

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESINA

**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO
JESÚS 2004 TRES, DISTRITO DE ANANEA-2022**

**PRESENTADO POR:
LIDIA CIRA CCAPA HUAYTA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ
2022**



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](#)

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESINA

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE MATERIAL

PARTICULADO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO

JESÚS 2004 TRES, DISTRITO DE ANANEA-2022

PRESENTADO POR:

LIDIA CIRA CCAPA HUAYTA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


: _____
M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

PRIMER MIEMBRO


: _____
Dra. MILDER ZANABRIA ORTEGA

ASESOR DE TESINA


: _____
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

Área: Ciencias Naturales

Disciplina: Meteorología y Ciencias Atmosféricas

Especialidad: Contaminación del Aire

Puno, 19 de Diciembre del 2022

DEDICATORIA

Como muestra de mi gratitud y respeto, dedico este progreso que he obtenido especialmente a mis padres (Gerardo y Amanda) del mismo modo a toda mi familia, por brindarme su apoyo incondicional en los buenos y en los malos momentos, todo para fortalecer mi espíritu y mi afán de superarme.

Así mismo también dedico esta investigación al Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, por permitirme llevar a cabo esta investigación.

Finalmente agradecer a mis amigos por apoyarme a desarrollar en todo este proyecto.

AGRADECIMIENTO

Hago un cordial agradecimiento a mi casa de estudios Universidad Privada San Carlos de Puno, por brindarme la oportunidad de ser parte de la institución como estudiante. A los docentes de la Facultad de Ingenierías-Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por inculcarme valores profesionales e instruirme conocimientos/experiencias y de esta forma hacer posible mi formación académica con éxito.

A mi asesora Mg. Katia E. Andrade Linarez, por brindarme su tiempo, conocimientos y guiarme durante la elaboración del presente informe de investigación. Del mismo modo, agradecerles a mis distinguidos jurados, por apoyarme constructivamente con sugerencias, aportes e ideas con la finalidad de llevar a cabo este proyecto de investigación exitosamente.

También hacerles llegar mis agradecimientos especiales a la empresa Ecosouth Medio Ambiente, Ingeniería y Geomática S.R.L. por haberme facilitado el uso de las herramientas e instrumentos de monitoreo de calidad de aire.

Al Proyecto Minero Jesús 2004 Tres por haberme permitido monitorear dentro de sus instalaciones.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	11
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15

CAPÍTULO I

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA
INVESTIGACIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	19
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	19
1.2. JUSTIFICACIÓN	20
1.3. ANTECEDENTES	21
1.3.1. A NIVEL INTERNACIONAL	21
1.3.2. A NIVEL NACIONAL	22
	3

1.3.3. A NIVEL LOCAL	25
1.4. OBJETIVO	26
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	26
1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	26
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1. MARCO TEÓRICO	27
2.1.1. AIRE	27
2.1.2. CALIDAD DE AIRE	28
2.1.3. LA ATMÓSFERA	28
2.1.4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	29
2.1.4.1 Clasificación de contaminantes	30
2.1.4.2 Fuentes de contaminación	31
2.1.4.3 Fuentes de emisión	32
2.1.5. LA ACTIVIDAD MINERA	32
2.1.6. LA MINERÍA EN PUNO	33
2.1.7. CLASIFICACIÓN DE MINERÍA SEGÚN EL TAMAÑO DE EXPLOTACIÓN	34
2.1.8. FASES DE LA ACTIVIDAD MINERA	36
2.1.9. IMPACTO AMBIENTAL Y SALUD PROVOCADA POR LA ACTIVIDAD MINERA	37
2.1.10. MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2.5	39
2.1.11. FUENTES DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA ACTIVIDAD MINERA	39
2.1.12. DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA ATMÓSFERA	41
	4

2.1.13. EFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	43
2.1.14. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA)	44
2.1.15. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE SEGÚN SU TECNOLOGÍA	45
2.1.16. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR SU GRADO DE EXACTITUD	48
2.2. MARCO CONCEPTUAL	49
2.3. MARCO NORMATIVO	51
2.4. HIPÓTESIS	52
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	52
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	53

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	54
3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	54
3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA	55
3.1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO MINERO JESÚS 2004 TRES 55	
3.1.4. LÍMITES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	55
3.1.5. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO	57
3.1.6. DELIMITACIÓN SOCIAL	57
3.1.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
3.1.8. PERIODO DE MUESTREO	58
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	59

3.3. METODO Y TECNICAS	59
3.3.1. DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DEL PM10 Y PM2.5	59
3.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS DE PM10 Y PM2.5	60
3.3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA PM10 y PM2.5	63
3.3.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	64
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	74
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	75
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO PM10 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO	76
4.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO PM2.5 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO	78
4.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AIRE	79
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Estratificación de la actividad minera formal en el Perú	35
Tabla 02: Ubicación de puntos de muestreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$	57
Tabla 03: Operalización de variables	74
Tabla 04: Resultados de concentración de PM_{10}	76
Tabla 05: Resultados de la concentración de $PM_{2.5}$	78
Tabla 06: Comparación de los resultados del PM_{10} con los (ECA) para aire	79
Tabla 07: Comparación de los resultados del $PM_{2.5}$ con los (ECA) para aire	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Rosa de viento	41
Figura 02: Efecto del viento sobre el tamaño de las partículas	42
Figura 03: Diagrama de factores de riesgo asociados al PM y su efecto en la salud	44
Figura 04: Ejemplo de proceso de método gravimétrico para PM	47
Figura 05: Mapa de ubicación geográfica del Distrito de Ananea	56
Figura 06: Ubicación del Proyecto Mineros Jesús Tres 2004	56
Figura 07: Muestreador de alto volumen Hi-Vol	62
Figura 08: Muestreador de bajo volumen Lo-Wol BGI	63
Figura 09: Diagrama de procedimiento de laboratorio en la fase de pre - muestreo	70
Figura 10: Diagrama de procedimiento de laboratorio en la fase de post- muestreo	71
Figura 11: Tabla de flujo para PM ₁₀ muestreador de aire de alto volumen Hi-Vol	72
Figura 12: Determinación de material particulado PM ₁₀ con Control de Flujo Volumétrico	73
Figura 13: Evaluación de la concentración de PM ₁₀ con los ECA para aire	80
Figura 14: Evaluación de la concentración de PM _{2.5} con los ECA para aire	81
Figura 15: Equipo muestreador Hi-Vol instalado	121
Figura 16: Equipo estación meteorológica instalado	121
Figura 17: Equipo muestreador Lo-Wol instalado	121
Figura 18: Uso de guantes de nitrilo para el manejo de los filtros	122
Figura 19: Instalación del papel filtro de PM ₁₀ sobre el portafiltro del muestreador Hi-Vol	122
Figura 20: Ajuste del papel filtro de PM ₁₀ en el portafiltro del muestreador Hi-Vol	123
Figura 21: Instalación del portafiltro con filtro incluido para PM ₁₀ sobre el trapecio	123
Figura 22: Ajuste del portafiltro en la base del trapecio, asegurando con pernos y tuercas	124

Figura 23: Ajuste de las partes cuerpo y cabezal del equipo Hi-Vol	124
Figura 24: Impregnación con silicona fuera de los orificios del impactador del equipo	125
Figura 25: Programación del data logger del Equipo Hi-Vol	125
Figura 26: Programación del data logger de inicio de muestreo	126
Figura 27: Instalación del estabilizador de energía	126
Figura 28: Instalación del equipo muestreador Lo-Wol	127
Figura 29: Filtro para $PM_{2.5}$	127
Figura 30: Portafiltro para $PM_{2.5}$ del muestreador Lo-Wol	128
Figura 31: Ajuste del papel filtro en el portafiltro	128
Figura 32: Instalación del portafiltro en el equipo muestreador Lo-Wol	129
Figura 33: Portafiltro en el cabezal del equipo muestreador Lo-Wol	129
Figura 34: Enroscamiento del portafiltro en el equipo muestreador Lo-Wol	130
Figura 35: Programación del data logger para inicio de muestreo del $PM_{2.5}$	130
Figura 36: Culminación de instalación de los equipos de muestreo en la estación P1-CA	131
Figura 37: Culminación de instalación de los equipos de muestreo en la estación P2-CA	131
Figura 38: Desinstalación del equipo y extracción del filtro muestreado	132
Figura 39: Desajuste de los pernos del portafiltro con la base del trapecio	132
Figura 40: Papel Filtro muestreado por PM_{10}	133
Figura 41: Extracción del filtro muestreado	133
Figura 42: Muestra del PM_{10} en la estación de muestreo P1-CA - mes de marzo	134
Figura 43: Muestra del PM_{10} en la estación de muestreo P2-CA - mes de marzo	134
Figura 44: Muestra del PM_{10} en la estación de muestreo P1-CA - mes de junio	135
Figura 45: Muestreo instalado en la estación P2-CA - mes de junio	135
Figura 46: Extracción del papel filtro con muestra de $PM_{2.5}$	136
Figura 47: Aseguramiento de la muestra en el portafiltro de envío al laboratorio	136

Figura 48: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P1-CA del mes de marzo	137
Figura 49: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P1-CA del mes de marzo	137
Figura 50: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P1-CA del mes de junio	138
Figura 51: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P2-CA del mes de junio	138
Figura 52: Aseguramiento del equipo estación meteorológica al trípode	139
Figura 53: Aseguramiento del anemómetro de la estación meteorológica	139
Figura 54: Programación de data logger del equipo meteorológico	140
Figura 55: Programación de inicio de registro meteorológico en el data logger	140

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia	93
Anexo 02: Estándares de Calidad Ambiental para aire	95
Anexo 03: Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo	96
Anexo 04: Requerimientos técnicos para estaciones meteorológicas	97
Anexo 05: Requerimientos técnicos para la instalación de estación meteorológica	98
Anexo 06: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	99
Anexo 07: Cadena de custodia	100
Anexo 08: Resultados de muestreo obtenidos del laboratorio	104
Anexo 09: Reporte de los resultados del laboratorio correspondiente al mes de marzo	105
Anexo 10: Reporte de los resultados del laboratorio correspondiente al mes de junio	107
Anexo 11: Conversión de unidad de medida para PM_{10}	109
Anexo 12: Determinación de concentración de material particulado PM_{10} , con control de flujo volumétrico	109
Anexo 13: Conversión de unidad de medida para $PM_{2.5}$	111
Anexo 14: Resultados meteorológicos	113
Anexo 15: Distribución de los parámetros meteorológicos de los meses de marzo y junio	115
Anexo 16: Distribución de los parámetros meteorológicos del 2021 y 2022	119
Anexo 17: Panel fotográfico	121

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PM₁₀.- Material Particulado PM₁₀ son aquellas partículas sólidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento, polen u otros similares, dispersas en el aire, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm.

PM_{2.5}.- La materia particulada o PM_{2.5}, son partículas muy pequeñas en el aire que tiene un diámetro de 2.5 micrómetros (aproximadamente 1 diezmilésimo de pulgada).

MINAM.- Ministerio de Ambiente.

ECA.- Estándar Nacional de Calidad del Aire.

INEI.- Instituto Nacional de Estadística e Informática.

IGAFOM.- Instrumento de Gestión Ambiental para la Formalización de las Actividades de Pequeña Minería y Minería Artesanal.

MINEM.- Ministerio de Energía y Minas.

P1-CA.- Punto 01 de control de aire.

P2-CA.- Punto 02 de control de aire.

Q_{real}.- Caudal real.

SENAMHI.- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

OMS.- Organización Mundial de la Salud.

RESUMEN

La presente investigación se ha desarrollado dentro del área de influencia directa del Proyecto Mineros Jesús 2004 Tres ubicado en el Distrito de Ananea, con el objetivo de determinar la concentración del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres. El tipo de investigación es cuantitativo con diseño de investigación no experimental-longitudinal de tendencia comparativo descriptivo, la metodología aplicada para la toma de muestras fue el método gravimétrico, la técnica de recolección de datos se desarrolló de acuerdo al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire establecido por el MINAM, los principales equipos utilizados fueron los muestreadores Hi-Vol de alto volumen (PM_{10}) y Lo-Wol de bajo volumen ($PM_{2.5}$). De los resultados obtenidos se tiene las siguientes concentraciones para el PM_{10} ; en la estación P1-CA se obtuvo $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de marzo) y $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de junio), y en la estación P2-CA se obtuvo la concentración de $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ marzo y junio respectivamente, resaltando mayor concentración de PM_{10} en la estación P1-CA correspondiente al mes de junio; mientras que para el $PM_{2.5}$ en la estación P1-CA se obtuvo $8.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de marzo) y $8.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de junio), y en la estación P2-CA se obtiene la concentración de $4.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de marzo y junio respectivamente. Se concluye que los resultados obtenidos en la determinación de concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ muestreados en ambas fechas (marzo y junio), no superan los Estándares de Calidad Ambiental para aire, sin embargo, queda en evidencia la existencia de los contaminantes evaluados en bajas concentraciones, lo que significa que la exposición a estos contaminantes a largo plazo podrían ser peligrosas para la salud humana.

Palabras clave: Determinación, Material Particulado, contaminación y evaluación.

ABSTRACT

The present research has been developed within the area of direct influence of the Jesús 2004 Tres Mining Project located in the District of Ananea, with the objective of determining the concentration of particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) in the area of influence of the Jesús 2004 Tres Mining Project. The type of research is quantitative with a non experimental-longitudinal trend comparative descriptive research design, the methodology applied for sampling was the gravimetric method. The data collection technique was developed according to the National Protocol for Monitoring Environmental Air Quality established by MINAM, the main equipment used were Hi-Vol high volume (PM_{10}) and Lo-Wol ($PM_{2.5}$) low volume samplers. The results obtained show the following concentrations for PM_{10} : at station P1-CA, $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (March) and $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (June), and at station P2-CA, $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (March and June, respectively). The highest concentration of PM_{10} was obtained at station P1-CA in June, while for $PM_{2.5}$ at station P1-CA, $8.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (March) and $8.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (June) were obtained, and at station P2-CA, $4.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $3.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ were obtained in March and June, respectively. It is concluded that the results obtained in the determination of PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations sampled on both dates (March and June), do not exceed the environmental quality standards for air, however, the existence of the evaluated pollutants in low concentrations is evident, which means that exposure to these pollutants in the long term could be dangerous for human health.

Key words: Determination, Particulate Matter, contamination and evaluation.

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país poseedor de una gran riqueza mineral, y de acuerdo al desarrollo de esta actividad, puede representar un gran crecimiento económico y social en las zonas de influencia, sin embargo, cuando se administra de forma incorrecta sus efectos ambientales pueden desencadenar el agotamiento y destrucción de los recursos naturales (GORE, 2013). Por ello es que en muchas oportunidades se presentan altos niveles de conflictos sociales en torno a la gran minería, debido a su impacto en el medioambiente y otros efectos negativos en la salud de las poblaciones aledañas a las zonas mineras (Astete et al., 2014). El Distrito de Ananea es reconocido como la “ Ciudad Dorada de los Andes” por su principal actividad económica de extracción y/o producción mineral (pequeña minería y minería artesanal) entre ellas formales e informales, dejando en evidencia la generación y/o proliferación de material particulado en las zonas más concurridas de transporte mineral. Y de acuerdo a la evaluación de los problemas de contaminación atmosférica, en el área de influencia de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, Huanca (2016), indica que se produce la emisión de partículas de polvo por la circulación de vehículos y/o equipos mecánicos, presentando impactos negativos a la flora y fauna de tipo medio a alto mitigable.

En el CAPÍTULO I se presenta; el planteamiento del problema de investigación, abordando las problemáticas ambientales ocasionadas por la generación y dispersión de los materiales particulados en el aire, así como también se señalan antecedentes relacionadas a la determinación de niveles de concentración de los materiales particulados PM_{10} y $PM_{2.5}$, del mismo modo se identifica los objetivos de investigación.

