nacional, pero sobre todo presenta un efecto significativo en la parte económica, porque se estaría reduciendo gastos de alrededor de 442 682 US\$ anuales.

En la actualidad existe una diversidad de aditivos químicos pero el gran interés de la empresas mineras es que sea factible tanto económicamente, ambiental y socialmente, los excelentes resultados alcanzados ha permitido la evaluación de una nueva alternativa de tratamiento frente al tratamiento convencional con agua mediante la aplicación del supresor Bivesoil, permitiendo obtener rampas libre de polvo, lograr mejores condiciones laborales para

los operarios y trabajadores del área de acarreo, voladura entre otras, aumento en la seguridad e higiene en la operación, pero sobre todo reducir el impacto ambiental el cual es un objeto invaluable.

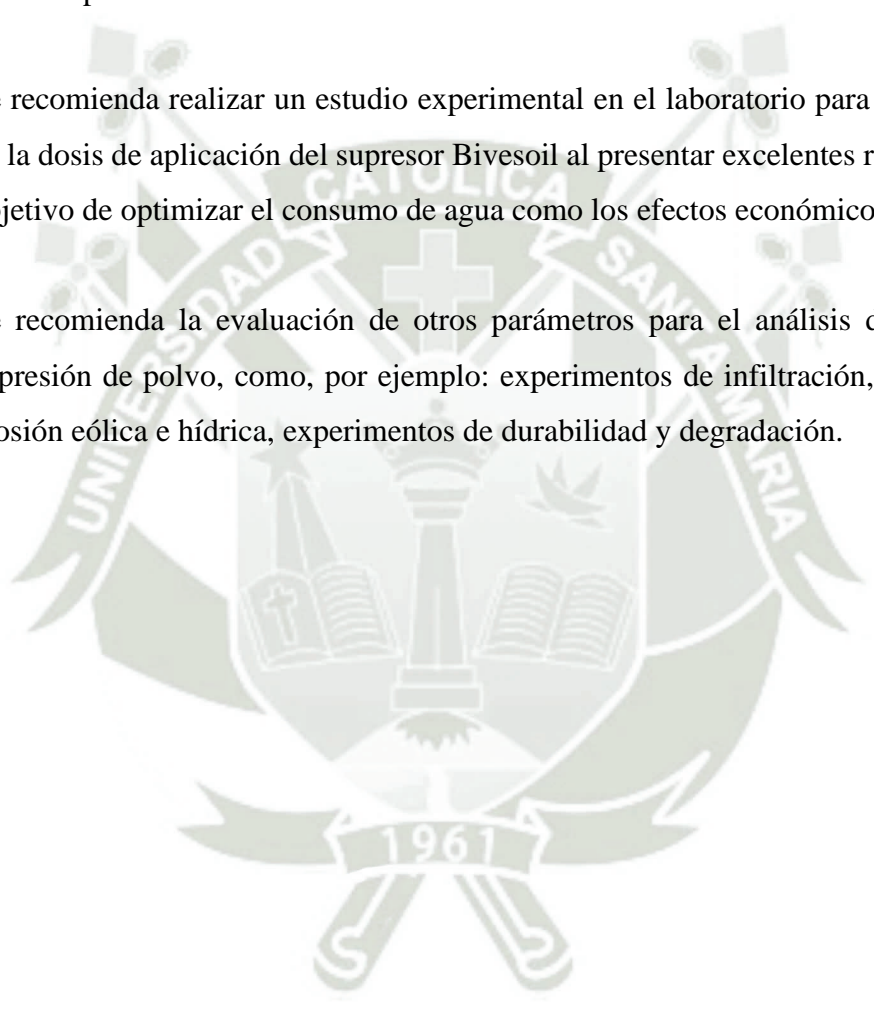


CONCLUSIONES

- Se realizó la evaluación técnica del tratamiento convencional mediante el uso exclusivo de agua para la supresión de polvo en la rampa de la unidad minera, determinándose una eficiencia promedio del 58% y un consumo de agua de 291 005 galones de agua por tratamiento, así también se determinó la tasa de evaporación en la rampa piloto obteniendo un tiempo de 11 minutos donde la rampa pasó de estado húmedo a un estado superficialmente seco de la rampa, estos resultados alcanzados fueron la línea base de comparación para los otros aditivos.
- Se determinó que el mejor supresor para el control de polvo en la rampa minera fue la aplicación del aditivo Bivesoil con una eficiencia superior al 80% con una concentración promedio de partícula de $621.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una estabilidad de supresión alrededor de una semana.
- Se determinó que el aditivo químico que presentó menor consumo de agua fue la aplicación del supresor EarthBind con un volumen total de 40 212 galones por tratamiento, que es 7 veces menor que la aplicación con agua, sin embargo, la eficiencia alcanzada es del 69.3%.
- Se determinó el análisis tecno-económico de los cuatro diferentes supresores como un indicador crucial para la elección del mejor supresor, encontrándose como mejor alternativa la aplicación del supresor Bivesoil al presentar una buena eficiencia con un costo de tratamiento de 1575 US\$/día, pero sobre todo una reducción de gastos alrededor de 442 682 US\$ anuales frente al tratamiento convencional.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener una base de datos constante de la aplicación del supresor elegido para una herramienta de toma de decisiones.
- Se recomienda tomar en cuenta las condiciones climatológicas del área de estudio, ya que esto puede alterar los resultados obtenidos.
- Se recomienda realizar un estudio experimental en el laboratorio para la optimización de la dosis de aplicación del supresor Bivesoil al presentar excelentes resultados con el objetivo de optimizar el consumo de agua como los efectos económicos.
- Se recomienda la evaluación de otros parámetros para el análisis de eficiencia de supresión de polvo, como, por ejemplo: experimentos de infiltración, resistencia a la erosión eólica e hídrica, experimentos de durabilidad y degradación.



REFERENCIAS

- Alvarez, C. S. P. (2019). Evaluación técnica - económica del supresor DL10 Plus para control de polvo en el mantenimiento de vías internas de la minera Yanacocha SRL.
- Andrés Brauer, D., Giubergia, A. A., & Gil-Costa, V. (2019). Evaluación de productos para el control de polvo ambiental en caminos mineros.
- Bao, Q., Nie, W., Liu, C., Liu, Y., Zhang, H., Wang, H., & Jin, H. (2019). Preparation and characterization of a binary-graft-based, water-absorbing dust suppressant for coal transportation. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(7), 1–11. <https://doi.org/10.1002/app.47065>
- Du, M., Lu, W., Zhang, Y., Mata, A., & Fang, Y. (2021). Natural polymer-sourced interpenetrating network hydrogels: Fabrication, properties, mechanism and food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 116(June), 342–356. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.031>
- Fan, T., Zhou, G., & Wang, J. (2018). Preparation and characterization of a wetting-agglomeration-based hybrid coal dust suppressant. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.10.023>
- Guivar, P. P. M., & Zelada, A. R. (2018). *Estudio comparativo de supresores de polvo Dasaut, DL 10 Plus y Knockout Dustply para la mitigación de material particulado en vías Yanacocha 2018*.
- Gustafson, A., Paraszczak, J., Tuleau, J., & Schunnesson, H. (2017). Impact of technical and operational factors on effectiveness of automatic load-haul-dump machines. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*, 126(4), 185–190. <https://doi.org/10.1080/14749009.2017.1285980>
- Huang, Z., Huang, Y., Yang, Z., Zhang, J., Zhang, Y., Gao, Y., Shao, Z., & Zhang, L. (2021). Study on the physicochemical characteristics and dust suppression performance of new type chemical dust suppressant for copper mine pavement. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(42), 59640–59651. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14917-z>
- Infante Ayay, L. (2022). *Uso de supresor DL10 Plus para la mitigación de polvo y reducción del consumo de agua en el mantenimiento de vías por la Empresa Contratista Santa Rosa S.G EIRL en la Unidad Minera Cerro Corona, Cajamarca*.
- Ingeniería de Caminos. (2016). *Informe Mensual Emisiones de Material Particulado en Caminos Julio 2016*.
- Jaimes León, C. F. (2016). *Evaluación del efecto del supresor de polvo en el procesamiento de minerales auríferos a nivel de laboratorio*.
- Jindal, S. K. (2013). *Silicosis in India: past and present*. 163–168. <https://doi.org/10.1097/MCP.0b013e32835bb19e>
- Kühn, D., & Eberhardt, E. (2023). A classification of soil solid material for natural and anthropogenic soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 186(5), 507–521. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200444>
- Leung, C. C., Tak, I., Yu, S., & Chen, W. (2012). *Silicosis*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60235-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60235-9)

- Lewis, S., & Rosales, J. (2020). *Restoration of Forested Lands under Bauxite Mining with Emphasis on Guyana during the First Two Decades of the XXI Century : A Review*. 41–67. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.811003>
- Liu, R., Zhou, G., Wang, C., Jiang, W., & Wei, X. (2020). Preparation and performance characteristics of an environmentally-friendly agglomerant to improve the dry dust removal effect for filter material. *Journal of Hazardous Materials*, 397(March), 122734. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122734>
- Liu, Q., Nie, W., Hua, Y., Peng, H., Liu, C., & Wei, C. (2019). Research on tunnel ventilation systems: Dust Diffusion and Pollution Behaviour by air curtains based on CFD technology and field measurement. *Building and Environment*, 147, 444–460. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.061>
- Marín Serna, G. L. (2011). *Edafología I* (Primera Ed). <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Mingyue, W., Xiangming, H., Qian, Z., Wei, L., Yanyun, Z., & Zhenglong, H. (2020). Study on preparation and properties of environmentally-friendly dust suppressant with semi-interpenetrating network structure. *Journal of Cleaner Production*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120870>
- Ministerio de Energía y Minas. (2003). *Glosario Técnico Minero*. <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Nie, W., Ma, X., Cheng, W., Liu, Y., Xin, L., Peng, H., & Wei, W. (2016). A novel spraying/negative-pressure secondary dust suppression device used in fully mechanized mining face: A case study. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.07.003>
- Occupational Safety and Health Administration, O. (2010). *Occupational exposure to respirable crystalline silica—review of health effects literature and preliminary quantitative risk assessment*.
- Oyarzún, R., Higuera, P., & Lillo, J. (2011). Minería Ambiental. Una introducción a los Impactos y su Remediación. *GEMM - Aula2punto.net*, 1–337.
- Pandey, J. K. (2012). Dust control practices in the Indian mining industry. *12th Coal Operators' Conference University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, February*, 185–192.
- Ping, C., & Guang, X. (2017). International Journal of Mining Science and Technology A review of the health effects and exposure-responsible relationship of diesel particulate matter for underground mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(5), 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.020>
- Potter, N. A., Meltzer, G. Y., Avenbuan, O. N., Raja, A., & Zelikoff, J. T. (2021). *Particulate Matter and Associated Metals : A Link with Neurotoxicity and Mental Health*. 1–10.
- Ren, X., Xue, D., Li, Y., Hu, X., Shao, Z., Cheng, W., Dong, H., Zhao, Y., Xin, L., & Lu, W. (2019). Novel sodium silicate/polymer composite gels for the prevention of spontaneous combustion of coal. *Journal of Hazardous Materials*, 371(March), 643–654. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.041>
- Sánchez y Escribano, F. (1940). Diccionario de la lengua española , por la Real Academia Española. *Revista Iberoamericana*, 2(4), 514–517. <https://doi.org/10.5195/reviberoamer.1940.870>