El CAPÍTULO II, presenta el marco teórico donde se cita autores e instituciones que argumentan sobre la determinación del material particulado PM_{10} , $PM_{2.5}$, e información que es relevante para relacionar las variables de investigación.

El CAPÍTULO III, expone el tipo y diseño de la investigación, también se describe el método de investigación, y las técnicas e instrumentos a utilizar para la recolección de las muestras a fin de desarrollar una adecuada y oportuna investigación.

El CAPÍTULO IV, desarrolla la exposición de los resultados, a la vez se analiza y se interpreta los resultados de la aplicación del proyecto de investigación, donde se detalla las concentraciones de los PM_{10} y $PM_{2.5}$ obtenidos en los muestreos comparando con los Estándares de Calidad Ambiental - ECA para aire.

Finalmente, se dejan las conclusiones y recomendaciones que contribuirán a mejorar el nivel de desarrollo socio ambiental promoviendo nuevas estrategias preventivas que beneficien al medio ambiente del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo actual la contaminación provocada por la dispersión de material particulado es una problemática que ha causado mucha controversia en nuestro planeta, es cierto que todo comenzó con mayor preocupación a raíz de la revolución industrial, es por ello que muchos países han implementado políticas ambientales a favor a la protección ambiental (Ruiz, 2018).

Según Luquez (2020), la presencia en la atmósfera de material particulado ocasiona variedad de impactos negativos a la vegetación, materiales y al hombre, entre ellos, la disminución visual en la atmósfera, causada por la absorción y dispersión de la luz. Además, la presencia del material particulado está asociada con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en muestras de adultos. De acuerdo a Vara (2017), la composición química del material particulado es muy heterogénea, indicando que estas con diámetro inferior a 10 μm denominadas PM_{10} son dañinas para la salud humana, ya que pueden penetrar por las vías respiratorias, y las fracciones finas con diámetro menor a 2,5 μm denominadas $\text{PM}_{2.5}$, es de mayor peligrosidad al ser 100%

respirables, además tienden a incluirse y permanecer mayor tiempo en los pulmones; siendo en general su composición química de mayor toxicidad.

El Perú es un país poseedor de una gran riqueza mineral, siendo la minería, el sector que más exportaciones realiza anualmente, generando el mayor aporte de divisas a nuestra economía, por lo cual es casi imposible que podamos prescindir de esta actividad extracto-productiva. El adecuado desarrollo de esta actividad puede representar un gran crecimiento económico y social de las zonas de influencia, sin embargo, cuando se administra de forma incorrecta sus efectos ambientales pueden desencadenar el agotamiento y destrucción de los recursos naturales, la generación y distribución de desechos y/o residuos peligrosos, dejando como consecuencia el crecimiento demográfico desordenado (GORE, 2013). Además de ello el Perú cuenta con un gran potencial geológico y con un marco normativo propicio para la inversión y la industria minera, la cual resulta ser la fuente más importante de divisas. Pero en muchas oportunidades se presentan altos niveles de conflicto social en torno a la gran minería debido a su impacto en el medioambiente y a los efectos negativos en la vida y salud de las poblaciones aledañas a zonas mineras (Astete et al., 2014).

Esto concuerda con lo observado por Vara (2017), quien manifiesta que en estos últimos años el departamento de Cusco está experimentado un deterioro en la calidad de aire atmosférica por la generación del material fino, que superan valores normales de calidad de aire para material particulado menores a 10 micras, alcanzando concentraciones peligrosas para la salud de las personas, especialmente lo expuesto a este material en determinadas épocas del año, a consecuencia del crecimiento de la actividad económica en esta ciudad.

Sin embargo, Puno es una región minera donde se explotan diferentes yacimientos minerales como auríferos, cupríferos y polimetálicos, de acuerdo con el Diagnóstico Ambiental Regional (DAR) de Puno se ha inventariado un total de 226 unidades

minerales de tipo metálico entre proyectos, prospectos y ocurrencias. La producción minera metálica de Puno se centra principalmente en estaño, plomo, oro, plata y zinc (GORE, 2013). Donde resalta el Distrito de Ananea por su principal actividad económica de extracción y/o producción mineral (pequeña minería y minería artesanal) entre ellas formales e informales. Dejando en evidencia la generación y/o proliferación de material particulado en las zonas más concurridas de transporte mineral. Y de acuerdo a la evaluación de los problemas de contaminación atmosférica en el área de influencia de la Cooperativa Minera Señor de Ananea, (Huanca, 2016) nos indica que se produce la emisión de partículas de polvo por la circulación de vehículos y/o equipos mecánicos, presentando impactos negativos a la flora y fauna de tipo medio a alto mitigable, recomendando que se debe realizar un programa de monitoreo y seguimiento de los factores ambientales involucrados en el proyecto para poder determinar su acción mitigable.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son los niveles de concentración del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres?.

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el nivel de concentración del material particulado (PM_{10}) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres?.
- ¿Cuál es el nivel de concentración del material particulado ($PM_{2.5}$) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres?.
- ¿Los niveles de concentración del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ estarán dentro o fuera de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire?.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Durante el transcurso de los años es notable el deterioro de la calidad del aire y su relación con el desarrollo económico y actividades antropogénicas, las cuales traen consigo una serie de preocupaciones a causa de altas concentraciones de los parámetros físicos químicos emitidos por diferentes actividades como minero metalúrgicos, los mismos que han provocado efectos severos como la contaminación ambiental y/o ecosistema, influyendo al desarrollo de la flora y fauna, del mismo modo afectando a la salud y actividad humana.

Entonces es de suma importancia saber y/o conocer el nivel de concentración del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), rescatando la alerta de evaluación de las concentraciones, con la finalidad de tomar medidas correspondientes y/o plantear soluciones frente al problema, de ser el caso, y de este modo prevenir serios problemas ambientales que se puedan producir a causa del incremento de estas concentraciones. y así, poder conservar la imagen del proyecto minero como una institución responsable y amigable con el medio ambiente.

Hoy en día la temática ambiental debe de ser un espacio abierto donde la discusión y el análisis no se dé en forma unidireccional por parte de los especialistas. Si no que se preste al debate, a la crítica y la reflexión de forma cotidiana despertando la sensibilidad en la sociedad, que nos permita corregir el rumbo a la sostenibilidad. En el Perú el problema de la contaminación es más grave por la falta de conciencia y respecto, aún entre personas educadas o progresistas se debe comprender que los problemas ambientales no son problemas de pocos, sino que es de todos. La información a la sociedad es importante debido a que esto es el punto de partida para la mitigación de los problemas ambientales y/o sociales. Que por consiguiente viene a afectarnos directamente y/o indirectamente a nosotros los humanos. De este modo podemos evitar problemas en la salud, medio ambiental y principalmente los conflictos sociales.

1.3. ANTECEDENTES

1.3.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Molina (2018), en su investigación de “Análisis de Material Particulado en la Mina San Pablo Parroquia San Antonio de Pichincha en la Comunidad de Tanlahua”, presentada a la Escuela Politécnica Nacional para optar el título de Ingeniero Ambiental, cuyo objetivo es determinar los niveles de material particulado en el sector aplicando el monitoreo atmosférico mediante un muestreador de alto volumen, utilizando la metodología gravimétrica durante un periodo de tres meses, adaptando el promedio aritmético a trimestral; el mismo que presenta los resultados de concentración de PM_{10} promedio $44.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cumpliendo con la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire, donde se aprecia el sobrevalor de las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se resalta que en la muestra 16 de fecha setiembre del año muestreado, donde eleva la concentración hasta $88.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como el valor máximo en el periodo de muestreo y como valor mínimo de concentración se observa en la muestra 18 del mes de julio con $19.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de este modo se Concluye que la Mina San Pablo al no disponer de un sistema de explotación ingenierilmente diseñado, genera deslizamientos constantes de material pétreo en la cantera, produciendo notables emisiones de PM_{10} al ambiente y que durante los meses de verano en que las condiciones climáticas favorecen su dispersión hasta la comunidad de Tanlahua.

Tarazona (2018), en su investigación de “Evaluación de la Calidad de Aire por Emisiones de Material Particulado (PM_{10}) en la Vereda Mochuelo-Alto Bogotá D.C.”, presentada a la Universidad el Bosque para optar el título profesional de ingeniero ambiental, con el objetivo de evaluar la calidad del aire a partir de la cuantificación de material particulado (PM_{10}) en la estación de Mochuelo Alto Bogotá Rural, aplicando la metodología mixta de cuantitativo y cualitativo de manera práctica y teórica; obteniendo como resultados de los datos recopilados durante el año 2017 (De los 365 días del año, se tuvo registro de 254

días que corresponde a un 69,59%), de acuerdo al grado de cumplimiento de la norma colombiana se pudo determinar que si se cumple en un 89% de los días y no cumple en un 11%. Mientras tanto, en comparación con la Guía de la OMS, las concentraciones promedio mensuales de PM_{10} no cumplieron en un 85% de los días evaluados y en un 15% si lo cumplieron. Concluyendo que se tuvo datos completos en los meses de mayo, septiembre y octubre, en un periodo de 24h y se puede estimar que la concentración media de PM_{10} son de $68,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $67,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $70,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

1.3.2. A NIVEL NACIONAL

Quispe (2018), afirma en su investigación de “Evaluación de Monitoreo de la Calidad de Aire en la Ciudad de Cajamarca, como una Medida de Diagnóstico y Control del Nivel de Contaminación de la Zona – 2017” presentada a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, con el objetivo de evaluar el monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Cajamarca, como medida de diagnóstico y control del nivel de contaminación de la zona, empleando la metodología de análisis-síntesis para identificar y determinar los posibles riesgos en la salud de los pobladores de la zona a consecuencia de la contaminación del aire, del mismo modo se realizó la comparación de resultados obtenidos en el 2012 y del 2016; resultados como referencia los valores obtenidos de $PM_{2.5}$ en el 2012 de julio y agosto es $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, sobrepasando los ECA y valores obtenidos de PM_{10} del mismo año es en junio; $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, julio; $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y agosto $67,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, manteniéndose dentro de los ECA ambos dentro del periodo de 24h; los valores obtenidos en el año 2016 para $PM_{2.5}$ en periodo anual sobrepasan los ECA en las 12 mediciones, sin embargo los valores obtenidos para PM_{10} del mismo periodo en 24h son relativamente bajos con respecto a los ECA, indicando que si hay presencia de partículas menores a 10μ . Se concluye que el pico más alto con concentración de $PM_{2.5}$ fue en año 2016 con $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el pico más bajo registra $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mismo año, ambos sobrepasando ECA para aire,

identificando como actividad causal de contaminación es la presencia de una gran cantidad de parque automotor y otra fuente de contaminación identificada fue la actividad minera en la zona, que generó y sigue generando conflictos socioambientales que no se solucionan aún.

Robles (2020), en su investigación “La Contaminación del Aire por Material Particulado y Su Relación con las Enfermedades de Tipo Respiratorio en la Población de Cerro de Pasco, 2010 y 2016”, presentada a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias Ambientales, con el objetivo de determinar la relación que existe entre el material particulado PM_{10} debido a la operación del tajo abierto “Raúl Rojas” y las enfermedades de tipo respiratorias agudas (IRAs) en la población de Cerro de Pasco, en los años 2010 y 2016, la metodología de esta investigación se enmarca como una investigación sustantiva descriptiva-explicativa, además se desarrolló el diseño no experimental – transversal; teniendo como resultado la concentración promedio anual de PM_{10} el año 2010, en la E-1=62 $\mu g/m^3$; E-2=60,18 $\mu g/m^3$; E-3= 72,18 $\mu g/m^3$ y E-4= 81,81 $\mu g/m^3$, sobrepasando los ECA-anual y la guía/directrices de la OMS; mientras que en el año 2016 el promedio anual de concentración de PM_{10} de las estaciones E-1, E-2 y E-3 son: 39,58 $\mu g/m^3$; 45.25 $\mu g/m^3$ y 28.29 $\mu g/m^3$ respectivamente, manteniéndose dentro de los ECA-anual, sin embargo, sobrepasa las directrices del OMS-anual, por lo tanto, estos valores son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, concluyendo que se identificó una relación significativa que existe entre el material particulado PM_{10} ocasionada por la operación minera de cielo abierto “Raúl Rojas” y las enfermedades de tipo respiratorias agudas (IRAs) que afectaron a la población de la localidad de Cerro de Pasco, durante las décadas de 2010 y 2016.

Blanco et al. (2020), en el estudio que realizaron “Identificación y Valoración de Impactos Ambientales Generados por las Actividades de la Minería Informal, en el Cerro Luicho del Distrito de Colta, Provincia de Paucar del Sara Sara, Ayacucho”, presentado a la

Universidad Tecnológica del Perú para obtener el título profesional de Ingeniero de Seguridad Industrial y Minera, con el objetivo de determinar y valorar los impactos ambientales significativos ocasionados por las actividades de los mineros artesanales del Cerro Luicho del distrito de Colta de la provincia de Paucar del Sara Sara, departamento de Ayacucho, la metodología utilizada para la valoración de los Impactos Ambientales identificados se ha aplicado la matriz de valoración de impactos del Banco Mundial; obteniendo como resultado la identificación de los impactos ambientales en las diferentes actividades tales como: Alteración de calidad de aire por generación de PM (con significancia del impacto moderado) y modificación calidad de aire por generación de PM por voladura (severo), concluyendo que la generación de material particulado y/o propagación de PM se presenta en las actividades de obras provisionales, perforación, voladura, extracción, pallaqueo y transporte, sin embargo, para la determinación de la calidad de aire se realizó muestreo puntual en un periodo de 24h, como resultado del análisis de aire para PM_{10} se obtuvo en los puntos de muestreo CA-01= $24.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y CA-02= $133.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el $PM_{2.5}$ $45.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $72.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, sobrepasando los ECA en el punto de monitoreo CA-02 para PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Guevara (2019), en su trabajo de investigación titulado “Declaración de Impacto Ambiental para el Proyecto Minero Artesanal No Metálico el Cañetano, Ventanilla, Callao”, con el objetivo de elaborar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), como instrumento de Gestión Ambiental para Identificar y Evaluar los Impactos Ambientales del proyecto minero no metálico artesanal Cañetano de Ventanilla, Callao, utilizando el método explicativo y método analítico descriptivo, de los resultados obtenidos en la descripción ambiental área de proyecto, evaluación de la calidad ambiental de aire, se obtuvo; en la estación PM-01 (barlovento) $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ partículas en suspensión PM_{10} y en la estación PM-02 (sotavento) $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} , sobrepasando en el primer punto de muestreo los Estándares de Calidad Ambiental para Aire aprobado por el D.S. N° 003-2017 MINAM, concluyendo que en la fase de explotación el factor ambiental de la

calidad de aire, se ha visto afectada por las actividades de carguío y transporte esto debido a la polución de material particulado.

Parhuayo (2019), en su trabajo de investigación titulado “Estudio Geológico y Evaluación Geo ambiental de la Calidad de Aire y Suelo de Minera la Verde S.A. - Distrito Acarí - Provincia de Caravelí – Departamento de Arequipa, con objetivo específico de diagnosticar la calidad de suelo y aire en el área de estudio, aplicando la metodología de análisis de la toma de muestras de aire y matriz de evaluación concesas; obtiene los resultados de concentración para material particulado PM_{10} en el punto PCA-01; $48.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el PCA-02; $38.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para material particulado $PM_{2.5}$ en el punto PCA-01; $14.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el PCA-02; $11.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, manteniéndose así dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para aire. Concluyendo que la Unidad Minera La Verde S.A. de los datos recolectados para la matriz de evaluación ambiental dieron como resultado, un impacto negativo leve en contaminación de aire y suelo, estando esta unidad minera en proceso de formalización.

1.3.3. A NIVEL LOCAL

RHLAB S.A.C. (2021), en su informe de monitoreo de calidad de aire y ruido. Con el objetivo principal de comparar los resultados obtenidos en el monitoreo ambiental, con la normativa nacional vigente y estimar su situación actual, aplicando la metodología de análisis gravimétrico para $PM_{2.5}$ /muestreo y análisis para gases; mostrando como resultado en la estación A-1 para material particulado $PM_{2.5}=2,70\mu\text{g}/\text{m}^3$; $SO_2= <22.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $NO_2 = 13.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $CO=4713.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $H_2S= <3.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Y en la estación A-2 para $SO_2= <22.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $NO_2=16.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $CO=8204.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $H_2S= <3.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, considerando la E A-1 dentro de la población de Ananea y la E A-2 dentro de la población del C.P. Rinconada, concluyendo que las estaciones monitoreadas se encuentran en zonas mineras donde la población radica.

Isidro (2020), en su Informe de Monitoreo Ambiental Calidad de Aire (Gases) y Ruido Ambiental, con el objetivo principal de realizar el Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire y ruido ambiental, respecto al Estándar de Calidad Ambiental-ECA para estos elementos. Utilizando la metodología de muestreo y análisis; muestra los resultados en: P1-CAR; SO₂ =13.72 µg/m³; NO₂=30.75 µg/m³; CO=625 µg/m³ y P1-CAA; SO₂=13.72 µg/m³; NO₂=9.50 µg/m³; CO=2704.17 µg/m³, Considerando P1-CAR dentro de la población del C.P. de Rinconada y P1-CAA dentro de la población del Distrito de Ananea, los mismos puntos que se encuentran dentro de zonas mineras.

1.4. OBJETIVO

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Evaluar la concentración de material particulado PM₁₀ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.
- Evaluar la concentración de material particulado PM_{2.5} en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.
- Justipreciar la calidad del aire a través de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire del área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. AIRE

Según Prieto (2016), El aire es un bien común limitado, esencial para la vida; Por lo cual, su uso está sujeto a normas encaminadas a evitar la degradación de su calidad por el uso o abuso indebido, de manera que se conserve su pureza como garantía de evolución, para el desarrollo natural de los organismos vivos en la Tierra y la preservación de la naturaleza/medio ambiente, y artístico de la humanidad. Quispe (2018) denomina aire a una mezcla gaseosa constituido por la combinación de gases en proporción ligeramente variables, compuesto por 78,09% de nitrógeno, 20.95% de oxígeno, 0.93% de argón, 0,04% de dióxido de carbono y en menor cantidad de otros gases. El aire también comprende una cantidad variable de vapor de agua, con promedio del 1% al nivel del mar y 0.4% en toda la atmósfera. A la vez que esta, permanece alrededor del planeta tierra por acción de la fuerza de gravedad, siendo de vital importancia para el desarrollo de la vida biológica. y transparente a simple vista.

2.1.2. CALIDAD DE AIRE

La calidad del aire es una indicación de cuándo el aire está libre de contaminación atmosférica y, por lo tanto, es adecuado para respirar, hasta la actualidad los controles y regulaciones se han reforzado mediante normas legales para el control de la calidad de aire (Quispe, 2018), sin embargo, el desarrollo de las actividades económicas antropogénicas ha incrementado exponencialmente transformándose en fuentes principales de contaminación a nivel mundial (Catacora, 2015).

2.1.3. LA ATMÓSFERA

La atmósfera es una envoltura de gas de unos 200 km de espesor que rodea la Tierra, es el principal mecanismo de defensa de diversas formas de vida, se necesitaron miles de millones de años para alcanzar su composición y estructura actuales, lo que lo hace adecuado para los organismos que respiran (Vara, 2017,p.23); una de las funciones más sublimes que desempeña la atmósfera es la de proteger a los organismos vivos de los efectos nocivos de la radiación ultravioleta solar. La Tierra absorbe un amplio espectro de radiación emitida por el sol, que mataría toda la vida posible en su superficie si no fuera por el ozono y el oxígeno atmosférico, que actúan como filtros al absorber parte de los rayos ultravioleta.

Según Nuñez (2021) la atmósfera está conformada por 4 capas en función a la variación de temperatura de la siguiente manera:

- **Troposfera:** La temperatura suele descender 5,5°C cada 1000 metros. Esta es la capa más baja donde se forman la mayoría de las nubes. La troposfera se extiende hasta unos 12 km de altura y tiene pendiente negativa, y por ello la temperatura desciende de 15°C a -56°C, con la ocurrencia de fenómenos meteorológicos en esta región.

- **Estratosfera:** es la capa que continúa después de la troposfera hasta llegar una altura aprox. de 50 km, tiene una pendiente positiva, la temperatura aumenta a mayor altura, lo que impide que las masas de aire frío presionen sobre las masas de aire cálido.
- **Mesosfera:** Cubre 50 km a una altitud de 85 km, con pendiente negativa, y su temperatura varía entre -2°C y -92°C .
- **Termósfera:** se extiende desde los 85 km hasta una altitud de 500 km, y un gradiente de temperatura positivo, hasta una temperatura de 1200°C . desde una distancia de 85 kilómetros, los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos electrónicos del Sol ionizan diferentes capas de la atmósfera, haciéndolas conductoras de la electricidad. Estas capas reflejan ciertas frecuencias de radio de vuelta a la Tierra. Debido a la concentración relativamente alta de iones en la atmósfera. El área fuera de esta capa se llama exosfera y se extiende hasta 9600 km, que es el límite exterior de la atmósfera.

2.1.4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Según Vara (2017), la contaminación de la atmósfera se refiere a la diferencia en la composición uniforme del aire o la permanencia de sustancias o formas de energía (radiación, vibraciones, ruido, ionización, etc.) en el aire o daños o molestias significativas para los seres vivos en la tierra. También se ocupa de los problemas ambientales de carácter local o regional, que a menudo afectan a una o incluso a áreas más grandes de la Tierra. Cuando estas sustancias o formas de energía suponen un peligro o pueden poner en peligro, de forma directa o indirectamente, a la salud o el bienestar humano, los recursos o el medio ambiente, se consideran contaminantes y el proceso de dispersión de los contaminantes en el medio ambiente se denomina emisión, mientras que la concentración de contaminantes que se liberan, transportan y dispersan una vez a la atmósfera se denomina infiltración.

De hecho, que dentro de la capa más baja de la troposfera, la temperatura disminuye al aumentar la altitud. El aire cerca de la superficie de la tierra se calienta y se vuelve menos denso que el aire frío de arriba, lo que crea un movimiento vertical del aire que mejora la dispersión de los contaminantes. Por otro lado, las situaciones meteorológicas (presión atmosférica, temperatura y humedad) contribuyen al estado del tiempo, el mismo que varía en consecuencia de las condiciones geográficas en un área en particular. A la vez puede causar un cambio en el patrón normal de temperatura, resultando en la formación de una capa de inversión térmica, en este caso los contaminantes liberados al aire no pueden difundirse, quedando así atrapados en la atmósfera inferior (Vara, 2017,p.24).

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes y es el resultado de actividades antropogénicas. Estas causas de contaminación son diversas, pero el índice más alto es causado por actividades industriales, comerciales y agrícolas.

2.1.4.1 Clasificación de contaminantes

Prieto (2016), clasifica los contaminantes de la siguiente forma:

- A. **Contaminantes primarios**, son sustancias de naturaleza y composición variada, los que permanecen en la atmósfera tal como fueron expulsadas por la fuente tenemos como los más destacados los siguientes: Amoníaco (NH_3), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Dióxido de azufre (SO_2) y Monóxido de carbono (CO).
- B. **Contaminantes secundarios**, son originados de sustancias químicamente modificadas de contaminantes primarios que tienen lugar en la atmósfera, formando otros contaminantes nuevos por transformación de los ya existentes. Entre ellos los destacados son el SO_3 , NH_2 , SO_4 , HNO_3 , O_3 (ozono troposférico) y los PAN (nitratos de peroxiacetilo).

2.1.4.2 Fuentes de contaminación

Prieto (2016), clasifica según su origen en dos categorías: Naturales y artificiales.

Naturales: Incluye las emisiones de contaminantes resultantes de la actividad natural de la atmósfera terrestre, la biosfera, la atmósfera y la hidrosfera. Así como:

- Los incendios forestales que ocurren naturalmente emiten altas concentraciones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, humo, polvo, ceniza y ciertas actividades de los organismos vivos, como la respiración que aumentan la producción de dióxido de carbono, la reproducción y la floración en plantas áridas (polinizadores del aire) como malezas, olivos y arizónicas, que producen polen y esporas que, al concentrarse en el aire, provocan una respiración alergia llamada polinosis (más del 20% de la población urbana la padece); la descomposición anaeróbica (fermentación) de la materia orgánica, dando como resultado el metano (CH₄).
- Las descargas eléctricas generadas durante las tormentas eléctricas conducen a la formación de óxidos de nitrógeno al oxidar el nitrógeno en la atmósfera.
- El mar emite partículas de sal en el aire.
- Los vientos fuertes mueven partículas de regiones áridas a otras regiones.

Artificial: Es el resultado de la existencia y actividad humana, la mayor parte de la contaminación proviene del uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). El problema de la contaminación del aire se relaciona principalmente con esta razón, entre las actividades humanas que provocan contaminación, se pueden destacar las siguientes:

- En el hogar; use estufas y otros electrodomésticos que usen combustibles fósiles (carbón, gas, diesel, gas natural) como fuente de producción de calor. La contaminación depende en cierta medida del tipo de combustible utilizado (el carbón es más contaminante que el gas), así como del diseño y mantenimiento de los equipos utilizados.
- En el tráfico; los coches y los aviones provocan aún más contaminación, el impacto del ferrocarril y el transporte de mercancías es menor, ya que se encuentran alejados de los núcleos de la población. La cantidad de contaminación producida dependerá

del tipo de combustible utilizado, el tipo de motor, el uso de catalizador y la intensidad del tráfico.

- En la industria; la contribución de la contaminación del aire depende del tipo de actividad, siendo las centrales eléctricas, las cementeras, las siderúrgicas, las papeleras y las químicas son las que más contaminan.
- En agricultura y ganadería; el uso extensivo de fertilizantes, el uso de grandes áreas de regadío (arrozales) y una alta concentración de ganado aumentan los gases de efecto invernadero, como el metano, en la atmósfera.
- Incineración de residuos sólidos.

2.1.4.3 Fuentes de emisión

Según Nuñez (2021), se clasifica de la siguiente manera los fuentes de contaminación:

- **Fuentes puntuales fijas:** Estas fuentes fijas ubicadas dentro de un área geográfica determinada, por ejemplo, se denominan actividades industriales.
- **Fuentes aéreas:** Se denominan fuentes pequeñas, múltiples y esporádicas, agrupadas con fuentes similares, por ejemplo, chimeneas de pollos, restaurantes, etc.
- **Fuentes móviles.** Fuentes de movilidad, como automóviles, aviones, ferrocarriles, barcos, etc.

2.1.5. LA ACTIVIDAD MINERA

De acuerdo a Molina (2018), la minería es una de las actividades humanas más antiguas, sólo superada por la actividad agrícola; comprende la extracción de minerales de la corteza terrestre, que tienen cierto valor económico. La comercialización de minerales en el mercado mundial es un factor fundamental que puede afectar la riqueza de unos países en comparación con otros. La gestión racional de los recursos minerales permite a un país o aun conjunto de países controlar los mercados mundiales y los precios de

mercado. según Tamayo et al., (2017), esto quiere decir que la industria minera es esencial para nuestras vidas y está presente en ella diariamente. Sus productos se utilizan en la construcción de carreteras, redes eléctricas y de comunicaciones, así como en la fabricación de viviendas, vehículos, productos electrónicos, medicinas, dispositivos medicinales y muchos otros (Tamayo et al., 2017,p.103).

Según Tamayo et al. (2017), la minería en el Perú es uno de los principales países mineros y uno de los mayores productores de metales, los mercados de metales están sujetos a fluctuaciones que se generan en la demanda o en la oferta de productos mineros. La revisión de las experiencias históricas enseña que esas fluctuaciones son inevitables para países como el Perú. Después de casi una década de crecimiento de los precios de los metales, el mundo parece enfrentar un periodo de menor crecimiento de dichos precios, al que se le ha llamado la nueva normalidad. El gran reto del Perú es enfrentar dichas fluctuaciones de manera eficiente, aprovechando los recursos y las oportunidades que se generan en los períodos de auge, para así fomentar el crecimiento sostenible del país.

2.1.6. LA MINERÍA EN PUNO

De acuerdo al Diagnostico Ambiental Regional-DAR de Puno, realizado por Gobierno Regional de Puno (GORE, 2013) la región cuenta con reservas de plata que constituyen el 5% de las reservas nacionales; en cobre posee el 0.5% y en estaño el 10%, ocupando el primer puesto en la producción de este último metal. La producción minera metálica de Puno se centra principalmente en estaño, plomo, oro, plata y zinc, sin embargo, la explotación minera no metálica es relevante en lo referente a la producción de cemento y cal, además de la producción de yeso y piedra laja, por lo cual, Puno es una Región minera donde se explotan diferentes yacimientos minerales como auríferos, cupríferos y polimetálicos, los mismos que se han inventariado unidades minerales del tipo metálico entre proyectos, prospectos y ocurrencias.

2.1.7. CLASIFICACIÓN DE MINERÍA SEGÚN EL TAMAÑO DE EXPLOTACIÓN

Molina (2018), indica que según el tamaño de explotación la minería se clasifica en: minería artesanal, pequeña minería, mediana minería y a gran escala, el mismo que describe de la siguiente manera.

Minería artesanal

- No utiliza tecnología avanzada.
- No tiene gran inversión para la extracción de bajas cantidades de minerales metálicos.
- Son extraídos principalmente de oro y de minerales no metálicos como piedras.
- La extracción se realiza mediante mano de obra no calificada con el uso de maquinaria y herramientas simples.
- La mayoría de sus trabajadores no posee el equipo de protección personal adecuado.
- Generalmente los recursos económicos obtenidos en este tipo de minería son para el sustento familiar.
- Es una de las principales causantes de la contaminación en el país por la escasa tecnificación.

Pequeña minería

- Su capacidad de explotación no sobrepasa las 300 toneladas diarias.
- El área de explotación no es mayor a 150 ha.
- Cuenta con tecnología medianamente aceptable y pequeños procesos mecánicos tecnificados de extracción.
- La práctica de esta minería sigue siendo ilegal en ciertos sectores, pero con mayor control por parte del actual gobierno.

Mediana minería y minería a gran escala

- Se caracteriza por la extracción alta de volúmenes de cierto mineral, utiliza tecnología de punta aplicada y mano de obra calificada.
- Es factible realizarla por la abundancia de recursos minerales principalmente en los minerales no metálicos.

Tabla 01: Estratificación de la actividad minera formal en el Perú.

EXTRACTO	HECTÁREAS	CAPACIDAD PRODUCTIVA	SECTOR COMPETENTE
Gran y Mediana Minería	Más de 2,000 Has.	Más De 350 TMD	MEM - OEFA (Régimen General) Osinergmin
Pequeño Productor Minero (1)	Metálico: Hasta 2,000 Has No Metálico: Sin Límite	Metálico: Hasta 350 TMD No Metálico: Hasta 1200 TMD	Gobierno Regional
Productor Minero Artesanal (2)	Metálico: Hasta 1,000 Has No Metálico: Sin Límite	Metálico: Hasta 25 TMD No Metálico: Hasta 100 TMD	Gobierno Regional

FUENTE: (Vargas, s. f.).