- Shao, Z., Dong, H., Cheng, W., Wu, M., Zhao, Y., Wei, J., Hu, X., Xue, D., Li, Y., & Yu, X. (2022). Preparation of Mussel-Inspired Stable-Bonding Dust Binders for Fugitive Dust Control. *ACS Applied Polymer Materials*, 4(8), 5341–5354. <https://doi.org/10.1021/acsapm.2c00367>
- Usca, V. J. (2021). Análisis del aditivo H14, para mejorar las vías de acarreo y reducir los cotos en la unidad minera Apumayo.
- Wang, H., Nie, W., Cheng, W., Liu, Q., & Jin, H. (2018a). Effects of air volume ratio parameters on air curtain dust suppression in a rock tunnel's fully-mechanized working face. *Advanced Powder Technology*, 29(2), 230–244. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.11.007>
- Wang, H., Nie, W., Cheng, W., Liu, Q., & Jin, H. (2018b). Effects of air volume ratio parameters on air curtain dust suppression in a rock tunnel's fully-mechanized working face. *Advanced Powder Technology*, 29(2), 230–244. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.11.007>
- Wang, J., Fu, Z., Qiao, H., & Liu, F. (2019). Assessment of eutrophication and water quality in the estuarine area of Lake Wuli, Lake Taihu, China. *Science of the Total Environment*, 650, 1392–1402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.137>
- Wei, X., Wang, H., Xie, Y., & Du, Y. (2020). An experimental investigation on the effect of carboxymethyl cellulose on morphological characteristics of dust-suppression foam and its mechanism exploration. *Process Safety and Environmental Protection*, 135, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.009>
- World Health Organization. (1999). *Control in the Work Environment: Airborne Particle. Prevention and Control Exchange (PACE)*.
- Wu, M., Hu, X., Zhang, Q., Zhao, Y., Cheng, W., & Xue, D. (2022). Preparation and performance of a biological dust suppressant based on the synergistic effect of enzyme-induced carbonate precipitation and surfactant. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8423–8437. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16307-x>
- Zhang, S., Cao, X., Xue, W., Liu, W., Guo, Y., Li, T., Cui, X., Duan, H., Shan, S., Pan, R., Liu, J., & Cui, Z. (2024). Preparation, characterization, and synergistic soil moisture retention effects of a by-product-based dust suppressant for fugitive dust suppression. *Atmospheric Pollution Research*, 15(3), 102004. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.102004>
- Zhou, C., Huang, W., Qiu, S., & Liu, Z. (2021). A quantitative study on the amount of water-retaining agent based on adhesive-modified red bed weathered soil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(4), 3139–3150. <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02113-9>

ANEXOS

I. Registro de consumo de agua

| DOSIS DE IMPACTO | | | | | |
|------------------|-------------|------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| FECHA | N° DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | VOLUMEN DE AGUA (L) | VOLUMEN TOTAL DE AGUA (L) | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
| Día 1 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 2 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 3 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 4 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 5 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 6 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 7 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 8 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 9 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 10 | 6 riegos | 18000 | 10000 | 60000 | 3.333 |
| Día 11 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 12 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 13 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 14 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 15 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 16 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 17 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 18 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 19 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |
| Día 20 | 3 riegos | 18000 | 10000 | 30000 | 1.667 |

| DOSIS DE MANTENIMIENTO | | | | | |
|------------------------|-------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|
| FECHA | N° DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | VOLUMEN DE AGUA (L) | VOLUMEN TOTAL ADITIVO + AGUA | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
| Día 21 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 22 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 23 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |

| | | | | | |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Día 24 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 25 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 26 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 27 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 28 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 29 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |
| Día 30 | 2 riegos | 12000 | 10000 | 20000 | 1.667 |

II. Registro de consumo y dosificación del aditivo H14

DOSIS DE IMPACTO

| FECHA/ SEMANA 1 | Nº DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | TASA DE RIEGO DE AGUA + ADITIVO (L/m ² xdía) | DOSIS DE SUPRESOR (%) | ADITIVO (%) | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
|--------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| Día 1 | 1 riego | 30000 | 1 | 43% | 12857 | 0.429 |
| Día 2 | 1 riego | 30000 | 1 | 43% | 12857 | 0.429 |
| Día 3 | 1 riego | 30000 | 1 | 43% | 12857 | 0.429 |
| Día 4 | 1 riego | 30000 | 1 | 43% | 12857 | 0.429 |
| Día 5 | 1 riego | 30000 | 1 | 43% | 12857 | 0.429 |
| Día 6 | 1 riego | 30000 | 1 | 43% | 12857 | 0.429 |
| Día 7 | 1 riego | 30000 | 1 | 43% | 12857 | 0.429 |

DOSIS DE REFUERZO

| FECHA/ SEMANA 2 | Nº DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | TASA DE RIEGO DE AGUA + ADITIVO (L/m ² xdía) | DOSIS DE SUPRESOR (%) | ADITIVO (%) | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
|--------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| Día 8 | 1 riego | 30000 | 0.5 | 29% | 4286 | 0.143 |
| Día 9 | 1 riego | 30000 | 0.5 | 29% | 4286 | 0.143 |
| Día 10 | 1 riego | 30000 | 0.5 | 29% | 4286 | 0.143 |
| Día 11 | 1 riego | 30000 | 0.5 | 29% | 4286 | 0.143 |
| Día 12 | 1 riego | 30000 | 0.5 | 29% | 4286 | 0.143 |
| Día 13 | 1 riego | 30000 | 0.5 | 29% | 4286 | 0.143 |
| Día 14 | 1 riego | 30000 | 0.5 | 29% | 4286 | 0.143 |

DOSIS DE REFUERZO

| FECHA/ SEMANA 3 | Nº DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | TASA DE RIEGO DE AGUA + ADITIVO (L/m ² xdía) | DOSIS DE SUPRESOR (%) | ADITIVO (%) | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
|--------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| Día 15 | 1 riego | 30000 | 1 | 14% | 4286 | 0.143 |
| Día 16 | 1 riego | 30000 | 1 | 14% | 4286 | 0.143 |
| Día 17 | 1 riego | 30000 | 1 | 14% | 4286 | 0.143 |
| Día 18 | 1 riego | 30000 | 1 | 14% | 4286 | 0.143 |
| Día 19 | 1 riego | 30000 | 1 | 14% | 4286 | 0.143 |
| Día 20 | 1 riego | 30000 | 1 | 14% | 4286 | 0.143 |
| Día 21 | 1 riego | 30000 | 1 | 14% | 4286 | 0.143 |

DOSIS DE REFUERZO

| FECHA/ SEMANA 4 | Nº DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | TASA DE RIEGO DE AGUA + ADITIVO (L/m ² xdía) | DOSIS DE SUPRESOR (%) | ADITIVO (%) | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
|--------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| Día 22 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 23 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 24 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 25 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 26 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 27 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 28 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 29 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |
| Día 30 | 1 riego | 30000 | 0.4 | 36% | 4286 | 0.143 |

III. Registro de consumo y dosificación del aditivo Dustex

DOSIS DE IMPACTO

| Nº DE RIEGO | FECHA | Nº DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | DOSIS DEL ADITIVO (L/m ²) | % DILUCIÓN CON AGUA | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
|----------------|--------|----------------|---------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Riego 1 | Día 1 | 1 riego | 30000 | 0.32 | 26% | 1.231 |
| Riego 2 | Día 2 | 1 riego | 30000 | 0.19 | 15% | 1.267 |
| Riego 3 | Día 4 | 1 riego | 30000 | 0.19 | 15% | 1.267 |
| Riego 4 | Día 6 | 1 riego | 30000 | 0.13 | 10% | 1.300 |
| Riego 5 | Día 10 | 1 riego | 30000 | 0.13 | 10% | 1.300 |
| Riego 6 | Día 15 | 1 riego | 30000 | 0.13 | 10% | 1.300 |

| DOSIS DE MANTENIMIENTO | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|
| N° DE RIEGO | FECHA | N° DE RIEGO | SUPERFICIE (m²) | DOSIS DEL ADITIVO (L/m²) | % DILUCIÓN CON AGUA | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m²) |
| Riego 7 | Día 20 | 1 riego | 30000 | 0.016 | 5% | 0.320 |
| Riego 8 | Día 25 | 1 riego | 30000 | 0.016 | 5% | 0.320 |
| Riego 9 | Día 30 | 1 riego | 30000 | 0.016 | 5% | 0.320 |

IV. Registro de consumo y dosificación del aditivo Bivesoil

| DOSIS DE IMPACTO | | | | | |
|-------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|
| FECHA | N° DE RIEGO | SUPERFICIE (m²) | TASA DE RIEGO DE AGUA + ADITIVO (L/m²) | DOSIS DE SUPRESOR (%) | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m²) |
| Día 1 | 3 riego | 30000 | 2.5 | 2% | 0.05 |
| Día 2 | 1 riego | 30000 | 2.5 | 6% | 0.15 |
| Día 3 | 1 riego | 30000 | 2.5 | 4% | 0.1 |
| Día 4 | 1 riego | 30000 | 2.5 | 6% | 0.15 |

| DOSIS DE MANTENIMIENTO | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| FECHA | N° DE RIEGO | SUPERFICIE (m²) | DOSIS DE SUPRESOR (%) | TASA DE RIEGO X RIEGO (L/m²) | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO X RIEGO (L/m²) | PROGRAMA |
| Día 5 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 6 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 7 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 8 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 9 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 10 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 11 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 12 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 13 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 14 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 15 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |

| | | | | | | |
|--------|----------|-------|----|------|-------|-----------------------------|
| Día 16 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 17 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 18 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 19 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 20 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 21 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 22 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 23 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 24 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 25 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 26 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 27 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 28 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 29 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |
| Día 30 | 3 riegos | 30000 | 2% | 0.30 | 0.008 | 2 Riegos día/ 1 Riego noche |