Nota: (1) Yacimiento tipo Placer Hasta 3000 m³/Día.

(2) Yacimiento tipo Placer Hasta 200 m³/Día.

2.1.8. FASES DE LA ACTIVIDAD MINERA

Molina (2018), describe las fases de la siguiente forma:

- **Prospección:** Este es el primer paso que consiste en encontrar yacimientos minerales de cierto valor económico, que pueden estar ubicados bajo tierra o en la parte superficial de la corteza. Se utilizan varios métodos de prospección de superficies, como fotografía aérea y mapas geológicos. La geofísica es un método para ubicar sedimentos bajo tierra usando mediciones físicas, sísmicas y gravitatorias, entre otras cosas.
- **Exploración:** El tamaño y el valor potencial de una mina se determinan de diferentes maneras, las técnicas similares a las de excavación se aplican implícita o superficialmente. Las muestras se toman cavando trincheras y túneles para luego ser analizadas por geólogos o ingenieros de minas y determinar la calidad y cantidad del mineral a extraer. Se necesita un estudio de factibilidad que compare las técnicas utilizadas y los costos económicos involucrados en la recolección de muestras, por último, se evalúa en el mercado que se venderá el mineral, dependiendo del resultado de este análisis, el proyecto continúa o se cancela.
- **Explotación:** Esta etapa comprende la extracción de minerales con énfasis en los procesos productivos utilizados, el método de extracción elegido depende de la condición de la mina y/o proyecto, la más importante de las cuales es la condición geológica, como: la profundidad, la forma y la dureza del mineral. Convencionalmente, los métodos utilizados se han dividido en dos categorías: minería a cielo abierto y minería subterránea.
- **Beneficio:** El conjunto de procesos físicos y químicos aplicados a los minerales con la finalidad de extraer las partes más valiosas y aumentar su utilidad.
- **Fundición y refinación:** Son aquellos procedimientos utilizados para recuperar los minerales de los restos, este proceso consiste en separarlo para obtener un metal muy puro para su mejor aprovechamiento industrial.

- **Comercialización:** Conjunto de actividades que comprende la compra y venta de minerales en diferentes mercados de producción y consumo de acuerdo a las necesidades del cliente.
- **Cierre:** Cuando una mina y/o proyectos mineros concluyan con la extracción de minerales explotables, esta deberá pasar a la etapa de cierre de minas; este periodo es planificado por la autoridad ambiental correspondiente desde el inicio del proceso minero, la finalidad principal de cierre de minas es restaurar el entorno del sitio de operaciones, después de que se hayan desmantelado todas las instalaciones y todos los equipos.

2.1.9. IMPACTO AMBIENTAL Y SALUD PROVOCADA POR LA ACTIVIDAD MINERA

Según Manrique & Sanborn (2021), los impactos de la minería sobre el medio ambiente se han convertido rápidamente en una de las principales preocupaciones de la literatura académica de los últimos años, estas investigaciones provienen de una gran diversidad de disciplinas, dentro y fuera de las ciencias sociales, especialmente las ciencias ambientales y de la salud. Asimismo, se destaca en esta categoría que una importante cantidad de estudios fueron liderados por investigadores extranjeros con la participación de investigadores peruanos. Los principales temas identificados son los impactos de la minería sobre el medio ambiente y la salud humana, y las formas de gobernanza ambiental para regular los impactos del sector minero. Entre los distintos períodos estudiados, estas investigaciones analizan varios casos que podemos denominar de minería antigua, moderna y minería contemporánea.

En torno a la llamada «minería antigua», la mayor parte de estudios sobre los impactos ambientales se han centrado en Huancavelica, uno de los treinta lugares más contaminados del planeta en el año 2007; en donde se emitieron 17.000 toneladas métricas de vapor de mercurio por la fundición de cinabrio (Manrique & Sanborn, 2021). Las investigaciones revelan que los ladrillos de adobe y los pisos de tierra con los que el

80% de los hogares de Huancavelica están contruidos, son hasta hoy fuentes de contaminación por este metal; entonces si dicha exposición produce alteración en los ritmos biológicos de las personas, también existen adaptaciones para tolerar relativamente pero no por completo estos efectos, lo cual advierte que incluso tras más de 20 generaciones no es posible una adaptación completa a la contaminación por mercurio (Manrique & Sanborn, 2021).

Los impactos ambientales de minería moderna, tanto los primeros estudios como los análisis actuales en la Oroya identificaron una alta concentración atmosférica de cadmio y plomo, una elevada presencia de metales pesados en el suelo y polvo en interiores, así como de plomo en las personas evaluadas (Manrique & Sanborn, 2021). Los estudios sobre Cerro de Pasco muestran algunas semejanzas con el caso de Huancavelica, al encontrar alta presencia de plomo y acumulación de residuos sobre los cuales se construyó la ciudad; el análisis de agua del río Mantaro señala que los efluentes de las minas del entorno de la cuenca de este río influyen significativamente en los niveles de hierro y sólidos totales en suspensión, también se registran algunas investigaciones similares en otros espacios geográficos, como Piura (Manrique & Sanborn, 2021). A través del uso de imágenes satelitales, dichos estudios han identificado la rápida pérdida de bosque a lo largo de la región y en varias áreas naturales protegidas como; Tambopata y Bahuaja Sonene, lo cual, debido al movimiento de tierras y al uso indiscriminado de mercurio, es acompañado por procesos de desertificación de suelos y cambios geomorfológicos en las zonas afectadas, así mismo han rastreado la expansión territorial y el cambio de uso de suelo en la cuenca alta del Ramis, mientras estudios físico-químicos analizaron la cantidad de metales pesados en sedimentos y aguas superficiales en la subcuenca del río Azángaro y en la Rinconada. En cuanto a los riesgos de salud pública, ahondan en los distintos tipos de vulnerabilidades para la población del centro poblado minero artesanal de la Rinconada (Puno) (Manrique & Sanborn, 2021).

2.1.10. MATERIAL PARTICULADO PM_{10} Y $PM_{2.5}$

Tarazona (2018) define que el Material Particulado en adelante – PM, es como una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas presentes en el aire en estados sólidos o líquidos que contribuyen a la contaminación y afectación de la calidad de aire, categorizando como; PM_{10} y $PM_{2.5}$ en referencia a tamaños por debajo de 10 y 2.5 μm respectivamente. El PM_{10} se define como una fracción gruesa que va de 2.5 μm a 10 μm , considerada como contaminante compuesto por material líquido y sólido de diversa composición y tamaño que se encuentra en la atmósfera (Robles, 2020). Mientras que el $PM_{2.5}$ son partículas finas que se encuentran en la atmósfera, y poseen un diámetro aerodinámico igual o inferior a 2.5 μm . Estas partículas son respirables y se pueden acumular en el sistema respiratorio, razón por la cual son aquellas de mayor asociación en datos de morbilidad y mortalidad (Catacora, 2015).

Relación entre el $PM_{2.5}$ y el PM_{10}

Según Huanca (2016), la relación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} representa la cantidad de materia fina, casi toda de origen humano, y el número total de partículas menores de 10 micrones presentes en la atmósfera. Esta relación permitirá estimar la concentración de un parámetro cuando se conoce el otro. Si esta relación es conocida en una ciudad, entonces contiene una pieza de información necesaria para tomar acciones de control más apropiadas sobre las fuentes.

2.1.11. FUENTES DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA ACTIVIDAD MINERA

En la operación de una mina a cielo abierto, existen varias fuentes de emisiones del material particulado, algunas a tasas más altas que otras. Todo el trabajo realizado en este campo libera partículas al medio ambiente (Hinojosa, 2020).

Principales actividades generadoras de material particulado en minería a cielo abierto

Hinojosa (2020), clasifica de la siguiente forma las principales fuentes de emisión de PM:

- **Perforación:** La interacción entre la herramienta perforadora y la roca provoca fragmentación, creando partículas de polvo muy finas, de las cuales un porcentaje de éstas llegan a ser de diámetro pequeño hasta invisible y respirable, además de que estos tienen el peso insignificamente mínimo de gravedad específica muy baja, lo que hace posible que floten en el aire y se trasladen con el roce del viento.
- **Voladura:** La voladura crea una nube de material particulado con mayores concentraciones, así como el gas generado por la reacción química del explosivo, esta nube tiene un tiempo muy prolongado en suspensión en el aire por lo que los diámetros de sus partículas pueden ser PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_1 .
- **Carga y descarga:** El movimiento de mineral a granel crea una suspensión de partículas de polvo, esta operación se realiza con una excavadora o cargador frontal cargando en un camión minero para realizar su transporte del mineral y luego descargando en las trituradoras primarias o chute de descarga.
- **Transporte:** Son operaciones que se realizan frecuentemente en las actividades de extracción minera, su importancia de la generación de las partículas es debido al nivel de concentración que puede llegar a tener en el aire y el tiempo que puede permanecer.
- **Transportador de transporte:** Este mecanismo de transferencia de mineral se ve afectado por la vibración continua que genera, provocando la interacción del mineral transportado, de este modo liberándose partículas de polvo, las cuales serán suspendidas en el aire, con la velocidad del transportador obtenida.
- **Otras operaciones:** Toda aquella operación que tenga como objetivo minimizar el tamaño de las rocas y el movimiento del mineral suelto producirá la liberación de partículas de polvo al aire.

2.1.12. DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA ATMÓSFERA

La dispersión de contaminantes a la atmósfera está relacionada principalmente con las fluctuaciones en la velocidad y dirección del viento.

El viento se denomina como flujo general de aire superficial, y es producido por sistemas de presión a gran escala, fuerza y dirección del viento, en cualquier punto está determinada por la posición y movimiento del viento, además, estos sistemas tienen elementos locales afectados por la dirección y velocidad del viento. El cambio de velocidad y la dirección del viento pueden expresarse mediante gráficos en forma de rosa de viento, y estas rosas se toman de las estaciones meteorológicas, que muestran estadísticas meteorológicas; el viento rosa incluye una serie de líneas que comienzan desde el centro de un círculo e indica la dirección del viento que sopla (Nuñez, 2021,p.12).

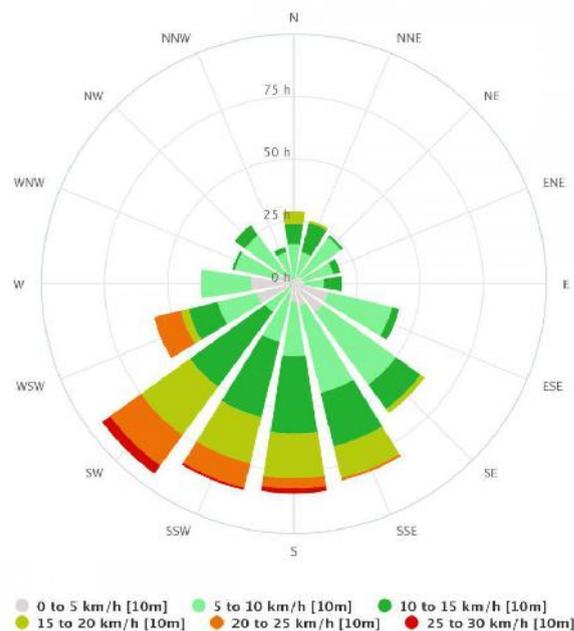


Figura 01: Rosa de viento.

Fuente: Elaboración propia.

Efecto del viento

Según Hinojosa (2020), el viento suspende las partículas hasta del tamaño de un micrómetro, y su efecto permite que sean transportadas y concentradas en el aire. La partícula se mueve desde el suelo de diferentes formas ya que es afectada por la acción del viento, dependiendo de la velocidad y dirección del viento, en el proceso de rebote del material particulado, el más pequeño <math><20\ \mu\text{m}</math> pueden estar suspendidas durante un largo plazo; los que están entre

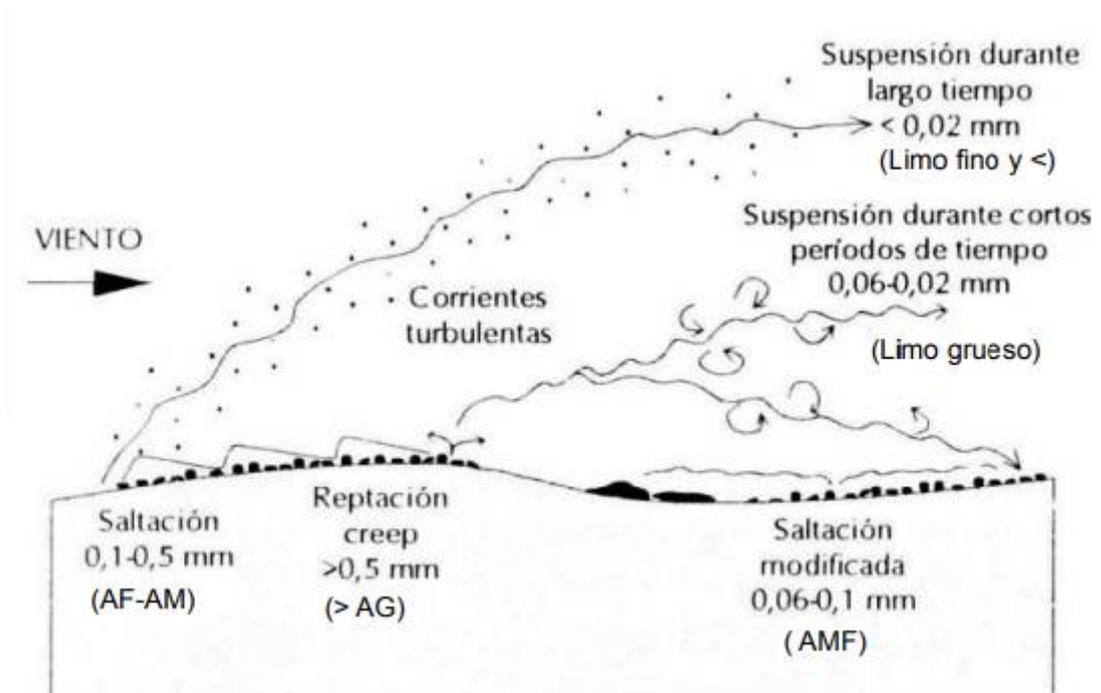


Figura 02: Efecto del viento sobre el tamaño de las partículas.

Fuente: Hinojosa (2020).

2.1.13. EFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

Se generan diferentes efectos por la concentración de material particulado, así como efectos sobre la salud de las personas, efecto en las plantas, salud animal y otros que a continuación se detallan:

- **Efectos en la Salud**

En la actividad de extracción mineral, una de las enfermedades más comunes es la silicosis causada por la exposición de material particulado en suspensión en áreas de trabajo.

La silicosis es una enfermedad pulmonar crónica, incurable e irreversible siendo posible sólo detener el avance siempre en cuando se detecta a tiempo, en la etapa inicial no se presenta manifestaciones o síntomas específicos diagnosticándose a través de exámenes radiológicos, sin embargo, a medida de su avance la silicosis produce insuficiencia respiratoria, alteraciones fibrosas en los pulmones, reduciendo la capacidad respiratoria a causa de que el pulmón pierde elasticidad, en consecuencia los alvéolos pulmonares se endurecen cuando son reemplazados por callos fibrosos y el paciente es más susceptible a la tuberculosis (Hinojosa, 2020).

- **Efecto en las plantas**

Según Huanca (2016), al depositarse el polvo mineral en las hojas de las plantas pueden ser bloqueadas los poros de éstas, obstruyendo la absorción de CO₂ y el paso de la luz, así afectando a la fotosíntesis y la pérdida de agua por transpiración, también presentándose daños directos debido a cambios en el pH de las células. Dichos efectos alteran el proceso de crecimiento de la planta y cuando las partículas se depositan en el suelo, la concentración de metales presentes en el material particulado puede afectar las propiedades del suelo e inhibir funciones como la absorción de nutrientes por las plantas.

- Efecto en la salud animal

El ganado que pastorea en el área de influencia o en zonas de actividades antropogénicas, presenta cojera y la rigidez de las articulaciones viéndose afectados en la producción de leche (Catacora, 2015).

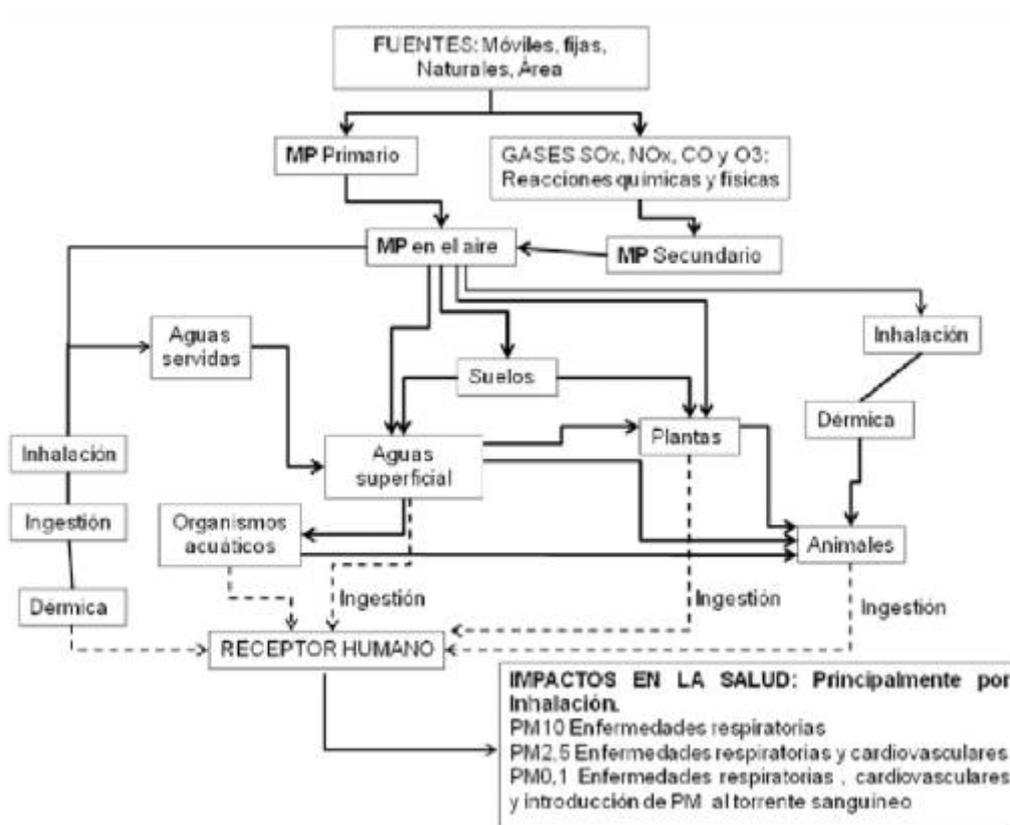


Figura 03: Diagrama de factores de riesgo asociados al PM y su efecto en la salud.

Fuente: Ruiz (2018).

2.1.14. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA)

Según Vara (2017), los Estándares de Calidad Ambiental en adelante - ECA son indicadores de la calidad del medio ambiente, las cuales miden las concentraciones de elementos, sustancias u otras en el aire, el agua o el suelo. Su propósito es establecer metas que representen la medida en que el medio ambiente y la salud humana pueden verse afectados de manera significativa y a la vez son utilizados para establecer políticas públicas ambientales, los mismos que deben aplicarse a la sociedad en su conjunto, es

decir, no miden las emisiones en particular de alguien, sino que buscan establecer un nivel aceptable de calidad para las emisiones que todos producimos.

2.1.15. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE SEGÚN SU TECNOLOGÍA

De acuerdo al protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire (MINAM, 2019), los costos y niveles de desempeño que aplican, se puede clasificar en cuatro tipos genéricos: (i) Sistemas manuales pasivos, (ii) sistemas manuales activos, (iii) sistemas automáticos, y (iv) sensores remotos, tal como se describe en el siguiente:

Sistemas manuales pasivos

Según Prieto (2016), estos sistemas se basan en la absorción sobre un sustrato específico que retenga al contaminante que se quiere analizar, dicho contaminante llega al sustrato por medio de la difusión molecular a través del aire. Luego de la exposición, las muestras son llevadas al laboratorio donde se descubre el contaminante y se analiza cuantitativamente, enseguida se recoge la muestra integrada durante un determinado periodo (Aprox. de entre una semana y un mes). Los muestreadores pasivos, al ser métodos simples, solo permiten brindar una aproximación acerca del estado de la calidad del aire, principalmente en las zonas donde no se realizan monitoreos permanentes. La medición de muestreadores pasivos cuenta actualmente con metodología establecida en la norma técnica peruana: NTP 900.036:2017 monitoreo de la calidad ambiental, calidad del aire muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2019).

Sistemas manuales activos

Para este método las muestras de contaminantes se recolectan por medios físicos o químicos para su posterior análisis en el laboratorio, por lo general, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector como un filtro (muestreador activo

manual) o una solución química (muestreador activo automático)- durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis, a diferencia de los muestreadores pasivos este tipo de equipos necesita de energía eléctrica a través de un medio de colección físico o químico, el volumen adicional de aire incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio (Prieto, 2016,p.52).

El método activo para material particulado, denominado también como método gravimétrico, (MINAM 2019) se describe su funcionamiento de la siguiente manera:

- Una muestra de aire ingresa a flujo constante a través de un cabezal selectivo que se encarga de separar, mediante una fuerza inercial, las partículas mayores que no son de interés del monitoreo, luego las sustancias de interés (tales como PTS, PM₁₀, PM_{2.5} o PM₁) son colectadas en un filtro durante un periodo de muestreo específico (de 23 a 25 horas).
- Con relación al filtro utilizado para la toma de muestra, cabe precisar que este debe ser desecado y pesado antes y después del muestreo, a fin de registrar el peso inicial y final del filtro, puesto que la diferencia de ambos permitirá obtener el peso neto de la sustancia de interés (masa del material particulado).
- El cálculo de concentración de la sustancia de interés se basa en dividir la masa del material particulado entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo específico.

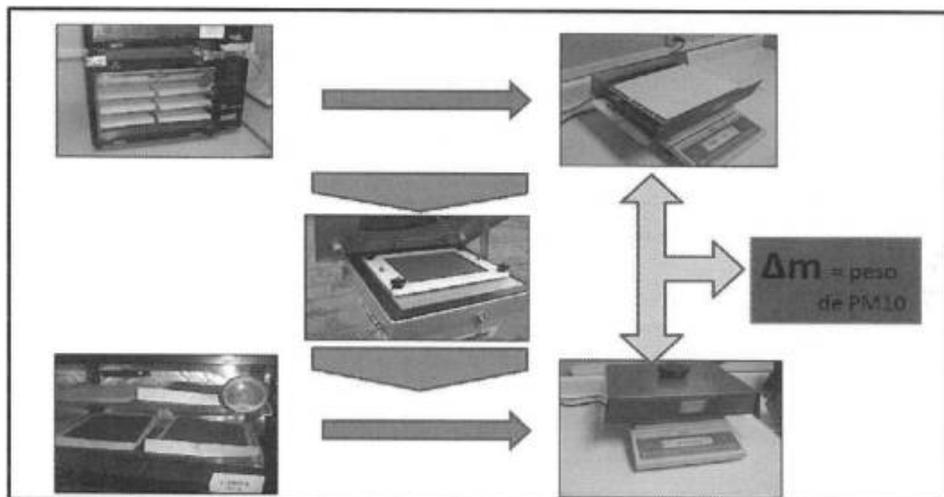


Figura 04: Ejemplo de proceso de método gravimétrico para PM.

Fuente: MINAM (2019).

Método activo para gases ambientales

El método activo para gases ambientales se basa en el tren de muestreo ambiental, el cual está conformado por un conjunto de impingers o frascos colectores para cada gas que se quiere muestrear.

Los impingers tienen dos conexiones: una para el ingreso del aire y otra para la salida del aire y su transporte hacia el dispositivo de control, dispositivo de medición de flujo y bomba de succión. A cada impinger se le vierte una cantidad de sustancia líquida absorbente como medio de colección. La sustancia a usar depende del analito que se desea medir.

Para el cálculo de la concentración de la sustancia de interés, se debe dividir la masa del gas ambiental entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo específico.

Sistema automático

Según Prieto (2016), los sistemas automáticos usan una bomba de succión, al igual que los otros sistemas anteriormente explicados, sin embargo, a diferencia de ellos, el

objetivo de estos equipos no es coleccionar muestras del analito para ser analizadas en el laboratorio, si no determinar su concentraci3n en una c3mara de an3lisis, que usualmente utiliza m3todos 3pticos (entre ellos, la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, la dispersi3n de la luz y la atenuaci3n de rayos beta).

2.1.16. M3TODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR SU GRADO DE EXACTITUD

De acuerdo al protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire (MINAM, 2019), los m3todos de monitoreo de la calidad de aire por su grado de exactitud se pueden clasificar en: m3todo de referencia y m3todo equivalente, as3 como se diferencian en el siguiente:

- **M3todo de referencia**

Los m3todos de referencia (FRM por sus siglas en ingl3s Federal Reference Method), de acuerdo con la Agencia de Protecci3n Ambiental de los Estados Unidos de Am3rica -EPA, son el est3ndar t3cnico de oro, de los sistemas de monitoreo de la contaminaci3n del aire, pues aseguran que los datos recolectados en diferentes sitios sean exactos y pueden ser comparables con los resultados obtenidos por diversas redes de monitoreo. En el caso del material particulado, a nivel mundial, el m3todo de referencia aprobado es el de separaci3n inercial/filtraci3n (gravimetr3a), para la aplicaci3n del m3todo referido se debe tener en cuenta consideraciones t3cnicas relacionadas con el di3metro de la part3cula a medir.

- **M3todo equivalente**

A efectos de promover la innovaci3n y el desarrollo de nuevas tecnolog3as a nivel internacional se revisan, examinan y aprueban m3todos equivalentes (FEM por sus siglas en ingl3s Federal Equivalent Method), los cuales presentan una exactitud similar a los FRM y se basan en tecnolog3as de muestreo y/o an3lisis diferentes. Los m3todos equivalentes para material particulado se fundamentan en las tres t3cnicas b3sicas; la

atenuación de rayos beta, la microbalanza oscilatoria de elemento cónico y la dispersión de la luz.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Contaminación Atmosférica:** Se define a la presencia de sustancias, pequeñas partículas y formas de energía o gaseosos que pueden implicar riesgo en concentraciones más altas, causando daño o molestia en los seres vivos tales como: las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente (Nuñez, 2021).
- **Inversión térmica:** Es un fenómeno que se presenta cuando la temperatura en las capas superiores de la atmósfera es mayor a la que se registra en la superficie. Cuando existe inversión térmica la temperatura aumenta con la altura en un determinado estrato atmosférico, lo que sucede, entonces, es que una franja de aire caliente queda atrapada entre dos capas de aire frío sin poder circular.
- **Estándares Nacionales de Calidad del Aire (ECA):** Se define como la cantidad máxima recomendada de contaminantes del aire como agencia receptora para evitar cualquier riesgo en la salud humana o seres vivos. Se consideran los criterios básicos de obligado cumplimiento (Ruiz, 2018).
- **Material particulado:** Tarazona (2018) definen como todas las partículas sólidas que se encuentran en suspensión en la atmósfera, y cuyo origen proviene de fuentes naturales o artificiales, su presencia en la atmósfera puede tener efectos negativos en la infraestructura, los animales y los seres humanos, ya que su exposición está asociada con una mayor incidencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
- **Emisión:** Las emisiones son la cantidad de contaminantes que una fuente emite a la atmósfera durante un período de tiempo determinado, procedentes tanto de fuentes naturales como antropogénicas puede incidir en la salud de las personas, en la degradación de materiales, en los seres vivos e irregular el funcionamiento de los

ecosistemas. Los valores de emisión se miden a la salida de la fuente de emisión (Prieto, 2016,p.28).

- **Inmisión:** Son las cantidades de contaminantes existentes en una determinada atmósfera, una vez que han sido dispersados, transportados, combinados con estas, y en contacto con los organismos vivos y la materia bajo su influencia. Si el nivel de inmisión no es el idóneo, la calidad del aire disminuirá y provocará efectos negativos en diferentes cuerpos receptores: humanos, animales, plantas y el ecosistema en general. (Prieto, 2016,p.29).
- **Impacto Ambiental:** Esto ocurre cuando una acción o actividad provoca un cambio desfavorable o favorable de forma directa o indirectamente en un área determinada o en algún componente del medio ambiente. Es decir que el impacto ambiental es la modificación ambiental ocasionada por la acción del hombre o natural (Parhuayo, 2019,p.32).
- **Minería formal:** Cumple con todos los requisitos y permisos mineros, ambientales, sociales, laborales, tributarios establecidos en nuestra normatividad legal vigente. comprende a la mediana y gran minería, la pequeña minería y la minería artesanal (Vargas, s. f.).
- **Minería informal:** No cumple con permisos para realizar actividad minera, opera en zonas no prohibidas, cuenta con declaración de compromiso y está en proceso de formalización, operan a pequeña escala (PPM-PMA) (Vargas, s. f.).
- **Minería ilegal:** No cumple con los permisos para realizar actividad minera, opera en zonas prohibidas y/o utiliza maquinaria de gran capacidad, está sujeta a interdicción y erradicación (Vargas, s. f.).
- **Monitoreo del aire:** Ruiz (2018), define como un sistema de medición de la calidad del aire en lugares críticos de contaminación que afecta la salud de las personas.

- **Gravimetría:** La gravimetría se refiere al cálculo del peso, es decir al peso del filtro combinado con los metales recolectados reduciendo el peso del filtro nuevo, de este modo hallando la cantidad de partículas en el volumen de aire (Vara, 2017, p.30).

2.3. MARCO NORMATIVO

A continuación, se describen las normas legales nacionales, regionales y/o locales aprobadas y establecidas, las cuales son relevantes para el presente trabajo de investigación, los mismos que se detallan de la siguiente manera:

- **La Constitución Política del Perú del año 1993**, indica en su Art. 02 inciso 22 establece el deber primordial del estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente saludable y equilibrado para el adecuado desenvolvimiento del hombre, asimismo, el Art. 67 designan que el estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales.
- **Ley General del Ambiente. Número 28611**, en su Art. 133 de la Vigilancia y Monitoreo Ambiental en el Perú, con la finalidad de generar la información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental. Además, en el Artículo 118 de la protección de la calidad del aire, indica que las autoridades públicas, en el ejercicio de sus funciones y atribuciones, adoptan medidas para la prevención, vigilancia y control ambiental y epidemiológico, a fin de asegurar la conservación, mejoramiento y recuperación de la calidad del aire, según sea el caso, actuando prioritariamente en las zonas en las que se superen los niveles de alerta por la presencia de elementos contaminantes, debiendo aplicarse planes de contingencia para la prevención o mitigación de riesgos y daños sobre la salud y el ambiente.
- **Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM**, Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y establecen Disposiciones Complementarias como un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, a

cargo de los titulares de actividades productivas, extractivas y de servicios y aplicables para aquellos parámetros que caracterizan las emisiones de las actividades productivas, extractivas y de servicios, los Estándares de Calidad Ambiental para aire se observa en el anexo 02 .