V. Registro de consumo y dosificación del aditivo Earthbind

| DOSIS DE IMPACTO | | | | | | |
|------------------|-------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| FECHA | Nº DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | DOSIS DEL ADITIVO (L/m ²) | VOLUMEN DEL ADITIVO (L) | % DILUCIÓN CON AGUA | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
| Día 1 | 3 riegos | 30000 | 0.13 | 3800 | 20% | 0.633 |
| Día 2 | 3 riegos | 30000 | 0.13 | 3800 | 20% | 0.633 |
| Día 3 | 3 riegos | 30000 | 0.12 | 3724 | 20% | 0.631 |
| Día 4 | 3 riegos | 30000 | 0.13 | 3800 | 20% | 0.633 |

| DOSIS DE MANTENIMIENTO | | | | | | |
|------------------------|-------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| FECHA | Nº DE RIEGO | SUPERFICIE (m ²) | DOSIS DEL ADITIVO (L/m ²) | VOLUMEN DEL ADITIVO (L) | % DILUCIÓN CON AGUA | TASA DE RIEGO DEL ADITIVO (L/m ²) |
| Día 8 | 1 riego | 30000 | 0.05 | 1600 | 10% | 0.560 |
| Día 12 | 1 riego | 30000 | 0.05 | 1600 | 10% | 0.560 |
| Día 16 | 1 riego | 30000 | 0.05 | 1600 | 10% | 0.560 |
| Día 20 | 1 riego | 30000 | 0.05 | 1600 | 10% | 0.560 |
| Día 25 | 1 riego | 30000 | 0.05 | 1600 | 10% | 0.560 |
| Día 30 | 1 riego | 30000 | 0.05 | 1600 | 10% | 0.560 |

VI. Registro de control de polvo por el supresor químico H14

| Nro Medición | Día de Medición | Fecha | Hora Inicio | Hora Fin | Tiempo Medición | Muestras | Partículas PM10 Promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Producto | Condición de Humedad | Nivel Polvo | Condición de Tránsito |
|--------------|-----------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|---------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------|-----------------------|
| 1 | Día 0 | 7-Set-23 | 8:30 | 8:32 | 0:02 min | M1 | 975.77 | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 2 | | 7-Set-23 | 10:05 | 10:07 | 0:02 min | M2 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 3 | | 7-Set-23 | 13:34 | 13:36 | 0:02 min | M3 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 4 | | 7-Set-23 | 15:42 | 15:44 | 0:02 min | M4 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 5 | | 7-Set-23 | 17:57 | 17:59 | 0:02 min | M5 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 1 | Día 1 | 7-Set-23 | 8:30 | 8:32 | 0:02 min | M1 | 3561.12 | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 2 | | 7-Set-23 | 10:05 | 10:07 | 0:02 min | M2 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 3 | | 7-Set-23 | 13:34 | 13:36 | 0:02 min | M3 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 4 | | 7-Set-23 | 15:42 | 15:44 | 0:02 min | M4 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 5 | | 7-Set-23 | 17:57 | 17:59 | 0:02 min | M5 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 6 | Día 2 | 8-Set-23 | 7:37 | 7:39 | 0:02 min | M1 | 2537.98 | H14 | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 7 | | 8-Set-23 | 10:50 | 10:53 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 8 | | 8-Set-23 | 12:05 | 12:08 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 9 | | 8-Set-23 | 15:30 | 15:33 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 10 | | 8-Set-23 | 18:46 | 18:49 | 0:03 min | M5 | | H14 | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 11 | Día 3 | 9-Set-23 | 8:24 | 8:26 | 0:02 min | M1 | 2404.62 | H14 | Semi Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 12 | | 9-Set-23 | 12:20 | 12:22 | 0:02 min | M2 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 13 | | 9-Set-23 | 12:26 | 12:29 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 14 | | 9-Set-23 | 14:30 | 14:33 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 15 | | 9-Set-23 | 17:25 | 17:28 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 16 | Día 4 | 9-Set-23 | 7:34 | 7:38 | 0:04 min | M1 | 2199.3 | H14 | Húmedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 17 | | 9-Set-23 | 12:26 | 12:31 | 0:05 min | M2 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 18 | | 9-Set-23 | 14:46 | 14:50 | 0:04 min | M3 | | H14 | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 19 | | 9-Set-23 | 16:08 | 16:12 | 0:04 min | M4 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|-----|-------------|--------|--------------|
| 20 | | 9-Set-23 | 17:46 | 17:50 | 0:04 min | M5 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 21 | Día 5 | 11-Set-23 | 7:35 | 7:38 | 0:03 min | M1 | 1145.08 | H14 | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 22 | | 11-Set-23 | 10:30 | 10:33 | 0:03 min | M2 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 23 | | 11-Set-23 | 12:25 | 12:33 | 0:08 min | M3 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 24 | | 11-Set-23 | 14:40 | 14:44 | 0:04 min | M4 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 25 | | 11-Set-23 | 18:40 | 18:45 | 0:05 min | M5 | | H14 | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 26 | Día 6 | 12-Set-23 | 7:44 | 7:47 | 0:03 min | M1 | 1429.2 | H14 | Húmedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 27 | | 12-Set-23 | 8:50 | 8:53 | 0:03 min | M2 | | H14 | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 28 | | 12-Set-23 | 8:55 | 8:58 | 0:03 min | M3 | | H14 | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 29 | | 12-Set-23 | 11:40 | 11:44 | 0:04 min | M4 | | H14 | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 30 | | 12-Set-23 | 14:24 | 14:28 | 0:04 min | M5 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 31 | Día 7 | 13-Set-23 | 6:30 | 6:34 | 0:04 min | M1 | 1237.16 | H14 | Semi Húmedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 32 | | 13-Set-23 | 9:30 | 9:33 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 33 | | 13-Set-23 | 12:30 | 12:35 | 0:05 min | M3 | | H14 | Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 34 | | 13-Set-23 | 15:30 | 15:40 | 0:10 min | M4 | | H14 | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 35 | | 13-Set-23 | 17:30 | 17:40 | 0:10 min | M5 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 36 | Día 8 | 14-Set-23 | 6:50 | 6:55 | 0:05 min | M1 | 591.96 | H14 | Húmedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 37 | | 14-Set-23 | 12:34 | 12:38 | 0:04 min | M2 | | H14 | Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 38 | | 14-Set-23 | 12:38 | 12:42 | 0:04 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 39 | | 14-Set-23 | 15:55 | 15:58 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 40 | | 14-Set-23 | 17:36 | 17:39 | 0:03 min | M5 | | H14 | Húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 41 | Día 9 | 15-Set-23 | 6:49 | 6:52 | 0:03 min | M1 | 846.74 | H14 | Seco | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 42 | | 15-Set-23 | 8:24 | 8:27 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 43 | | 15-Set-23 | 10:19 | 10:22 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 44 | | 15-Set-23 | 14:34 | 14:37 | 0:03 min | M4 | | H14 | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 45 | | 15-Set-23 | 17:34 | 17:37 | 0:03 min | M5 | | H14 | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 46 | Día 10 | 16-Set-23 | 6:47 | 6:50 | 0:03 min | M1 | 542 | H14 | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 47 | | 16-Set-23 | 11:54 | 11:57 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 48 | | 16-Set-23 | 13:24 | 13:27 | 0:03 min | M3 | | H14 | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 49 | | 16-Set-23 | 15:48 | 15:51 | 0:03 min | M4 | | H14 | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|-----|-------------|--------|--------------|
| 50 | | 16-Set-23 | 17:02 | 17:05 | 0:03 min | M5 | | H14 | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 51 | Día 11 | 17-Set-23 | 6:44 | 6:47 | 0:03 min | M1 | 675.26 | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 52 | | 17-Set-23 | 8:52 | 8:55 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 53 | | 17-Set-23 | 11:15 | 11:18 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 54 | | 17-Set-23 | 14:29 | 14:32 | 0:03 min | M4 | | H14 | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 55 | | 17-Set-23 | 17:02 | 17:05 | 0:03 min | M5 | | H14 | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 56 | Día 12 | 18-Set-23 | 7:04 | 7:07 | 0:03 min | M1 | 890.88 | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 57 | | 18-Set-23 | 9:48 | 9:51 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 58 | | 18-Set-23 | 12:17 | 12:20 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 59 | | 18-Set-23 | 14:28 | 14:31 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 60 | | 18-Set-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 61 | Día 13 | 19-Set-23 | 6:39 | 6:42 | 0:03 min | M1 | 563.14 | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 62 | | 19-Set-23 | 9:31 | 9:34 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 63 | | 19-Set-23 | 12:29 | 12:32 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 64 | | 19-Set-23 | 15:04 | 15:07 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 