- **Decreto Supremo N° 10-2019-MINAM**, Decreto Supremo que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, como un instrumento que permite estandarizar los criterios técnicos para el monitoreo ambiental del aire en el país, a fin de generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa.
- **Ley N° 27651, Ley de formalización y promoción de la pequeña minería y minería artesanal**, y su reglamento Decreto Supremo N° 013-2022-EM, norma principal que rige las actividades mineras, incluyendo las actividades de prospección, exploración, explotación, procesamiento de minerales, metalurgia extractiva, transporte de minerales y comercialización.
- **Reglamento de protección ambiental para las actividades de exploración minera Decreto Supremo N° 016-93-EM, modificado por Decreto Supremo N° 058-99-EM**, mediante el cual se establecen procedimientos y pautas necesarias para que las actividades mineras se adecuen a las normas ambientales y se establece los requisitos de operación y las pautas necesarias para que las nuevas operaciones mineras adopten medidas de control y monitoreo de sus actividades, asegurando una adecuada protección ambiental.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Los niveles de concentración del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, superan los Estándares de Calidad Ambiental para Aire establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El nivel de concentración del material particulado de PM_{10} en 24 horas es mayor que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.
- El nivel de concentración del material particulado de $PM_{2.5}$ en 24 horas es mayor que $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.
- Las concentraciones del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ están fuera de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire del área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El proyecto de investigación se desarrolló en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres de la actividad minera extractiva a cielo abierto ubicada en el Paraje Baltimori del Distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina - Departamento Puno, Ananea llamada también como la ciudad dorada de los andes se ubica a 4610 m.s.n.m. en el sur del Perú con latitud Sur $14^{\circ}40'43''$, latitud oeste $36^{\circ}32'00''$, limita al norte con la provincia de Sandía, al este con Bolivia; al sur con la provincia de Huancané, Distrito de Quillcapuncu; al oeste con la Provincia de Putina ubicada a 4.610 msnm, en el sur de Perú, frontera con el estado plurinacional de Bolivia, conformada por 04 centros poblados y 11 comunidades campesinas caracterizado por sus yacimientos mineros metalíferos donde predomina el oro, así mismo un sector de la población se dedica a la crianza de camélidos sudamericanos, bajo la administración del Gobierno Local Municipalidad Distrital de Ananea, con una población total de 20572 habitantes en el Distrito de Ananea (INEI,2017).

3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el departamento de Puno, Provincia de San Antonio de Putina, Distrito de Ananea, Paraje Baltimori, al noroeste de la ciudad de Ananea y a 7

kilómetros de la carretera Juliaca - Sandía con intersección Juliaca - Ananea Rinconada (Sector Pampilla).

3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA

Región : Puno

Provincia : San Antonio de Putina

Distrito : Ananea

Paraje : Baltimore

Proyecto Minero : Proyecto Minero Jesús 2004 Tres

3.1.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO MINERO JESÚS 2004 TRES

Geográficamente está ubicado en las siguientes coordenadas.

Latitud Sur : 14°39'36.59"

Long. Oeste : 69°36'45.70"

Altitud : 4861 msnm.

3.1.4. LÍMITES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

El Proyecto Minero Jesús 2004 Tres posee los siguientes límites:

Por el Norte : Provincia de Sandía (C.P. Oriental)

Por el Sur : Provincia de Huancané, Distrito de Quillcapuncu

Por el Este : Distrito de Ananea (Sector Pampilla)

Por el Oeste : Distrito de Putina ubicada

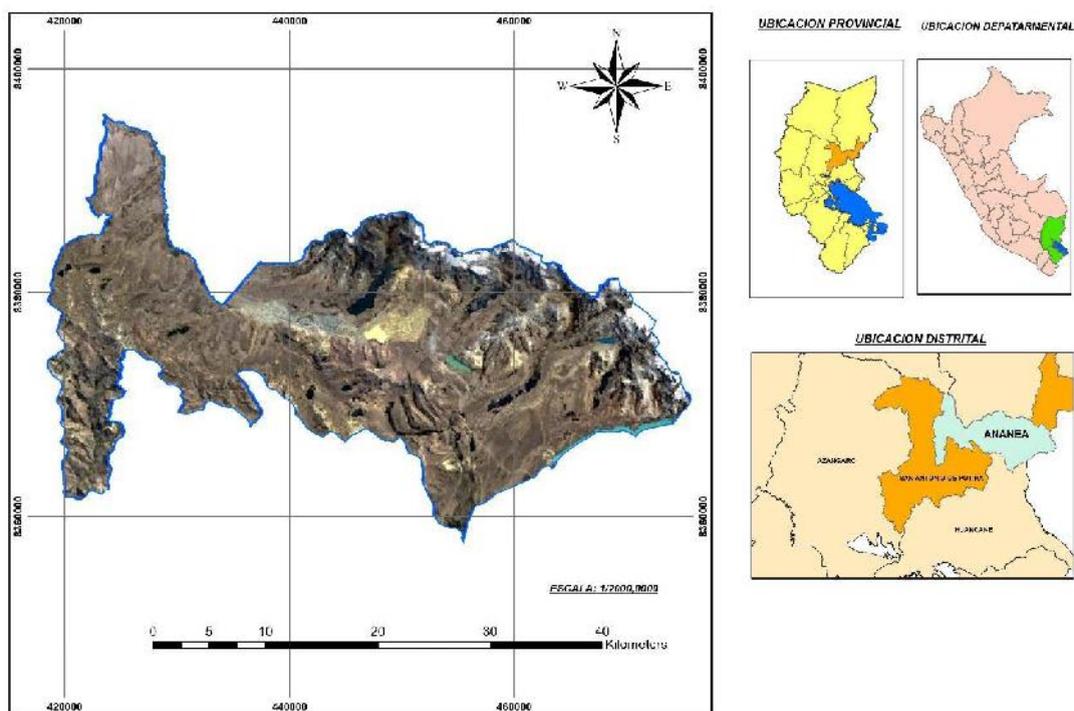


Figura 05: Mapa de ubicación geográfica del Distrito de Ananea.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 06: Ubicación del Proyecto Mineros Jesús 2004 Tres.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.5. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

Los puntos muestreados se realizaron en base al Catálogo de Medidas Ambientales en el marco del IGAFOM - 2017 para monitoreo de calidad de aire, donde la Dirección General de Formalización Minera - MINEM (2017), indica establecer mínimamente 2 estaciones de muestreo de calidad de aire (barlovento y sotavento), lo cual dependerá de la evaluación del comportamiento de la dirección del viento y de existir diversas poblaciones cercanas afectadas por la actividad minera.

Tabla 02: Ubicación de puntos de muestreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Estación de Muestreo	Coordenadas UTM			Descripción
	Norte	Este	Altura	
P1-CA	8379095.68	434109.05	4861	Cerca al área minable y almacenamiento de combustible del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres (Considerada punto Sotavento).
P2-CA	8379095.68	434090.01	4860	Entrata del Proyecto cerca a las pozas de sedimentación y cerca a la garita de registro de ingreso al Proyecto Minero Jesús 2004 Tres (Considerada punto Barlovento).

FUENTE: Elaboración Propia.

3.1.6. DELIMITACIÓN SOCIAL

El presente trabajo de investigación facilita datos a los proyectos mineros aledañas al Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, con la finalidad de evaluar impactos de generación de PM, e implementar los procedimientos adecuados para evitar futuras emisiones de

partículas como PM_{10} y $PM_{2.5}$. Por ende, esta investigación busca alcanzar objetivos de relevancia, no solo para la salud, sino para áreas académicas y científicas dirigidos al sector medioambiental, y además brindar información que permitirá estudiar y formular alternativas de solución.

3.1.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo descriptiva con enfoque cuantitativo debido a que se describió y analizó los resultados obtenidos del muestreo, el diseño de la investigación es no experimental-longitudinal de tendencia, ya que las muestras fueron tomadas en dos oportunidades, en un filtro sin ningún tipo de manipulación para que representen las condiciones que brindan in situ, para la recolección de información y análisis de las variables, no se manipularon las variables en ningún momento (Hernandez Sampieri et al., 2014).

3.1.8. PERIODO DE MUESTREO

Se recolectaron las muestras en filtros adecuados para cada parámetro, se tomaron muestras en dos diferentes fechas (temporada venida/húmeda y temporada de sequía), durante 24 horas, de cada parámetro y en cada punto de monitoreo de calidad de aire.

- **Temporada de venida.-** En esta temporada se tomaron en 02 puntos de muestreo (barlovento y sotavento), durante 24 horas para los parámetros muestreados (PM_{10} y $PM_{2.5}$). Durante las fechas de: 22 de marzo al 24 de Marzo del presente año.
- **Temporada de sequía.-** Del mismo modo, se tomaron 02 puntos de monitoreo (barlovento y sotavento), durante 24 horas para ambos parámetros. Dentro del periodo 22 de junio al 24 de junio del 2022.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

El estudio de investigación se desarrolló dentro de la zona de influencia del proyecto minero teniendo en cuenta las principales actividades operativas de emisión de material particulado como son perforación voladura, carguío, transporte descarga en el chute.

Para la recolección de muestras se tuvo como base el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, el tipo de muestreo utilizado fue el método activo para material particulado denominado también método gravimétrico (MINAM, 2019), el cual consistió en que una muestra de aire ingresa a flujo constante a través del cabezal del HI-VOL/LO-WOL que se encargó de separar mediante una fuerza inercial; las partículas mayores que no son de interés del muestreo, con las sustancias de interés que son el: PM_{10} y $PM_{2.5}$ estos fueron colectadas en un filtro durante un periodo de 24 horas en cada estación de muestreo, cabe indicar que el filtro utilizado para la toma de muestra fue desecado, pesado antes y después del muestreo en laboratorio a fin de obtener el peso neto del PM_{10} y $PM_{2.5}$. Para el cálculo de la concentración del material particulado se dividió la masa del material particulado entre el volumen de la muestra, el cual se determinó multiplicando el flujo del equipo por el periodo de 24 horas de muestreo.

Se utilizó el tipo de muestreo probabilístico, los cuales fueron tomadas durante la ejecución normal de actividades del proyecto minero por 24 horas en cada estación de muestreo en las dos temporadas (temporada húmeda y temporada seca) de acuerdo con lo recomendado por la Dirección General de Formalización Minera - MINEM (2017).

3.3. METODO Y TECNICAS

3.3.1. DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DEL PM_{10} Y $PM_{2.5}$

Para la toma de muestras del presente trabajo de investigación se ha utilizado el método de referencia de separación inercial/filtración, llamado también método gravimétrico, el

mismo que consiste en tomar una muestra de aire que ingresa a flujo constante a través de un cabezal selectivo (HI-VOL / LO-WOL, de sistemas activos) que se encarga de separar, mediante una fuerza inercial, las partículas mayores que no son de interés del muestreo, luego las sustancias de interés (PM_{10} , $PM_{2.5}$ y otros) (MINAM, 2019), el PM_{10} y $PM_{2.5}$ fueron colectadas en un filtro durante el periodo de muestreo de 24 horas en cada estación de muestreo. Y con relación al filtro utilizado para la toma de muestra, fue enviado al laboratorio para su análisis, donde fue desecado y pesado antes y después de muestreo, a fin de registrar el peso inicial y final del filtro. Con la finalidad de que, la diferencia de ambos nos permitiera obtener el peso neto del PM_{10} y $PM_{2.5}$. El cálculo de las concentraciones de los parámetros de interés PM_{10} y $PM_{2.5}$ fue basada en la división de la masa del material particulado entre el volumen de muestra, el cual se determinó multiplicando el flujo del equipo por el periodo de 24 h muestreado, todo ello siguiendo cada uno de los pasos del protocolo de monitoreo de la calidad de aire el mismo que fue aprobado mediante Decreto Supremo N° 10-2019-MINAM.

3.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS DE PM_{10} Y $PM_{2.5}$

Equipos

Los instrumentos y/o equipos utilizados en el presente trabajo de investigación son:

- Muestreador Hi-Vol Marca Thermo Scientific, debidamente calibrado de fábrica (Para la determinación del PM_{10}).
- Inlet para $PM_{2.5}$ Marca BG.
- Muestreador de bajo volumen "LOW-VOL" Marca BGI (Para la determinación del $PM_{2.5}$).
- Inlet para PM_{10} Marca Thermo Scientific.
- Estación Meteorológica Marca DAVIS Instruments, modelo Vantage Vue. Con data logger.

- Trípodes (02).
- Generador eléctrico.
- Extensiones eléctricas.
- Espectrofotometría de absorción atómica (Utilizado en laboratorio).
- Horno de grafito (Utilizado en laboratorio).
- GPS Garmin.
- Cámara Fotográfica digital.
- Estabilizador de energía.

Materiales

Los materiales primordiales para el desarrollo del presente trabajo son:

- Papel Filtro de celulosa.
- Plano de ubicación de los Puntos de monitoreo del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres (anexo).
- Cinta adhesiva.
- Tablero.
- Cadena de custodia (anexo).
- Libreta de campo.
- Plumón y Pizarra.
- Caja de herramientas básicas.
- y otros utilizados en el laboratorio de análisis.

Epps

- Chaleco
- Guantes nitrilo
- Casco

Movilidad

- Vehículo motorizado (camioneta) para el traslado de los equipos de medición de Juliaca al proyecto minero (ida y vuelta) y transportarnos de un punto a otro.
- Transporte urbano para el recojo y envío de filtros (nuevos y muestreados).

Muestreador de alto volumen para PM₁₀

Para el muestreo de Material Particulado menor a 10 μm se utilizó el equipo Hi-Vol, de Marca Thermo Scientific, de sistema activo, el mismo que trabaja bajo el método gravimétrico de alto volumen referenciado a nivel nacional e internacional. El equipo succiona aire del ambiente a un flujo constante de aprox. 1.13 m³/min y separa las partículas dentro del intervalo de tamaño PM₁₀, estas fracciones son recolectadas mediante filtros de fibra de cuarzo de 203 mm x 254 mm en periodos de 24 horas (Velarde, 2017, p.35). En la siguiente figura se muestra el equipo Hi-Vol utilizado.



Figura 07: Muestreador de alto volumen Hi-Vol.

Muestreador de bajo volumen para $PM_{2.5}$

Para el muestreo de Material Particulado menor a $2.5 \mu m$ se ha utilizado el equipo “Low-Vol” Marca BGI, el mismo que trabaja bajo el método gravimétrico de bajo volumen, esto vendría ser considerado como método de referencia de sistema activo según el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire (MINAM, 2019). El equipo succiona aire del ambiente a una velocidad del flujo de aprox. 16.67 l/min y separa las partículas dentro del intervalo de tamaño $PM_{2.5}$, estas fracciones son recolectadas mediante filtros de fibra de teflón de 46.2 mm en periodos de 24 horas (Velarde, 2017). En la siguiente figura se muestra el equipo Lo-Wol BGI utilizado.



Figura 08: Muestreador de bajo volumen Lo-Wol BGI.

3.3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA PM_{10} y $PM_{2.5}$

Criterios técnicos utilizados para la instalación de los equipos de monitoreo

Para la instalación de los equipos se tomó en cuenta en todo momento los criterios técnicos para la instalación de los equipos de muestreo según el protocolo de monitoreo de la calidad del aire, en cada uno de los procedimientos de muestreo, tal como se muestra en el anexo 03.

Monitoreo meteorológico

Según Nuñez (2021), el monitoreo meteorológico es fundamental y esencial en cualquier evaluación de la calidad del aire. De hecho, según el tamaño y los objetivos previstos, se pueden requerir una o más estaciones meteorológicas capaz de informar con precisión horaria, para cada estación establecida de monitoreo de la calidad del aire. En vista de que las variables meteorológicas están asociadas a la dispersión, deposición y transporte de contaminantes, a la vez sus datos también pueden guiar su interpretación de los resultados (MINAM, 2019). La estación meteorológica debe permitir medir las siguientes variables:

- Velocidad y dirección del viento superficial.
- Humedad relativa del aire.
- Presión atmosférica.
- Temperatura del aire.
- Precipitación.

3.3.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En el siguiente se describe todo el procedimientos de recolección de muestreo con el equipo Hi - Vol para la determinación de la concentración de PM_{10} .

Preparación y acondicionamientos

- Los filtros fueron recogidos del laboratorio con previo peso inicial identificado y protegido para asegurar el muestreo.
- Los filtros se manejaron con cuidado para no hacer contacto con las manos, ya que pueden contaminarse y alterar los resultados, solo se trabajó tocando los bordes de los portafiltros con constante uso de los guantes de nitrilo.

- Se revisó el estado del equipo HI-VOL, el procesador de datos y el estado general del motor, teniendo en cuenta la vida útil anterior y de este modo asegurando el correcto funcionamiento.
- Se evaluó minuciosamente el cabezal del equipo Hi-V asegurando de que esté limpio, para posteriormente colocar la silicona impregnada fuera de los orificios del impactador del equipo. Con la finalidad de que la silicona permita que las partículas mayores de 10 micrones queden atrapadas en la grasa y las menores partículas de igual a 10 micras puedan pasar a través del impactador y puedan quedar retenidas en el filtro.
- La instalación del equipo HI-VOL se realizó bajo condiciones climáticas favorables, en completa ausencia de lluvia, tormenta, granizo, nieve, etc. y otra condición que interrumpiera el objetivo del muestreo.
- Se garantizó la estabilidad de la energía dentro de las 24 horas posteriores al muestreo con generador de alto voltaje, de modo de que no haya cortes o falla de energía, lo cual conduciría a errores de medición y puede invalidar el muestreo.

Instalación del equipo muestreador Hi-Vol

- Una vez que se estableció la estación de muestreo se procedió a armar las piezas del Hi-vol para su posterior muestreo.
- En primer lugar se instaló el cuerpo del muestreador Hi-vol en la estación de muestreo y posterior a ello se colocó el cabezal del equipo.
- Se definió la ubicación del muestreador Hi-Vol, asegurándonos de que el área de entrada de aire de la cabezal del equipo debe estar a la altura de la que las personas respiramos.
- Se colocó el trapecio en la abertura del porta filtro.
- Posteriormente se colocó, en la parte inferior de la abertura el motor con empaque para evitar fugas, de tal forma de que el trapecio debe estar sujeta al motor por la

parte inferior del cuerpo del equipo Hi-vol, para evitar deterioros en el sello del portafiltro.

- Se colocó el filtro cuidadosamente en el portafiltro, usando en todo momento guantes de nitrilo para evitar contaminación cruzada.
- Se Instaló el portafiltro en la base del trapecio, asegurando con pernos y tuercas de forma diagonal opuesta para garantizar una presión controlada en los empaques del portafiltro y trapecio.
- Se procedió a cerrar sin dejar caer el cabezal de su base del equipo, usando para enganchar los sujetadores del cabezal de esta manera asegurar la estabilidad del equipo.
- El estabilizador de energía se ha instalado en la estación de vigilancia, alejado del equipo, para evitar que las condiciones climáticas afecten a esta.
- También se garantizo el equipo para evitar posibles caídas, tropiezos, etc.
- Se garantizo el voltaje de potencia de 220 voltios (60 Hz) y una potencia mínima de 2500 watts en las estaciones de muestreo donde se utilizó el generador eléctrico.
- Finalmente se conectó a una fuente de energía estable y se programó en el data logger: el tiempo de muestreo de 24 horas, fecha, temporizador de inicio.

Muestreo

- Se registró la ubicación de la estación de muestreo utilizando GPS.
- Se procedió a registrar los datos de la estación de monitoreo en el rótulo de la muestra.
- Terminando el periodo de muestreo, se desengancho el cabezal del equipo para retirar el filtro cubriendo con la tapa del portafiltro, y de este modo quitarlo solamente el filtro en otro lugar limpio y cerrado utilizando los guantes de nitrilo.
- El filtro muestreado/retirado se dobló en dos partes iguales hacia el lado de la muestra colectada, para luego ser guardada en el sobre correspondiente, el mismo que fue rotulado y sellado.

- Se desinstaló el muestreador Hi-vol y posteriormente se colocó en su cajón correspondiente.
- Se guardaron las herramientas, materiales y suministros que fueron utilizados durante el muestreo.
- Todo este proceso se repite en cada estación de monitoreo.

Post Muestreo

- Se registró toda la información de la cadena de custodia del muestreo realizado cuidadosamente.
- Finalmente fue enviado al laboratorio para su respectivo análisis.

Con respecto a los procedimientos de muestreo con el equipo Lo-Wol para la determinación de la concentración de $PM_{2.5}$, se detallan de la siguiente manera:

Preparación y acondicionamientos

- Los filtros fueron recogidos del laboratorio con previo peso inicial identificado y protegido para asegurar el muestreo.
- Los filtros se manejaron con cuidado para no hacer contacto con las manos, ya que pueden contaminarse y alterar los resultados, solo se trabajó tocando los bordes de los portafiltros con constante uso de los guantes de nitrilo.
- Se revisó el estado del equipo Lo-Wol, el procesador de datos de este modo asegurando el correcto funcionamiento.
- La instalación del equipo Lo-Wol se realizó bajo condiciones climáticas favorables, en completa ausencia de lluvia, tormenta, granizo, nieve, etc. y otra condición que interrumpiera el objetivo del monitoreo.
- Se garantizó la batería y estabilidad de energía dentro de las 24 horas posteriores al muestreo con generador de alto voltaje, de modo de que no haya cortes o falla de energía, lo cual conduciría a errores de medición y puede invalidar el muestreo.

Instalación del equipo muestreador Lo-Wol

- Una vez que se estableció la estación de muestreo se procedió a armar el trípode de sujeción del equipo Lo-Wol.
- Se definió la ubicación del muestreador Lo-Wol, asegurándonos de que el área de entrada de aire de la cabezal del equipo debe estar a la altura de la que las personas respiramos.
- Consecutivamente se armó el cuerpo del equipo Lo-Wol sujetando con tuerca al trípode armado, posterior a ello se colocó el cabezal del equipo.
- En la parte superior del cuerpo del equipo se desenroscó la unión con la cabezal para colocar el filtro.
- Se colocó el filtro cuidadosamente en el portafiltro, usando en todo momento guantes de nitrilo para evitar contaminación cruzada.
- Se procedió a enroscar el cabezal encapsulando el portafiltro.
- El estabilizador se ha instalado en la estación de vigilancia, alejado del equipo, para evitar que las condiciones climáticas afecten a esta.
- También se garantizo el equipo para evitar posibles caídas, tropiezos, etc.
- Finalmente se conectó a una fuente de energía estable y se programó en el data logger: el tiempo de muestreo de 24 horas, fecha, temporizador de inicio.

Muestreo

- Se registró la ubicación de la estación de monitoreo utilizando GPS.
- Se procedió a registrar los datos de la estación de monitoreo en el rótulo de la muestra.
- Terminando el periodo de muestreo, se desenroscó el cabezal del equipo para retirar el filtro, y de este modo quitarlo solamente el filtro en otro lugar limpio y cerrado utilizando los guantes de nitrilo.

- El filtro muestreado/retirado fue colocada en el sobre porta filtro, posteriormente en la mica, el mismo que fue rotulado y sellado.
- Se desinstaló el muestreador Lo-Wol y posteriormente se colocó en su cajón correspondiente.
- Se guardaron las herramientas, materiales y suministros que fueron utilizados durante el muestreo.
- Todo este proceso se repite en cada estación de monitoreo.

Post Muestreo

- Se registró toda la información de la cadena de custodia del muestreo realizado cuidadosamente.
- Finalmente fue enviado al laboratorio para su respectivo análisis.

Procedimiento en el laboratorios

Se describe el pesaje inicial del filtro antes de su salida de laboratorio.

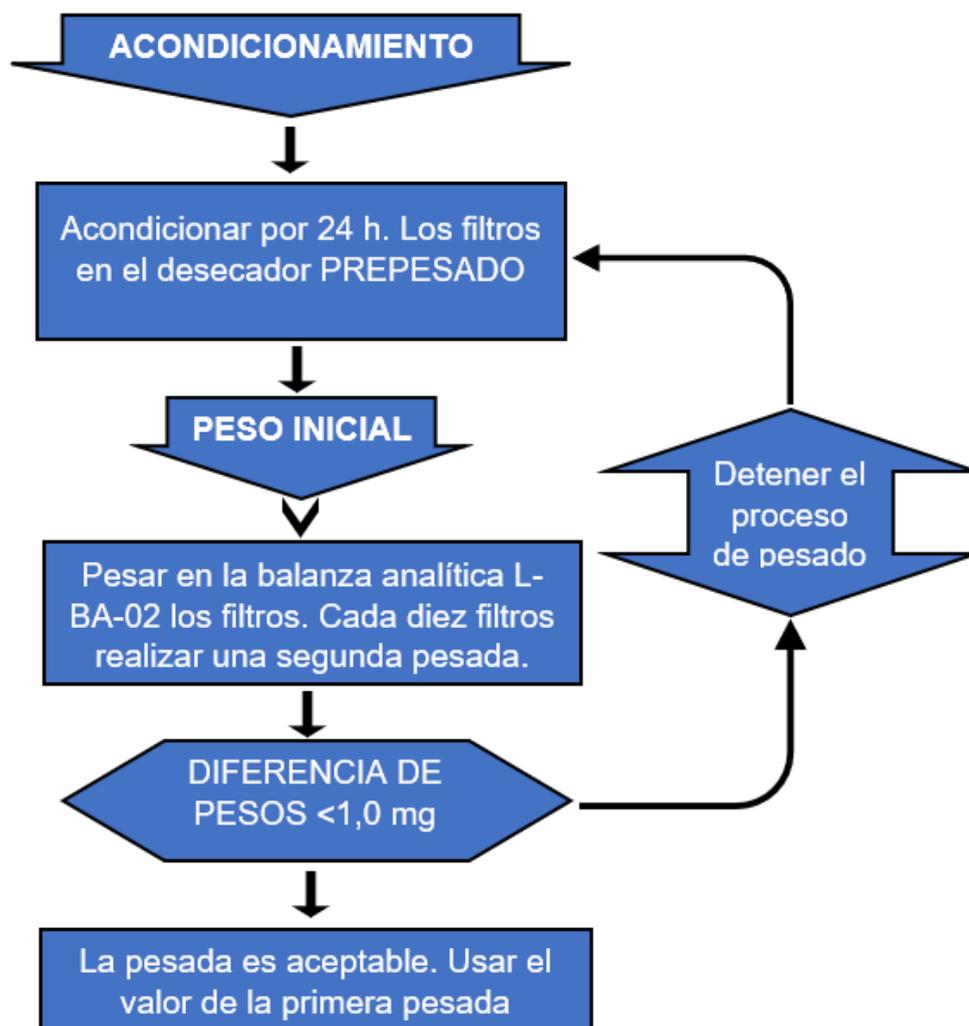


Figura 09: Diagrama de procedimiento de laboratorio en la fase de pre - muestreo.

Se describe el procedimiento del pesaje final posterior al muestreo realizado de la siguiente manera.

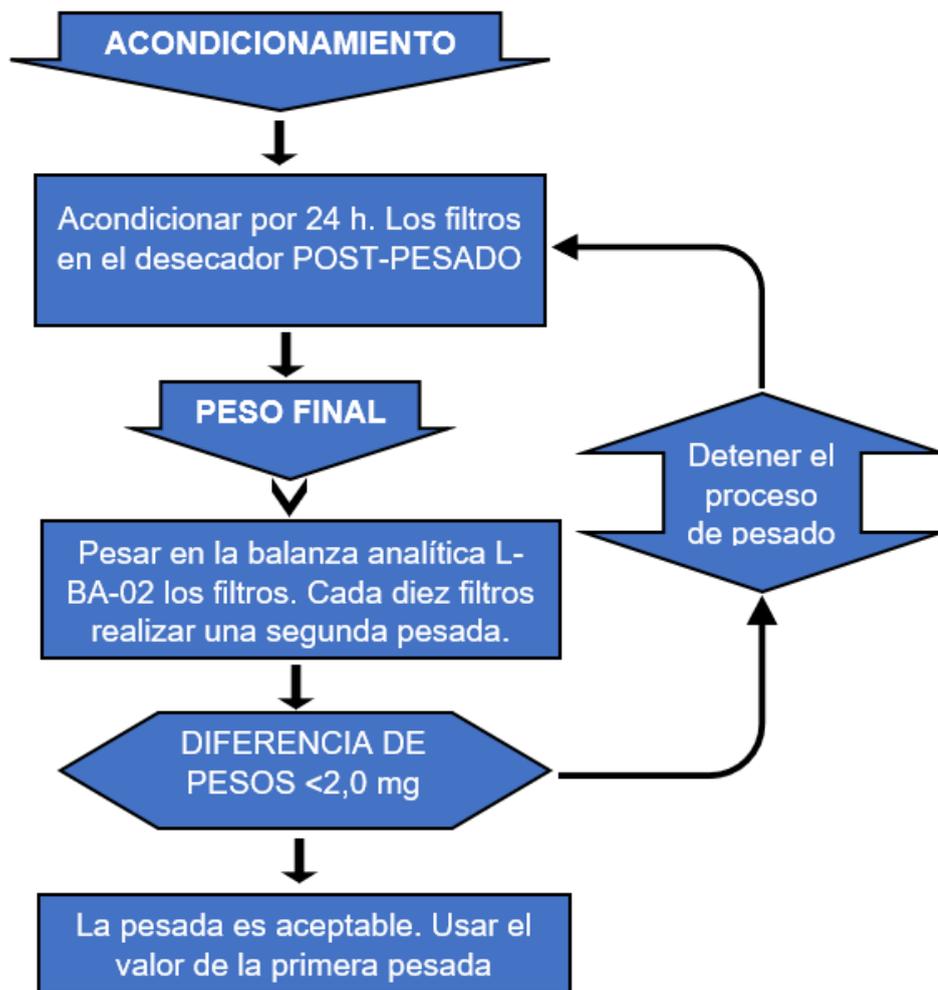


Figura 10: Diagrama de procedimiento de laboratorio en la fase de post- muestreo.

Conversión de unidades de gramos a microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para PM_{10} .

Para la conversión de unidades de material particulado PM_{10} , se utilizará el Software de cálculo de concentración, en el cual se introducirá datos de referencia tal como se muestra en la imagen 12. El cálculo de Q_{real} expresado en m^3/min , se hallará mediante la tabla de flujo para PM_{10} VFC, muestreador de aire de alto volumen Hi-Vol.