65 | | 19-Set-23 | 18:34 | 18:37 | 0:03 min | M5 | | H14 | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 66 | Día 14 | 20-Set-23 | 7:43 | 7:46 | 0:03 min | M1 | 555.04 | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 67 | | 20-Set-23 | 10:04 | 10:07 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 68 | | 20-Set-23 | 13:24 | 13:27 | 0:03 min | M3 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 69 | | 20-Set-23 | 15:55 | 15:58 | 0:03 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 70 | | 20-Set-23 | 17:32 | 17:35 | 0:03 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 71 | Día 15 | 21-Set-23 | 7:24 | 7:27 | 0:03 min | M1 | 907.86 | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 72 | | 21-Set-23 | 9:51 | 9:54 | 0:03 min | M2 | | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 73 | | 21-Set-23 | 13:17 | 13:20 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 74 | | 21-Set-23 | 15:57 | 16:00 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 75 | | 21-Set-23 | 18:35 | 18:38 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 76 | Día 16 | 22-Set-23 | 7:32 | 7:35 | 0:03 min | M1 | 1077.76 | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 77 | | 22-Set-23 | 9:41 | 9:44 | 0:03 min | M2 | | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 78 | | 22-Set-23 | 12:03 | 12:06 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 79 | | 22-Set-23 | 15:14 | 15:17 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|-----|--------|--------|--------------|
| 80 | | 22-Set-23 | 18:24 | 18:27 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 81 | Día 17 | 23-Set-23 | 6:17 | 6:20 | 0:03 min | M1 | 996.24 | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 82 | | 23-Set-23 | 9:59 | 10:02 | 0:03 min | M2 | | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 83 | | 23-Set-23 | 12:23 | 12:27 | 0:04 min | M3 | | H14 | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 84 | | 23-Set-23 | 14:44 | 14:48 | 0:04 min | M4 | | H14 | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 85 | | 23-Set-23 | 17:47 | 17:51 | 0:04 min | M5 | | H14 | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 86 | Día 18 | 24-Set-23 | 6:09 | 6:12 | 0:03 min | M1 | 505.08 | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 87 | | 24-Set-23 | 8:59 | 9:02 | 0:03 min | M2 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 88 | | 24-Set-23 | 12:11 | 12:14 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 89 | | 24-Set-23 | 14:58 | 15:02 | 0:04 min | M4 | | H14 | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 90 | | 24-Set-23 | 16:59 | 17:03 | 0:04 min | M5 | | H14 | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 91 | Día 19 | 25-Set-23 | 6:28 | 6:31 | 0:03 min | M1 | 765.3 | H14 | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 92 | | 25-Set-23 | 9:43 | 9:46 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 93 | | 25-Set-23 | 11:59 | 12:02 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 94 | | 25-Set-23 | 14:12 | 14:15 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 95 | | 25-Set-23 | 17:00 | 17:03 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 96 | Día 20 | 26-Set-23 | 6:14 | 6:16 | 0:02 min | M1 | 630.78 | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 97 | | 26-Set-23 | 9:09 | 9:11 | 0:02 min | M2 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 98 | | 26-Set-23 | 13:12 | 13:15 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 99 | | 26-Set-23 | 15:39 | 15:42 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 100 | | 26-Set-23 | 17:47 | 17:50 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 101 | Día 21 | 27-Set-23 | 6:33 | 6:36 | 0:03 min | M1 | 534.44 | H14 | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 102 | | 27-Set-23 | 8:51 | 8:54 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 103 | | 27-Set-23 | 11:41 | 11:42 | 0:01 min | M3 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 104 | | 27-Set-23 | 14:53 | 14:56 | 0:03 min | M4 | | H14 | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 105 | | 27-Set-23 | 17:07 | 17:10 | 0:03 min | M5 | | H14 | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 106 | Día 22 | 28-Set-23 | 6:09 | 6:11 | 0:02 min | M1 | 212.04 | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 107 | | 28-Set-23 | 8:29 | 8:31 | 0:02 min | M2 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 108 | | 28-Set-23 | 11:10 | 11:12 | 0:02 min | M3 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 109 | | 28-Set-23 | 12:58 | 13:01 | 0:03 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|-----|--------|--------|--------------|
| 110 | | 28-Sep-23 | 17:41 | 17:44 | 0:03 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 111 | Día 23 | 29-Sep-23 | 6:30 | 6:32 | 0:02 min | M1 | 769.4 | H14 | seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 112 | | 29-Sep-23 | 11:11 | 11:13 | 0:02 min | M2 | | H14 | seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 113 | | 29-Sep-23 | 13:41 | 13:42 | 0:01 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 114 | | 29-Sep-23 | 15:53 | 15:55 | 0:02 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 115 | | 29-Sep-23 | 17:01 | 17:03 | 0:02 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 116 | Día 24 | 30-Sep-23 | 6:14 | 6:17 | 0:03 min | M1 | 513.04 | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 117 | | 30-Sep-23 | 8:15 | 8:18 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 118 | | 30-Sep-23 | 12:12 | 12:15 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 119 | | 30-Sep-23 | 13:53 | 13:55 | 0:02 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 120 | | 30-Sep-23 | 15:09 | 15:11 | 0:02 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 121 | Día 25 | 1-Oct-23 | 6:20 | 6:23 | 0:03 min | M1 | 705.04 | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 122 | | 1-Oct-23 | 9:01 | 9:04 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 123 | | 1-Oct-23 | 13:09 | 13:11 | 0:02 min | M3 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 124 | | 1-Oct-23 | 15:48 | 15:50 | 0:02 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 125 | | 1-Oct-23 | 16:44 | 16:46 | 0:02 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 126 | Día 26 | 2-Oct-23 | 7:41 | 7:44 | 0:03 min | M1 | 590.12 | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 127 | | 2-Oct-23 | 9:18 | 9:21 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 128 | | 2-Oct-23 | 13:29 | 13:31 | 0:02 min | M3 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 129 | | 2-Oct-23 | 15:00 | 15:02 | 0:02 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 130 | | 2-Oct-23 | 17:28 | 17:30 | 0:02 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 131 | Día 27 | 3-Oct-23 | 6:59 | 7:02 | 0:03 min | M1 | 691.38 | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 132 | | 3-Oct-23 | 9:38 | 9:41 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 133 | | 3-Oct-23 | 13:44 | 13:46 | 0:02 min | M3 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 134 | | 3-Oct-23 | 15:09 | 15:11 | 0:02 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 135 | | 3-Oct-23 | 16:59 | 17:01 | 0:02 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 136 | Día 28 | 4-Oct-23 | 6:43 | 6:46 | 0:03 min | M1 | 490.5 | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 137 | | 4-Oct-23 | 10:24 | 10:27 | 0:03 min | M2 | | H14 | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 138 | | 4-Oct-23 | 13:00 | 13:03 | 0:03 min | M3 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 139 | | 4-Oct-23 | 15:25 | 15:28 | 0:03 min | M4 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|----------|-------|-------|----------|----|--------|-----|--------|--------|--------------|
| 140 | | 4-Oct-23 | 17:28 | 17:31 | 0:03 min | M5 | | H14 | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 141 | Día 29 | 5-Oct-23 | 7:01 | 7:04 | 0:03 min | M1 | 415.1 | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 142 | | 5-Oct-23 | 9:17 | 9:20 | 0:03 min | M2 | | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 143 | | 5-Oct-23 | 13:58 | 14:01 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 144 | | 5-Oct-23 | 15:33 | 15:36 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 145 | | 5-Oct-23 | 18:02 | 18:05 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 146 | Día 30 | 6-Oct-23 | 7:59 | 8:02 | 0:03 min | M1 | 289.64 | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 147 | | 6-Oct-23 | 9:42 | 9:45 | 0:03 min | M2 | | H14 | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 148 | | 6-Oct-23 | 12:06 | 12:09 | 0:03 min | M3 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 149 | | 6-Oct-23 | 15:43 | 15:46 | 0:03 min | M4 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 150 | | 6-Oct-23 | 18:58 | 19:01 | 0:03 min | M5 | | H14 | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |

VII. Registro de control de polvo por el supresor químico Dustex

| Nro Medición | Día de Medición | Fecha | Hora Inicio | Hora Fin | Tiempo Medición | Muestras | Partículas PM10 Promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Producto | Condición de Humedad | Nivel Polvo | Tránsito |
|--------------|-----------------|-----------|-------------|----------|-----------------|----------|---------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------|--------------|
| 1 | Día P | 14-Oct-23 | 8:50 | 8:53 | 0:03 min | M1 | 889.4486667 | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 2 | | 14-Oct-23 | 11:50 | 11:53 | 0:03 min | M2 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 3 | | 14-Oct-23 | 14:42 | 14:45 | 0:03 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 4 | | 14-Oct-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 5 | | 14-Oct-23 | 18:01 | 18:04 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 1 | Día 1 | 15-Oct-23 | 8:50 | 8:53 | 0:03 min | M1 | 3390.5 | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 2 | | 15-Oct-23 | 11:50 | 11:53 | 0:03 min | M2 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 3 | | 15-Oct-23 | 14:42 | 14:45 | 0:03 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 4 | | 15-Oct-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 5 | | 15-Oct-23 | 18:01 | 18:04 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|--------|--------|--------|--------------|
| 6 | Día 2 | 16-Oct-23 | 6:38 | 6:40 | 0:02 min | M1 | 1811.36 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 7 | | 16-Oct-23 | 9:20 | 9:22 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 8 | | 16-Oct-23 | 11:54 | 11:56 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 9 | | 16-Oct-23 | 15:08 | 15:11 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 10 | | 16-Oct-23 | 17:24 | 17:27 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 11 | Día 3 | 17-Oct-23 | 6:32 | 6:33 | 0:01 min | M1 | 1445.78 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 12 | | 17-Oct-23 | 8:57 | 8:59 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 13 | | 17-Oct-23 | 9:03 | 9:05 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 14 | | 17-Oct-23 | 11:25 | 11:27 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 15 | | 17-Oct-23 | 16:08 | 16:11 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 16 | Día 4 | 18-Oct-23 | 6:12 | 6:13 | 0:01 min | M1 | 619.84 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 17 | | 18-Oct-23 | 8:04 | 8:06 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 18 | | 18-Oct-23 | 11:27 | 11:28 | 0:01 min | M3 | | Dustex | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 19 | | 18-Oct-23 | 13:55 | 13:58 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 20 | | 18-Oct-23 | 17:43 | 17:46 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 21 | Día 5 | 19-Oct-23 | 7:49 | 7:50 | 0:01 min | M1 | 1504.78 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 22 | | 19-Oct-23 | 11:24 | 11:26 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 23 | | 19-Oct-23 | 11:27 | 11:29 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 24 | | 19-Oct-23 | 14:41 | 14:43 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 25 | | 19-Oct-23 | 16:46 | 16:49 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 26 | Día 6 | 20-Oct-23 | 6:29 | 6:30 | 0:01 min | M1 | 1121.18 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 27 | | 20-Oct-23 | 9:27 | 9:28 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 28 | | 20-Oct-23 | 12:24 | 12:25 | 0:01 min | M3 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 29 | | 20-Oct-23 | 15:22 | 15:25 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 30 | | 20-Oct-23 | 17:46 | 17:49 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 31 | Día 7 | 21-Oct-23 | 6:49 | 6:50 | 0:01 min | M1 | 1350.94 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 32 | | 21-Oct-23 | 9:34 | 9:35 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|--------|--------|--------|--------------|
| 33 | | 21-Oct-23 | 13:55 | 13:57 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 34 | | 21-Oct-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 35 | | 21-Oct-23 | 18:35 | 18:38 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 36 | Día 8 | 22-Oct-23 | 6:52 | 6:54 | 0:02 min | M1 | 1218.28 | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 37 | | 22-Oct-23 | 11:36 | 11:39 | 0:03 min | M2 | | Dustex | seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 38 | | 22-Oct-23 | 15:00 | 15:02 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 39 | | 22-Oct-23 | 15:06 | 15:08 | 0:02 min | M4 | | Dustex | seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 40 | | 22-Oct-23 | 15:40 | 15:42 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 41 | Día 9 | 23-Oct-23 | 10:58 | 11:00 | 0:02 min | M1 | 725.4 | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 42 | | 23-Oct-23 | 11:54 | 11:56 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Seco | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 43 | | 23-Oct-23 | 14:46 | 14:48 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 44 | | 23-Oct-23 | 14:55 | 14:57 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 45 | | 23-Oct-23 | 17:26 | 17:28 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 46 | Día 10 | 24-Oct-23 | 6:38 | 6:40 | 0:02 min | M1 | 531.4 | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 47 | | 24-Oct-23 | 9:53 | 9:55 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 0 de 5 | Sin Tránsito |
| 48 | | 24-Oct-23 | 11:55 | 11:57 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 49 | | 24-Oct-23 | 13:48 | 13:50 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 50 | | 24-Oct-23 | 15:54 | 15:56 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 51 | Día 11 | 25-Oct-23 | 6:41 | 6:43 | 0:02 min | M1 | 1227.98 | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 52 | | 25-Oct-23 | 8:26 | 8:29 | 0:03 min | M2 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 53 | | 25-Oct-23 | 11:02 | 11:04 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 54 | | 25-Oct-23 | 13:39 | 13:41 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 55 | | 25-Oct-23 | 16:40 | 16:43 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 56 | Día 12 | 26-Oct-23 | 6:29 | 6:30 | 0:01 min | M1 | 1313.38 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 57 | | 26-Oct-23 | 9:27 | 9:28 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 58 | | 26-Oct-23 | 12:24 | 12:25 | 0:01 min | M3 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 59 | | 26-Oct-23 | 15:22 | 15:25 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|--------|--------|--------|--------------|
| 60 | | 26-Oct-23 | 17:46 | 17:49 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 61 | Día 13 | 27-Oct-23 | 6:49 | 6:50 | 0:01 min | M1 | 1429.34 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 62 | | 27-Oct-23 | 9:34 | 9:35 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 63 | | 27-Oct-23 | 13:55 | 13:57 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 64 | | 27-Oct-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 65 | | 27-Oct-23 | 18:35 | 18:38 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 66 | Día 14 | 28-Oct-23 | 6:52 | 6:54 | 0:02 min | M1 | 1195.14 | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 67 | | 28-Oct-23 | 11:36 | 11:39 | 0:03 min | M2 | | Dustex | seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 68 | | 28-Oct-23 | 15:00 | 15:02 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 69 | | 28-Oct-23 | 15:06 | 15:08 | 0:02 min | M4 | | Dustex | seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 70 | | 28-Oct-23 | 15:40 | 15:42 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 71 | Día 15 | 29-Oct-23 | 10:58 | 11:00 | 0:02 min | M1 | 622.98 | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 72 | | 29-Oct-23 | 11:54 | 11:56 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Seco | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 73 | | 29-Oct-23 | 14:46 | 14:48 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 74 | | 29-Oct-23 | 14:55 | 14:57 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 75 | | 29-Oct-23 | 17:26 | 17:28 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 76 | Día 16 | 30-Oct-23 | 6:38 | 6:40 | 0:02 min | M1 | 280.76 | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 77 | | 30-Oct-23 | 9:53 | 9:55 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 78 | | 30-Oct-23 | 11:55 | 11:57 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 79 | | 30-Oct-23 | 13:48 | 13:50 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 80 | | 30-Oct-23 | 15:54 | 15:56 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 81 | Día 17 | 31-Oct-23 | 6:41 | 6:43 | 0:02 min | M1 | 829.6 | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 82 | | 31-Oct-23 | 8:26 | 8:29 | 0:03 min | M2 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 83 | | 31-Oct-23 | 11:02 | 11:04 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 84 | | 31-Oct-23 | 13:39 | 13:41 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 85 | | 31-Oct-23 | 16:40 | 16:43 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 86 | Día 18 | 1-Nov-23 | 8:50 | 8:53 | 0:03 min | M1 | 637.54 | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|----------|-------|-------|----------|----|--------|--------|--------|--------|--------------|
| 87 | | 1-Nov-23 | 11:50 | 11:53 | 0:03 min | M2 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 88 | | 1-Nov-23 | 14:42 | 14:45 | 0:03 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 89 | | 1-Nov-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 90 | | 1-Nov-23 | 18:01 | 18:04 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 91 | Día 19 | 2-Nov-23 | 6:38 | 6:40 | 0:02 min | M1 | 730.4 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 92 | | 2-Nov-23 | 9:20 | 9:22 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 93 | | 2-Nov-23 | 11:54 | 11:56 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 94 | | 2-Nov-23 | 15:08 | 15:11 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 95 | | 2-Nov-23 | 17:24 | 17:27 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 96 | Día 20 | 3-Nov-23 | 6:32 | 6:33 | 0:01 min | M1 | 596.32 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 97 | | 3-Nov-23 | 8:57 | 8:59 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 98 | | 3-Nov-23 | 9:03 | 9:05 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 99 | | 3-Nov-23 | 11:25 | 11:27 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 100 | | 3-Nov-23 | 16:08 | 16:11 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 101 | Día 21 | 4-Nov-23 | 6:12 | 6:13 | 0:01 min | M1 | 386.18 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 102 | | 4-Nov-23 | 8:04 | 8:06 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 103 | | 4-Nov-23 | 11:27 | 11:28 | 0:01 min | M3 | | Dustex | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 104 | | 4-Nov-23 | 13:55 | 13:58 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 105 | | 4-Nov-23 | 17:43 | 17:46 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 106 | Día 22 | 5-Nov-23 | 7:49 | 7:50 | 0:01 min | M1 | 403.08 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 107 | | 5-Nov-23 | 11:24 | 11:26 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 108 | | 5-Nov-23 | 11:27 | 11:29 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 109 | | 5-Nov-23 | 14:41 | 14:43 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 110 | | 5-Nov-23 | 16:46 | 16:49 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 111 | Día 23 | 6-Nov-23 | 6:29 | 6:30 | 0:01 min | M1 | 550.72 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 112 | | 6-Nov-23 | 9:27 | 9:28 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 113 | | 6-Nov-23 | 12:24 | 12:25 | 0:01 min | M3 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|---------------|----------|-------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| 114 | | 6-Nov-23 | 15:22 | 15:25 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 115 | | 6-Nov-23 | 17:46 | 17:49 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 116 | Día 24 | 7-Nov-23 | 6:49 | 6:50 | 0:01 min | M1 | 469.42 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 117 | | 7-Nov-23 | 9:34 | 9:35 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 118 | | 7-Nov-23 | 13:55 | 13:57 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 119 | | 7-Nov-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 120 | | 7-Nov-23 | 18:35 | 18:38 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 121 | | Día 25 | 8-Nov-23 | 6:52 | 6:54 | 0:02 min | | M1 | 231.56 | Dustex | Humedo |
| 122 | 8-Nov-23 | | 11:36 | 11:39 | 0:03 min | M2 | Dustex | seco | | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 123 | 8-Nov-23 | | 15:00 | 15:02 | 0:02 min | M3 | Dustex | Seco | | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 124 | 8-Nov-23 | | 15:06 | 15:08 | 0:02 min | M4 | Dustex | seco | | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 125 | 8-Nov-23 | | 15:40 | 15:42 | 0:02 min | M5 | Dustex | Humedo | | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 126 | Día 26 | 9-Nov-23 | 10:58 | 11:00 | 0:02 min | M1 | 550.18 | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 127 | | 9-Nov-23 | 11:54 | 11:56 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Seco | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 128 | | 9-Nov-23 | 14:46 | 14:48 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 129 | | 9-Nov-23 | 14:55 | 14:57 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 130 | | 9-Nov-23 | 17:26 | 17:28 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 131 | Día 27 | 10-Nov-23 | 6:38 | 6:40 | 0:02 min | M1 | 415.98 | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 132 | | 10-Nov-23 | 9:53 | 9:55 | 0:02 min | M2 | | Dustex | Seco | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 133 | | 10-Nov-23 | 11:55 | 11:57 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 134 | | 10-Nov-23 | 13:48 | 13:50 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 135 | | 10-Nov-23 | 15:54 | 15:56 | 0:02 min | M5 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 136 | Día 28 | 11-Nov-23 | 6:41 | 6:43 | 0:02 min | M1 | 555.82 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 137 | | 11-Nov-23 | 8:26 | 8:29 | 0:03 min | M2 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 138 | | 11-Nov-23 | 11:02 | 11:04 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 139 | | 11-Nov-23 | 13:39 | 13:41 | 0:02 min | M4 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 140 | | 11-Nov-23 | 16:40 | 16:43 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|--------|--------|--------|--------------|
| 141 | Día 29 | 12-Nov-23 | 6:29 | 6:30 | 0:01 min | M1 | 222.24 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 142 | | 12-Nov-23 | 9:27 | 9:28 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 143 | | 12-Nov-23 | 12:24 | 12:25 | 0:01 min | M3 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 144 | | 12-Nov-23 | 15:22 | 15:25 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Humedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 145 | | 12-Nov-23 | 17:46 | 17:49 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 146 | Día 30 | 13-Nov-23 | 6:49 | 6:50 | 0:01 min | M1 | 315.38 | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 147 | | 13-Nov-23 | 9:34 | 9:35 | 0:01 min | M2 | | Dustex | Humedo | 3 de 5 | Con tránsito |
| 148 | | 13-Nov-23 | 13:55 | 13:57 | 0:02 min | M3 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 149 | | 13-Nov-23 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M4 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 150 | | 13-Nov-23 | 18:35 | 18:38 | 0:03 min | M5 | | Dustex | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |

VIII. Registro de control de polvo por el supresor químico Bivesoil

| Nro Medición | Día de Medición | Fecha | Hora Inicio | Hora Fin | Tiempo Medición | Muestras | Partículas PM10 Promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Producto | Condición de Humedad | Nivel Polvo | Tránsito |
|--------------|-----------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|---------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------|--------------|
| 1 | Día P | 2-Mar-24 | 8:30 | 8:32 | 0:02 min | M1 | 621.13 | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 2 | | 2-Mar-24 | 10:05 | 10:07 | 0:02 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 3 | | 2-Mar-24 | 13:34 | 13:36 | 0:02 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 4 | | 2-Mar-24 | 15:42 | 15:44 | 0:02 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 5 | | 2-Mar-24 | 17:57 | 17:59 | 0:02 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 1 | Día 1 | 3-Mar-24 | 8:30 | 8:32 | 0:02 min | M1 | 3196.04 | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 2 | | 3-Mar-24 | 10:05 | 10:07 | 0:02 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 3 | | 3-Mar-24 | 13:34 | 13:36 | 0:02 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 4 | | 3-Mar-24 | 15:42 | 15:44 | 0:02 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 5 | | 3-Mar-24 | 17:57 | 17:59 | 0:02 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 6 | Día 2 | 4-Mar-24 | 7:37 | 7:39 | 0:02 min | M1 | 2763.8 | Bivesoil | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|--------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|----------|-------------|--------|--------------|
| 7 | | 4-Mar-24 | 10:50 | 10:53 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 8 | | 4-Mar-24 | 12:05 | 12:08 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 9 | | 4-Mar-24 | 15:30 | 15:33 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 10 | | 4-Mar-24 | 18:46 | 18:49 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 11 | Día 3 | 5-Mar-24 | 8:24 | 8:26 | 0:02 min | M1 | 1796.34 | Bivesoil | Semi Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 12 | | 5-Mar-24 | 12:20 | 12:22 | 0:02 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 13 | | 5-Mar-24 | 12:26 | 12:29 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 14 | | 5-Mar-24 | 14:30 | 14:33 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 15 | | 5-Mar-24 | 17:25 | 17:28 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 16 | Día 4 | 6-Mar-24 | 7:34 | 7:38 | 0:04 min | M1 | 1176.12 | Bivesoil | Húmedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 17 | | 6-Mar-24 | 12:26 | 12:31 | 0:05 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 18 | | 6-Mar-24 | 14:46 | 14:50 | 0:04 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 19 | | 6-Mar-24 | 16:08 | 16:12 | 0:04 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 20 | | 6-Mar-24 | 17:46 | 17:50 | 0:04 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 21 | Día 5 | 7-Mar-24 | 7:35 | 7:38 | 0:03 min | M1 | 1505.68 | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 22 | | 7-Mar-24 | 10:30 | 10:33 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 23 | | 7-Mar-24 | 12:25 | 12:33 | 0:08 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 24 | | 7-Mar-24 | 14:40 | 14:44 | 0:04 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 25 | | 7-Mar-24 | 18:40 | 18:45 | 0:05 min | M5 | | Bivesoil | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 26 | Día 6 | 8-Mar-24 | 7:44 | 7:47 | 0:03 min | M1 | 736.28 | Bivesoil | Húmedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 27 | | 8-Mar-24 | 8:50 | 8:53 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 28 | | 8-Mar-24 | 8:55 | 8:58 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 29 | | 8-Mar-24 | 11:40 | 11:44 | 0:04 min | M4 | | Bivesoil | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 30 | | 8-Mar-24 | 14:24 | 14:28 | 0:04 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 31 | Día 7 | 9-Mar-24 | 6:30 | 6:34 | 0:04 min | M1 | 496.62 | Bivesoil | Semi Húmedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 32 | | 9-Mar-24 | 9:30 | 9:33 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 33 | | 9-Mar-24 | 12:30 | 12:35 | 0:05 min | M3 | | Bivesoil | Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 34 | | 9-Mar-24 | 15:30 | 15:40 | 0:10 min | M4 | | Bivesoil | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 35 | | 9-Mar-24 | 17:30 | 17:40 | 0:10 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 36 | Día 8 | 10-Mar-24 | 6:50 | 6:55 | 0:05 min | M1 | 448.42 | Bivesoil | Húmedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|----------|-------------|--------|--------------|
| 37 | | 10-Mar-24 | 12:34 | 12:38 | 0:04 min | M2 | | Bivesoil | Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 38 | | 10-Mar-24 | 12:38 | 12:42 | 0:04 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 39 | | 10-Mar-24 | 15:55 | 15:58 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 40 | | 10-Mar-24 | 17:36 | 17:39 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 41 | Día 9 | 11-Mar-24 | 6:49 | 6:52 | 0:03 min | M1 | 343.5 | Bivesoil | Seco | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 42 | | 11-Mar-24 | 8:24 | 8:27 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 43 | | 11-Mar-24 | 10:19 | 10:22 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 44 | | 11-Mar-24 | 14:34 | 14:37 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 45 | | 11-Mar-24 | 17:34 | 17:37 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 46 | Día 10 | 12-Mar-24 | 6:47 | 6:50 | 0:03 min | M1 | 478.36 | Bivesoil | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 47 | | 12-Mar-24 | 11:54 | 11:57 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 48 | | 12-Mar-24 | 13:24 | 13:27 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 49 | | 12-Mar-24 | 15:48 | 15:51 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 50 | | 12-Mar-24 | 17:02 | 17:05 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 51 | Día 11 | 13-Mar-24 | 6:44 | 6:47 | 0:03 min | M1 | 503.3 | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 52 | | 13-Mar-24 | 8:52 | 8:55 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 53 | | 13-Mar-24 | 11:15 | 11:18 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 54 | | 13-Mar-24 | 14:29 | 14:32 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 55 | | 13-Mar-24 | 17:02 | 17:05 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 56 | Día 12 | 14-Mar-24 | 7:04 | 7:07 | 0:03 min | M1 | 256.98 | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 57 | | 14-Mar-24 | 9:48 | 9:51 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 58 | | 14-Mar-24 | 12:17 | 12:20 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 59 | | 14-Mar-24 | 14:28 | 14:31 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 60 | | 14-Mar-24 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 61 | Día 13 | 15-Mar-24 | 6:39 | 6:42 | 0:03 min | M1 | 480.8 | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 62 | | 15-Mar-24 | 9:31 | 9:34 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 63 | | 15-Mar-24 | 12:29 | 12:32 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 64 | | 15-Mar-24 | 15:04 | 15:07 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 65 | | 15-Mar-24 | 18:34 | 18:37 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 66 | Día 14 | 16-Mar-24 | 7:43 | 7:46 | 0:03 min | M1 | 578.64 | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|----------|--------|--------|--------------|
| 67 | | 16-Mar-24 | 10:04 | 10:07 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 68 | | 16-Mar-24 | 13:24 | 13:27 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 69 | | 16-Mar-24 | 15:55 | 15:58 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 70 | | 16-Mar-24 | 17:32 | 17:35 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 71 | Día 15 | 17-Mar-24 | 7:24 | 7:27 | 0:03 min | M1 | 298.8 | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 72 | | 17-Mar-24 | 9:51 | 9:54 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 73 | | 17-Mar-24 | 13:17 | 13:20 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 74 | | 17-Mar-24 | 15:57 | 16:00 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 75 | | 17-Mar-24 | 18:35 | 18:38 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 76 | Día 16 | 18-Mar-24 | 7:32 | 7:35 | 0:03 min | M1 | 362.6 | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 77 | | 18-Mar-24 | 9:41 | 9:44 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 78 | | 18-Mar-24 | 12:03 | 12:06 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 79 | | 18-Mar-24 | 15:14 | 15:17 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 80 | | 18-Mar-24 | 18:24 | 18:27 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 81 | Día 17 | 19-Mar-24 | 6:17 | 6:20 | 0:03 min | M1 | 518.52 | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 82 | | 19-Mar-24 | 9:59 | 10:02 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 83 | | 19-Mar-24 | 12:23 | 12:27 | 0:04 min | M3 | | Bivesoil | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 84 | | 19-Mar-24 | 14:44 | 14:48 | 0:04 min | M4 | | Bivesoil | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 85 | | 19-Mar-24 | 17:47 | 17:51 | 0:04 min | M5 | | Bivesoil | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 86 | Día 18 | 20-Mar-24 | 6:09 | 6:12 | 0:03 min | M1 | 181.58 | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 87 | | 20-Mar-24 | 8:59 | 9:02 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 88 | | 20-Mar-24 | 12:11 | 12:14 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 89 | | 20-Mar-24 | 14:58 | 15:02 | 0:04 min | M4 | | Bivesoil | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 90 | | 20-Mar-24 | 16:59 | 17:03 | 0:04 min | M5 | | Bivesoil | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 91 | Día 19 | 21-Mar-24 | 6:28 | 6:31 | 0:03 min | M1 | 138.02 | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 92 | | 21-Mar-24 | 9:43 | 9:46 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 93 | | 21-Mar-24 | 11:59 | 12:02 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 94 | | 21-Mar-24 | 14:12 | 14:15 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 95 | | 21-Mar-24 | 17:00 | 17:03 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 96 | Día 20 | 22-Mar-24 | 6:14 | 6:16 | 0:02 min | M1 | 256.6 | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|----------|--------|--------|--------------|
| 97 | | 22-Mar-24 | 9:09 | 9:11 | 0:02 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 98 | | 22-Mar-24 | 13:12 | 13:15 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 99 | | 22-Mar-24 | 15:39 | 15:42 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 100 | | 22-Mar-24 | 17:47 | 17:50 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 101 | Día 21 | 23-Mar-24 | 6:33 | 6:36 | 0:03 min | M1 | 77.76 | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 102 | | 23-Mar-24 | 8:51 | 8:54 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 103 | | 23-Mar-24 | 11:41 | 11:42 | 0:01 min | M3 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 104 | | 23-Mar-24 | 14:53 | 14:56 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 105 | | 23-Mar-24 | 17:07 | 17:10 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 106 | Día 22 | 24-Mar-24 | 6:09 | 6:11 | 0:02 min | M1 | 80.46 | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 107 | | 24-Mar-24 | 8:29 | 8:31 | 0:02 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 108 | | 24-Mar-24 | 11:10 | 11:12 | 0:02 min | M3 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 109 | | 24-Mar-24 | 12:58 | 13:01 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 110 | | 24-Mar-24 | 17:41 | 17:44 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 111 | Día 23 | 25-Mar-24 | 6:30 | 6:32 | 0:02 min | M1 | 98.84 | Bivesoil | seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 112 | | 25-Mar-24 | 11:11 | 11:13 | 0:02 min | M2 | | Bivesoil | seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 113 | | 25-Mar-24 | 13:41 | 13:42 | 0:01 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 114 | | 25-Mar-24 | 15:53 | 15:55 | 0:02 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 115 | | 25-Mar-24 | 17:01 | 17:03 | 0:02 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 116 | Día 24 | 26-Mar-24 | 6:14 | 6:17 | 0:03 min | M1 | 163.78 | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 117 | | 26-Mar-24 | 8:15 | 8:18 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 118 | | 26-Mar-24 | 12:12 | 12:15 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 119 | | 26-Mar-24 | 13:53 | 13:55 | 0:02 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 120 | | 26-Mar-24 | 15:09 | 15:11 | 0:02 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 121 | Día 25 | 27-Mar-24 | 6:20 | 6:23 | 0:03 min | M1 | 147.88 | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 122 | | 27-Mar-24 | 9:01 | 9:04 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 123 | | 27-Mar-24 | 13:09 | 13:11 | 0:02 min | M3 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 124 | | 27-Mar-24 | 15:48 | 15:50 | 0:02 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 125 | | 27-Mar-24 | 16:44 | 16:46 | 0:02 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 126 | Día 26 | 28-Mar-24 | 7:41 | 7:44 | 0:03 min | M1 | 191.5 | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|----------|--------|--------|--------------|
| 127 | | 28-Mar-24 | 9:18 | 9:21 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 128 | | 28-Mar-24 | 13:29 | 13:31 | 0:02 min | M3 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 129 | | 28-Mar-24 | 15:00 | 15:02 | 0:02 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 130 | | 28-Mar-24 | 17:28 | 17:30 | 0:02 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 131 | Día 27 | 29-Mar-24 | 6:59 | 7:02 | 0:03 min | M1 | 330.04 | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 132 | | 29-Mar-24 | 9:38 | 9:41 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 133 | | 29-Mar-24 | 13:44 | 13:46 | 0:02 min | M3 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 134 | | 29-Mar-24 | 15:09 | 15:11 | 0:02 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 135 | | 29-Mar-24 | 16:59 | 17:01 | 0:02 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 136 | Día 28 | 30-Mar-24 | 6:43 | 6:46 | 0:03 min | M1 | 421.78 | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 137 | | 30-Mar-24 | 10:24 | 10:27 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 138 | | 30-Mar-24 | 13:00 | 13:03 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 139 | | 30-Mar-24 | 15:25 | 15:28 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 140 | | 30-Mar-24 | 17:28 | 17:31 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 141 | Día 29 | 31-Mar-24 | 7:01 | 7:04 | 0:03 min | M1 | 329.48 | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 142 | | 31-Mar-24 | 9:17 | 9:20 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 143 | | 31-Mar-24 | 13:58 | 14:01 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 144 | | 31-Mar-24 | 15:33 | 15:36 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 145 | | 31-Mar-24 | 18:02 | 18:05 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 146 | Día 30 | 1-Abr-24 | 7:59 | 8:02 | 0:03 min | M1 | 275.46 | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 147 | | 1-Abr-24 | 9:42 | 9:45 | 0:03 min | M2 | | Bivesoil | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 148 | | 1-Abr-24 | 12:06 | 12:09 | 0:03 min | M3 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 149 | | 1-Abr-24 | 15:43 | 15:46 | 0:03 min | M4 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 150 | | 1-Abr-24 | 18:58 | 19:01 | 0:03 min | M5 | | Bivesoil | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |

IX. Registro de control de polvo por el supresor químico Earthbind

| Nro Medición | Día de Medición | Fecha | Hora Inicio | Hora Fin | Tiempo Medición | Muestras | Partículas PM10 Promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Producto | Condición de Humedad | Nivel Polvo | Tránsito |
|--------------|-----------------|-----------|-------------|----------|-----------------|----------|---------------------------------------------------|-----------|----------------------|-------------|--------------|
| 1 | Día P | 9-Abr-24 | 8:30 | 8:32 | 0:02 min | M1 | 1079.81867 | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 2 | | 9-Abr-24 | 10:05 | 10:07 | 0:02 min | M2 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 3 | | 9-Abr-24 | 13:34 | 13:36 | 0:02 min | M3 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 4 | | 9-Abr-24 | 15:42 | 15:44 | 0:02 min | M4 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 5 | | 9-Abr-24 | 17:57 | 17:59 | 0:02 min | M5 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 1 | Día 1 | 10-Abr-24 | 8:30 | 8:32 | 0:02 min | M1 | 4248.74 | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 2 | | 10-Abr-24 | 10:05 | 10:07 | 0:02 min | M2 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 3 | | 10-Abr-24 | 13:34 | 13:36 | 0:02 min | M3 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 4 | | 10-Abr-24 | 15:42 | 15:44 | 0:02 min | M4 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 5 | | 10-Abr-24 | 17:57 | 17:59 | 0:02 min | M5 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 6 | Día 2 | 11-Abr-24 | 7:37 | 7:39 | 0:02 min | M1 | 2677.92 | EarthBind | Húmedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 7 | | 11-Abr-24 | 10:50 | 10:53 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 8 | | 11-Abr-24 | 12:05 | 12:08 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 9 | | 11-Abr-24 | 15:30 | 15:33 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 10 | | 11-Abr-24 | 18:46 | 18:49 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Humedo | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 11 | Día 3 | 12-Abr-24 | 8:24 | 8:26 | 0:02 min | M1 | 2404.62 | EarthBind | Semi Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 12 | | 12-Abr-24 | 12:20 | 12:22 | 0:02 min | M2 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 13 | | 12-Abr-24 | 12:26 | 12:29 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 14 | | 12-Abr-24 | 14:30 | 14:33 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 15 | | 12-Abr-24 | 17:25 | 17:28 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 16 | Día 4 | 13-Abr-24 | 7:34 | 7:38 | 0:04 min | M1 | 2199.3 | EarthBind | Húmedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 17 | | 13-Abr-24 | 12:26 | 12:31 | 0:05 min | M2 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|-----------|-------------|--------|--------------|
| 18 | | 13-Abr-24 | 14:46 | 14:50 | 0:04 min | M3 | | EarthBind | Seco | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 19 | | 13-Abr-24 | 16:08 | 16:12 | 0:04 min | M4 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 20 | | 13-Abr-24 | 17:46 | 17:50 | 0:04 min | M5 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 21 | Día 5 | 14-Abr-24 | 7:35 | 7:38 | 0:03 min | M1 | 1145.08 | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 22 | | 14-Abr-24 | 10:30 | 10:33 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 23 | | 14-Abr-24 | 12:25 | 12:33 | 0:08 min | M3 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 24 | | 14-Abr-24 | 14:40 | 14:44 | 0:04 min | M4 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 25 | | 14-Abr-24 | 18:40 | 18:45 | 0:05 min | M5 | | EarthBind | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 26 | Día 6 | 15-Abr-24 | 7:44 | 7:47 | 0:03 min | M1 | 1749.2 | EarthBind | Húmedo | 2 de 5 | Sin Tránsito |
| 27 | | 15-Abr-24 | 8:50 | 8:53 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 28 | | 15-Abr-24 | 8:55 | 8:58 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 29 | | 15-Abr-24 | 11:40 | 11:44 | 0:04 min | M4 | | EarthBind | Semi Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 30 | | 15-Abr-24 | 14:24 | 14:28 | 0:04 min | M5 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 31 | Día 7 | 16-Abr-24 | 6:30 | 6:34 | 0:04 min | M1 | 1537.16 | EarthBind | Semi Húmedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 32 | | 16-Abr-24 | 9:30 | 9:33 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 33 | | 16-Abr-24 | 12:30 | 12:35 | 0:05 min | M3 | | EarthBind | Húmedo | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 34 | | 16-Abr-24 | 15:30 | 15:40 | 0:10 min | M4 | | EarthBind | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 35 | | 16-Abr-24 | 17:30 | 17:40 | 0:10 min | M5 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 36 | Día 8 | 17-Abr-24 | 6:50 | 6:55 | 0:05 min | M1 | 591.96 | EarthBind | Húmedo | 1 de 5 | Sin Tránsito |
| 37 | | 17-Abr-24 | 12:34 | 12:38 | 0:04 min | M2 | | EarthBind | Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 38 | | 17-Abr-24 | 12:38 | 12:42 | 0:04 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 39 | | 17-Abr-24 | 15:55 | 15:58 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 40 | | 17-Abr-24 | 17:36 | 17:39 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 41 | Día 9 | 18-Abr-24 | 6:49 | 6:52 | 0:03 min | M1 | 846.74 | EarthBind | Seco | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 42 | | 18-Abr-24 | 8:24 | 8:27 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 43 | | 18-Abr-24 | 10:19 | 10:22 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 44 | | 18-Abr-24 | 14:34 | 14:37 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 45 | | 18-Abr-24 | 17:34 | 17:37 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 46 | Día 10 | 19-Abr-24 | 6:47 | 6:50 | 0:03 min | M1 | 542 | EarthBind | Semi húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 47 | | 19-Abr-24 | 11:54 | 11:57 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|---------|-----------|-------------|--------|--------------|
| 48 | | 19-Abr-24 | 13:24 | 13:27 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 49 | | 19-Abr-24 | 15:48 | 15:51 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 50 | | 19-Abr-24 | 17:02 | 17:05 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 51 | Día 11 | 20-Abr-24 | 6:44 | 6:47 | 0:03 min | M1 | 675.26 | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 52 | | 20-Abr-24 | 8:52 | 8:55 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 53 | | 20-Abr-24 | 11:15 | 11:18 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 54 | | 20-Abr-24 | 14:29 | 14:32 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 55 | | 20-Abr-24 | 17:02 | 17:05 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Semi húmedo | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 56 | Día 12 | 21-Abr-24 | 7:04 | 7:07 | 0:03 min | M1 | 890.88 | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 57 | | 21-Abr-24 | 9:48 | 9:51 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 58 | | 21-Abr-24 | 12:17 | 12:20 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 59 | | 21-Abr-24 | 14:28 | 14:31 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 60 | | 21-Abr-24 | 16:29 | 16:32 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 61 | Día 13 | 22-Abr-24 | 6:39 | 6:42 | 0:03 min | M1 | 563.14 | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 62 | | 22-Abr-24 | 9:31 | 9:34 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 63 | | 22-Abr-24 | 12:29 | 12:32 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 64 | | 22-Abr-24 | 15:04 | 15:07 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 65 | | 22-Abr-24 | 18:34 | 18:37 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Semi Húmedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 66 | Día 14 | 23-Abr-24 | 7:43 | 7:46 | 0:03 min | M1 | 555.04 | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 67 | | 23-Abr-24 | 10:04 | 10:07 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 68 | | 23-Abr-24 | 13:24 | 13:27 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 69 | | 23-Abr-24 | 15:55 | 15:58 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 70 | | 23-Abr-24 | 17:32 | 17:35 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 71 | Día 15 | 24-Abr-24 | 7:24 | 7:27 | 0:03 min | M1 | 1147.86 | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 72 | | 24-Abr-24 | 9:51 | 9:54 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 73 | | 24-Abr-24 | 13:17 | 13:20 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 74 | | 24-Abr-24 | 15:57 | 16:00 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 75 | | 24-Abr-24 | 18:35 | 18:38 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 76 | Día 16 | 25-Abr-24 | 7:32 | 7:35 | 0:03 min | M1 | 1497.76 | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 77 | | 25-Abr-24 | 9:41 | 9:44 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------|-------|-------|----------|----|--------|-----------|--------|--------|--------------|
| 78 | | 25-Abr-24 | 12:03 | 12:06 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 79 | | 25-Abr-24 | 15:14 | 15:17 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 80 | | 25-Abr-24 | 18:24 | 18:27 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 81 | Día 17 | 26-Abr-24 | 6:17 | 6:20 | 0:03 min | M1 | 996.24 | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 82 | | 26-Abr-24 | 9:59 | 10:02 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 83 | | 26-Abr-24 | 12:23 | 12:27 | 0:04 min | M3 | | EarthBind | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 84 | | 26-Abr-24 | 14:44 | 14:48 | 0:04 min | M4 | | EarthBind | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 85 | | 26-Abr-24 | 17:47 | 17:51 | 0:04 min | M5 | | EarthBind | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 86 | Día 18 | 27-Abr-24 | 6:09 | 6:12 | 0:03 min | M1 | 505.08 | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 87 | | 27-Abr-24 | 8:59 | 9:02 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 88 | | 27-Abr-24 | 12:11 | 12:14 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 89 | | 27-Abr-24 | 14:58 | 15:02 | 0:04 min | M4 | | EarthBind | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 90 | | 27-Abr-24 | 16:59 | 17:03 | 0:04 min | M5 | | EarthBind | Humedo | 2 de 5 | Con tránsito |
| 91 | Día 19 | 28-Abr-24 | 6:28 | 6:31 | 0:03 min | M1 | 765.3 | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 92 | | 28-Abr-24 | 9:43 | 9:46 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 93 | | 28-Abr-24 | 11:59 | 12:02 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con tránsito |
| 94 | | 28-Abr-24 | 14:12 | 14:15 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 95 | | 28-Abr-24 | 17:00 | 17:03 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 96 | Día 20 | 29-Abr-24 | 6:14 | 6:16 | 0:02 min | M1 | 630.78 | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 97 | | 29-Abr-24 | 9:09 | 9:11 | 0:02 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 98 | | 29-Abr-24 | 13:12 | 13:15 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 99 | | 29-Abr-24 | 15:39 | 15:42 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 100 | | 29-Abr-24 | 17:47 | 17:50 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con tránsito |
| 101 | Día 21 | 30-Abr-24 | 6:33 | 6:36 | 0:03 min | M1 | 534.44 | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 102 | | 30-Abr-24 | 8:51 | 8:54 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Sin Tránsito |
| 103 | | 30-Abr-24 | 11:41 | 11:42 | 0:01 min | M3 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 104 | | 30-Abr-24 | 14:53 | 14:56 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 105 | | 30-Abr-24 | 17:07 | 17:10 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Humedo | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 106 | Día 22 | 1-May-24 | 6:09 | 6:11 | 0:02 min | M1 | 212.04 | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 107 | | 1-May-24 | 8:29 | 8:31 | 0:02 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|----------|-------|-------|----------|----|--------|-----------|--------|--------|--------------|
| 108 | | 1-May-24 | 11:10 | 11:12 | 0:02 min | M3 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con tránsito |
| 109 | | 1-May-24 | 12:58 | 13:01 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 110 | | 1-May-24 | 17:41 | 17:44 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 111 | Día 23 | 2-May-24 | 6:30 | 6:32 | 0:02 min | M1 | 1123.2 | EarthBind | seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 112 | | 2-May-24 | 11:11 | 11:13 | 0:02 min | M2 | | EarthBind | seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 113 | | 2-May-24 | 13:41 | 13:42 | 0:01 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 114 | | 2-May-24 | 15:53 | 15:55 | 0:02 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 115 | | 2-May-24 | 17:01 | 17:03 | 0:02 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 116 | Día 24 | 3-May-24 | 6:14 | 6:17 | 0:03 min | M1 | 513.04 | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 117 | | 3-May-24 | 8:15 | 8:18 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 118 | | 3-May-24 | 12:12 | 12:15 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 119 | | 3-May-24 | 13:53 | 13:55 | 0:02 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 120 | | 3-May-24 | 15:09 | 15:11 | 0:02 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 121 | Día 25 | 4-May-24 | 6:20 | 6:23 | 0:03 min | M1 | 705.04 | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 122 | | 4-May-24 | 9:01 | 9:04 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 123 | | 4-May-24 | 13:09 | 13:11 | 0:02 min | M3 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 124 | | 4-May-24 | 15:48 | 15:50 | 0:02 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 125 | | 4-May-24 | 16:44 | 16:46 | 0:02 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 126 | Día 26 | 5-May-24 | 7:41 | 7:44 | 0:03 min | M1 | 710.12 | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 127 | | 5-May-24 | 9:18 | 9:21 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 128 | | 5-May-24 | 13:29 | 13:31 | 0:02 min | M3 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 129 | | 5-May-24 | 15:00 | 15:02 | 0:02 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 130 | | 5-May-24 | 17:28 | 17:30 | 0:02 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 131 | Día 27 | 6-May-24 | 6:59 | 7:02 | 0:03 min | M1 | 911.38 | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 132 | | 6-May-24 | 9:38 | 9:41 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 133 | | 6-May-24 | 13:44 | 13:46 | 0:02 min | M3 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 134 | | 6-May-24 | 15:09 | 15:11 | 0:02 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 135 | | 6-May-24 | 16:59 | 17:01 | 0:02 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 136 | Día 28 | 7-May-24 | 6:43 | 6:46 | 0:03 min | M1 | 490.5 | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |
| 137 | | 7-May-24 | 10:24 | 10:27 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Seco | 2 de 5 | Con Tránsito |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|----------|-------|-------|----------|----|--------|-----------|--------|--------|--------------|
| 138 | | 7-May-24 | 13:00 | 13:03 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 139 | | 7-May-24 | 15:25 | 15:28 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 140 | | 7-May-24 | 17:28 | 17:31 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Mojado | 1 de 5 | Con Tránsito |
| 141 | Día 29 | 8-May-24 | 7:01 | 7:04 | 0:03 min | M1 | 735.1 | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 142 | | 8-May-24 | 9:17 | 9:20 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 143 | | 8-May-24 | 13:58 | 14:01 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 144 | | 8-May-24 | 15:33 | 15:36 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 145 | | 8-May-24 | 18:02 | 18:05 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 146 | Día 30 | 9-May-24 | 7:59 | 8:02 | 0:03 min | M1 | 289.64 | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 147 | | 9-May-24 | 9:42 | 9:45 | 0:03 min | M2 | | EarthBind | Mojado | 4 de 5 | Con Tránsito |
| 148 | | 9-May-24 | 12:06 | 12:09 | 0:03 min | M3 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 149 | | 9-May-24 | 15:43 | 15:46 | 0:03 min | M4 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |
| 150 | | 9-May-24 | 18:58 | 19:01 | 0:03 min | M5 | | EarthBind | Seco | 3 de 5 | Con Tránsito |



X. Procedimiento Operacional del Equipo DUSTMATE

| Etapas de la tarea | Procedimiento Operacional |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inspeccion del equipo. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar que el Dustmate cuente con todos sus componentes. 2. Verificar que todos los accesorios se encuentren en óptimas condiciones. 3. Limpiar con trapo el Dustmate. |
| Verificar que la batería este cargada. | <ol style="list-style-type: none"> 4. Conectar el pack de batería a través del conector DIN de 8 pins. 5. Encajar en conector y asegurar girando la rosca. 6. Apretar y soltar la tecla ON 7. Apretar RESET y verificar que el Voltaje <ul style="list-style-type: none"> • La batería esta totalmente cargada si el Voltaje es aproximadamente 6.4 Volts. • Recargar la batería si el Voltaje es menor a 5.9 Volts. 8. Cargar batería SI la pantalla muestra DUSTMATE pausado o Charge Battery. |
| Encendido | <ol style="list-style-type: none"> 9. Apretar y soltar la tecla ON. 10. Verificar que la pantalla muestre DUSTMATE Ready junto con la fecha y hora. |
| Apagado | <ol style="list-style-type: none"> 11. Desconectar la línea AirQ. 12. Presionar teclas $\uparrow\downarrow$ al mismo tiempo. 13. El instrumento se apagará automáticamente después de 4 min de que ninguna tecla se haya presionado. |
| Test de Calibración | <ol style="list-style-type: none"> 14. Apretar y soltar tecla ON. 15. Al encender Dustmate, este procede con un auto-test para asegurarse de que está funcionando correctamente. 16. Mandar a calibrar si muestra los siguientes mensajes <ul style="list-style-type: none"> • Last service at: fecha y día de última vez que fue a calibración. • Please have me factory serviced: la última calibración fue hace más de un año atrás. • Memory error: el Dustmate detecta una falla en su memoria. 17. El Dustmate volverá a sus ajustes por defecto, puede ser usable, sin embargo, la precisión de medición se reducirá. |

| Etapas de la tarea | Procedimiento Operacional |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Preparar equipo para toma de muestra. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar la aguja de entrada a Dustmate en el orificio que se encuentra en la parte superior de este. 2. Conectar la terminal de esta con la manguera de toma de muestras. 3. Conectar el filtro o rejilla con la manguera de toma de muestras. |
| Programar para toma de muestra. | <ol style="list-style-type: none"> 4. Apretar START cuando la visualización muestre “DUSTMATE ready”. Responder las preguntas que se muestren a continuación. |
| Resetear memoria | <ol style="list-style-type: none"> 5. Resetear la memoria solo si desea desechar las anteriores mediciones o ya se haya descargado la data a una PC. <ul style="list-style-type: none"> • La visualización mostrará “RESET MEMORY” • Selecciona YES = ↑ si desea que el equipo ajuste la memoria al principio y que el numero de muestra sea 1(con esta acción se borrarán las anteriores mediciones. • Apretar ENTER • ARE YOU SURE: apretar YES = ↑ para el reseteo de la memoria. • Apretar ENTER para confirmar el reseteo. • La visualización mostrará START SAMPLE 1, el equipo está listo para su primera medición. |
| Iniciar toma de muestra (Start Sample) | <ol style="list-style-type: none"> 6. Apretar START cuando la visualización muestre “DUSTMATE ready”. Responder las preguntas que se muestren a continuación. 7. La visualización mostrará “RESET MEMORY” 8. Selecciona NO = ↓ si desea que el instrumento realice la medición sin borrar las anteriores mediciones. 9. Apretar ENTER 10. La visualización mostrará START SAMPLE nn: donde nn es el número de identificación (entre 1 y 85) del número de muestra que esta por empezar. Será START SAMPLE 1 si se acaba de resetear la memoria. 11. Selecciona YES = ↑ si desea que el instrumento inicie con la medición. 12. Presione ENTER para ejecutar la toma de muestra. 13. El equipo se encenderá y emitirá un sonido leve. 14. La visualización mostrará “SAMPLE 1 starts”, la hora y fecha. La toma de muestras de polvo comenzará 15. Apretar NEXT: el visualizador mostrará “...sampling” junto con la hora y fecha, y la toma de muestras de polvo se estará ejecutando. |
| Terminar toma de muestra | <ol style="list-style-type: none"> 16. Presione STOP 17. Visualización mostrará STOP SAMPLE nn: nn es número de toma de muestra. 18. Selecciona YES = ↑: para culminar la toma de muestra. 19. Presione ENTER para ejecutar la orden 20. La toma de muestra de polvo termino 21. El equipo dejara de emitir el sonido leve. 22. La visualización mostrará “DUSTMATE ready”. |

XI. Elección de la prueba estadística de acuerdo a las características del estudio.

| Objetivos del estudio | VARIABLES Y DISTRIBUCIÓN | Tipo de muestra | Prueba recomendada |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Comparar 2 promedios | Cuantitativas, distribución normal | Muestras relacionadas | t de Student |
| | | Muestras independientes | t de Student |
| | Cuantitativas discontinuas y continuas sin distribución normal | Muestras relacionadas | Wilcoxon |
| | | Muestras independientes | U Mann Whitney |
| Comparar ≥ 3 grupos | Cuantitativas, distribución normal | Muestras relacionadas | Análisis de varianza (ANOVA) de 2 vías |
| | | Muestras independientes | ANOVA de una vía |
| | Cuantitativas discontinuas y continuas sin distribución normal | Muestras relacionadas | Friedman |
| | | Muestras independientes | Kruskal-Wallis |
| Comparar 2 grupos | Cualitativas nominales y ordinales | Muestras relacionadas | McNemar |
| | | Muestras independientes | Chi-cuadrada* |
| Comparar ≥ 3 grupos | Cualitativas nominales y ordinales | Muestras relacionadas | Q de Cochran |
| | | Muestras independientes | Chi cuadrada |
| Correlación de 2 variables | Cuantitativas, distribución normal | Muestras independientes | Coefficiente de correlación de Pearson |
| | Cuantitativas discontinuas y continuas sin distribución normal | Muestras independientes | Coefficiente de correlación de Spearman |

*Utilizar prueba exacta de Fisher si algún grupo tiene valor < 5