Page 2 of 8 LOOKUP TABLE FOR ASI/GMW VFC S/N P09204 Calibrated 08/12/2013

TEMPERATURE °C Flow rate ml/min (actual)

Po/Pa	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	Po/Pa
0.930	1.070	1.073	1.077	1.080	1.084	1.087	1.091	1.094	1.098	1.101	1.104	1.108	1.111	0.930
0.931	1.071	1.074	1.078	1.081	1.085	1.088	1.092	1.095	1.099	1.102	1.106	1.109	1.113	0.931
0.932	1.072	1.076	1.079	1.083	1.086	1.090	1.093	1.097	1.100	1.103	1.107	1.110	1.114	0.932
0.933	1.073	1.077	1.080	1.084	1.087	1.091	1.094	1.098	1.101	1.105	1.108	1.112	1.115	0.933
0.934	1.074	1.078	1.082	1.085	1.089	1.092	1.096	1.099	1.103	1.106	1.109	1.113	1.116	0.934
0.935	1.076	1.079	1.083	1.086	1.090	1.093	1.097	1.100	1.104	1.107	1.111	1.114	1.118	0.935
0.936	1.077	1.080	1.084	1.088	1.091	1.095	1.098	1.102	1.105	1.109	1.112	1.115	1.119	0.936
0.937	1.078	1.082	1.085	1.089	1.092	1.096	1.099	1.103	1.106	1.110	1.113	1.117	1.120	0.937
0.938	1.079	1.083	1.086	1.090	1.093	1.097	1.101	1.104	1.108	1.111	1.114	1.118	1.121	0.938
0.939	1.080	1.084	1.088	1.091	1.095	1.098	1.102	1.105	1.109	1.112	1.116	1.119	1.123	0.939
0.940	1.082	1.085	1.089	1.092	1.096	1.099	1.103	1.107	1.110	1.113	1.117	1.120	1.124	0.940
0.941	1.083	1.087	1.090	1.094	1.097	1.101	1.104	1.108	1.111	1.115	1.118	1.122	1.125	0.941
0.942	1.084	1.088	1.091	1.095	1.098	1.102	1.105	1.109	1.112	1.116	1.119	1.123	1.126	0.942
0.943	1.085	1.089	1.093	1.096	1.100	1.103	1.107	1.110	1.114	1.117	1.121	1.124	1.128	0.943
0.944	1.087	1.090	1.094	1.097	1.101	1.104	1.108	1.111	1.115	1.118	1.122	1.125	1.129	0.944
0.945	1.088	1.091	1.095	1.099	1.102	1.106	1.109	1.113	1.116	1.120	1.123	1.127	1.130	0.945
0.946	1.089	1.093	1.096	1.100	1.103	1.107	1.110	1.114	1.117	1.121	1.124	1.128	1.131	0.946
0.947	1.090	1.094	1.097	1.101	1.105	1.108	1.112	1.115	1.119	1.122	1.126	1.129	1.133	0.947
0.948	1.091	1.095	1.099	1.102	1.106	1.109	1.113	1.116	1.120	1.123	1.127	1.130	1.134	0.948
0.949	1.093	1.096	1.100	1.103	1.107	1.111	1.114	1.118	1.121	1.125	1.128	1.132	1.135	0.949
0.950	1.094	1.097	1.101	1.105	1.108	1.112	1.115	1.119	1.122	1.126	1.129	1.133	1.136	0.950
0.951	1.095	1.099	1.102	1.106	1.109	1.113	1.117	1.120	1.124	1.127	1.131	1.134	1.138	0.951
0.952	1.096	1.100	1.104	1.107	1.111	1.114	1.118	1.121	1.125	1.128	1.132	1.135	1.139	0.952
0.953	1.097	1.101	1.105	1.108	1.112	1.116	1.119	1.123	1.126	1.130	1.133	1.137	1.140	0.953
0.954	1.099	1.102	1.106	1.110	1.113	1.117	1.120	1.124	1.127	1.131	1.134	1.138	1.141	0.954
0.955	1.100	1.104	1.107	1.111	1.114	1.118	1.122	1.125	1.129	1.132	1.136	1.139	1.143	0.955
0.956	1.101	1.105	1.108	1.112	1.116	1.119	1.123	1.126	1.130	1.133	1.137	1.141	1.144	0.956
0.957	1.102	1.106	1.110	1.113	1.117	1.120	1.124	1.128	1.131	1.135	1.138	1.142	1.145	0.957
0.958	1.104	1.107	1.111	1.114	1.118	1.122	1.125	1.129	1.132	1.136	1.139	1.143	1.147	0.958
0.959	1.105	1.108	1.112	1.116	1.119	1.123	1.127	1.130	1.134	1.137	1.141	1.144	1.148	0.959
0.960	1.106	1.110	1.113	1.117	1.121	1.124	1.128	1.131	1.135	1.138	1.142	1.146	1.149	0.960
0.961	1.107	1.111	1.115	1.118	1.122	1.125	1.129	1.133	1.136	1.140	1.143	1.147	1.150	0.961
0.962	1.108	1.112	1.116	1.119	1.123	1.127	1.130	1.134	1.137	1.141	1.145	1.148	1.152	0.962
0.963	1.110	1.113	1.117	1.121	1.124	1.128	1.131	1.135	1.139	1.142	1.146	1.149	1.153	0.963
0.964	1.111	1.115	1.118	1.122	1.125	1.129	1.133	1.136	1.140	1.143	1.147	1.151	1.154	0.964
0.965	1.112	1.116	1.119	1.123	1.127	1.130	1.134	1.138	1.141	1.145	1.148	1.152	1.155	0.965
0.966	1.113	1.117	1.121	1.124	1.128	1.132	1.135	1.139	1.142	1.146	1.150	1.153	1.157	0.966
0.967	1.114	1.118	1.122	1.126	1.129	1.133	1.136	1.140	1.144	1.147	1.151	1.154	1.158	0.967
0.968	1.116	1.119	1.123	1.127	1.130	1.134	1.138	1.141	1.145	1.148	1.152	1.156	1.159	0.968
0.969	1.117	1.121	1.124	1.128	1.132	1.135	1.139	1.143	1.146	1.150	1.153	1.157	1.160	0.969
0.970	1.118	1.122	1.126	1.129	1.133	1.136	1.140	1.144	1.147	1.151	1.155	1.158	1.162	0.970
0.971	1.119	1.123	1.127	1.130	1.134	1.138	1.141	1.145	1.149	1.152	1.156	1.159	1.163	0.971
0.972	1.121	1.124	1.128	1.132	1.135	1.139	1.143	1.146	1.150	1.153	1.157	1.161	1.164	0.972
0.973	1.122	1.125	1.129	1.133	1.137	1.140	1.144	1.147	1.151	1.155	1.158	1.162	1.165	0.973
0.974	1.123	1.127	1.130	1.134	1.138	1.141	1.145	1.149	1.152	1.156	1.160	1.163	1.167	0.974
0.975	1.124	1.128	1.132	1.135	1.139	1.143	1.146	1.150	1.154	1.157	1.161	1.164	1.168	0.975
0.976	1.125	1.129	1.133	1.137	1.140	1.144	1.148	1.151	1.155	1.158	1.162	1.166	1.169	0.976
0.977	1.127	1.130	1.134	1.138	1.141	1.145	1.149	1.152	1.156	1.160	1.163	1.167	1.171	0.977
0.978	1.128	1.132	1.135	1.139	1.143	1.146	1.150	1.154	1.157	1.161	1.165	1.168	1.172	0.978
0.979	1.129	1.133	1.137	1.140	1.144	1.148	1.151	1.155	1.159	1.162	1.166	1.169	1.173	0.979
0.980	1.130	1.134	1.138	1.141	1.145	1.149	1.152	1.156	1.159	1.163	1.166	1.170	1.174	0.980

Figura 11: Tabla de flujo para PM₁₀ muestreador de aire de alto volumen Hi-Vol.

Determinación de Material Particulado PM-10 con Control de Flujo Volumétrico.

Empresa: Unidad o Proyecto:

Estación: P1-CA	Fecha: 23/03/2022	Código de Filtro: FV0554	Pesos (gr)		
			Inicial: 3.4701	Final: 3.4947	Diferencia: 0,0246
Horómetro			Funcionamiento		
Inicial: 0	Final: 24		Horas: 24	Minutos: 1440	
Diferencia de Presión Manométrica			Presión ATM. (mmHg): 732	Temperatura (°C): 6	Razón de Presión: 0,985
Inicial: 1	Final: 11	Promedio: 6,0	Qreal (m³/min): 1,151	Qstd (m³/min): 1,184	VOLstd (m³): 1705,0
Concentración de Material Particulado PM-10					
Concentración PM10. (ug/m ³ N)	As (ug/muestra)	As (ug/m ³ N)	Pb (ug/muestra)	Pb (ug/m ³ N)	
14,4	1	0,0006	1	0,0006	
<input type="button" value="Limpiar"/> <input type="button" value="Guardar"/>					

Figura 12: Determinación de material particulado PM₁₀ con Control de Flujo Volumétrico

Nota: Los datos fueron llenados del muestreo realizado en la estación P1-CA. Este es el procedimiento de conversión para todas las estaciones muestreadas de PM₁₀.

Conversión de unidades de gramos a microgramas por metro cúbico (µg/m³) para PM_{2.5}

Para la conversión de unidades de material particulado PM_{2.5}, se utilizará la ecuación simple, teniendo el dato de flujo del muestreador de aire de bajo volumen Lo-Wol utilizado 5 l/min y la diferencia de peso de material particulado PM_{2.5} = 0.000062 gr.

El flujo del muestreador de bajo volumen Lo-Wol, se realiza la conversión de unidades de litro por minuto (l/min) a litro por 24 horas (l/24h).

$$5 \text{ l/min} = 7200 \text{ l/24h}$$

Del mismo modo, también se realiza la conversión de unidades del flujo de litros (L) a metro cúbico (m³).

$$7200 \text{ l/24h} = 7.20 \text{ m}^3/24\text{h}$$

Del peso de diferencia de material particulado $PM_{2.5}$ respecto al peso de los filtros de muestreo, se realiza la conversión de unidades de gramos (gr) a microgramos (μg)

$$0.000062 \text{ gr.} = 62 \mu g$$

La diferencia de peso de material particulado $PM_{2.5}$ es dividido por el flujo de volumen del muestreador de bajo volumen Lo-Wol.

$$62 \mu g / 7.20 \text{ m}^3 = 8.61 \mu g / \text{m}^3$$

El resultado final de la concentración de $PM_{2.5}$ es expresado en microgramos por metro cúbico = $8.61 \mu g/m^3$. Este es el procedimiento de conversión para todas las estaciones muestreadas de $PM_{2.5}$.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 03: Operalización de variables

INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICIÓN A ESCALA
CONTAMINACIÓN POR PM_{10} Y $PM_{2.5}$	FÍSICOS	- Temperatura	°C
		- Humedad	%
		- Precipitación	mm
		- Presión atmosférica	mmHg
		- Velocidad del viento	m/s
		- Dirección del viento	0° - 360°
DEPENDIENTE			
CALIDAD DE AIRE	ECA	Parámetros de control de calidad de aire	Decreto Supremo N° Supremo N° 003-2017-MINAM

FUENTE: Elaboración Propia

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Los instrumentos estadísticos que se utilizaron para la evaluación y justipreciación de los resultados de los puntos de muestreo son:

- Tablas de distribución de frecuencias, variables porcentuales y las correspondientes relaciones de los datos.
- Software de determinación de material particulado PM_{10} con Control de Flujo Volumétrico.
- Gráficos estadísticos, las tablas de resultados se grafican en barras para observar las frecuencias y su comportamiento.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO PM_{10} EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO

En la tabla 04 se presentan los resultados de concentración del material particulado PM_{10} , de los 02 puntos de muestreo y en ambas temporadas (seco y húmedo) del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

Tabla 04: Resultados de concentración de PM_{10} .

ESTACIÓN DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN DEL PM_{10} ($\mu g/m^3$)	
	MARZO 2022	JUNIO 2022
P1-CA	14.4	15.4
P2-CA	11.5	10.7

FUENTE: Elaboración Propia.

De acuerdo a la tabla 04, la estación de muestreo P1-CA correspondiente al mes de junio, muestra mayor concentración con $15.4 \mu g/m^3$, y la estación de muestreo P2-CA en el mismo mes muestra menor concentración de PM_{10} con $10.7 \mu g/m^3$.

Análisis

De los resultados, la concentración del material particulado PM_{10} más alto representa en la estación de muestreo P1-CA reconocido como el punto sotavento del mes de Junio, debido a que comprende a la estación seca, esto guarda relación con la investigación de Robles (2020), en donde demostró que la concentración de PM_{10} es más alto en los meses de junio, julio, agosto e incluso setiembre, los mismos que comprenden a la estación seca. De la misma forma se observa que en este punto la velocidad del viento es más alta ascendiendo hasta un promedio de 7.20 m/s (anexo 14), de acuerdo a Tarazona (2018) la dispersión del PM dependen de diferentes factores meteorológicos como son; la velocidad del viento y dirección del viento. A pesar que la dirección del viento promedio constante correspondiente al mes de junio se dirige hacia el noreste (anexo 19), el punto de muestreo P2-CA se mantiene menor que el P1-CA, esto explica que las actividades de operación y/o actividades con mayor generación del PM están más cercanas al punto P2-CA.

De la misma forma se observa los resultados de la estación P2-CA correspondiente al mes de junio, donde se identifica mayor velocidad del viento (7.20 m/s) con respecto a los demás puntos de muestreo, con mayor humedad ascendente a 91.4 %, la temperatura osciló a 9.3 °C, sin presencia de precipitaciones. Sin embargo este punto de muestreo presenta menor concentración de PM_{10} ($10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que el resto de las estaciones muestreadas, esto podría guardar relación con la teoría de Molina (2018) donde señala que la velocidad del viento puede causar cambios en las concentraciones de los contaminantes en un área, aceptando que generalmente, que a medida va incrementando la velocidad del viento reduce la concentración de contaminantes en el aire. Cabe indicar que el Proyecto Minero Jesús 2004 Tres tuvo programada la actividad de riego de vías de acceso de acuerdo al plan de manejo ambiental aprobado, el cual pudo mitigar el levantamiento de partículas.

4.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO $PM_{2.5}$ EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO

En la tabla 05 se presentan los resultados de concentración del material particulado $PM_{2.5}$, de los 02 puntos de muestreo en ambas temporadas (seco y húmedo) del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, correspondiente al mes de marzo y junio del año 2022.

Tabla 05: Resultados de la concentración de $PM_{2.5}$.

ESTACIÓN DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	MARZO 2022	JUNIO 2022
P1-CA	8.61	8.47
P2-CA	4.03	3.89

FUENTE: Elaboración Propia

De los resultados obtenidos en la tabla 05, se observa la estación de muestreo con mayor concentración de $PM_{2.5}$ en el P1-CA = $8.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondiente al mes de marzo, y con menor concentración de $PM_{2.5}$ se muestra la estación P2-CA = $3.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de junio.

Análisis

De acuerdo a las muestras tomadas, la estación de muestreo P1-CA una vez más presenta mayores concentraciones para $PM_{2.5}$ a diferencia del P2-CA, esto se identifica a que la estación P1-CA es considerada punto sotavento (a dónde se dirige el viento) la dirección del viento oscila hacia el sur-suroeste en ambas estaciones de muestreo. De acuerdo a la teoría de Molina (2018), la dispersión atmosférica de los contaminantes se ve influenciada por los factores climáticos que pueden causar aumento o disminución de los contaminantes.

Las fuentes de emisión del material particulado en el área de influencia directa del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, se identificó mayor generación en la actividad de transporte de material, debido a que el transporte del PM es trasladado por vías no pavimentadas, esto guarda relación con la investigación de Quispe (2018) donde indica que la actividad minera es una fuente de contaminación identificada por sus diferentes procedimientos de trabajos que generan contaminantes, además señala que la generación del PM es producida mayormente por el tránsito de zonas que no cuentan con pavimento. Sin embargo dentro de las acciones de contingencia del proyecto minero se tiene programado la actividad de riego de vías oportunos con el objetivo de mitigar la dispersión del MP, por lo que esto suprime la generación y/o la dispersión del material particulado en el aire.

4.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AIRE

Tabla 06: Comparación de los resultados del PM₁₀ con los (ECA) para aire.

ESTACIÓN DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		ECA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	MARZO 2022	JUNIO 2022	
P1-CA	14.4	15.4	100
P2-CA	11.5	10.7	100

FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla 06 se presentan las muestras analizadas de los 2 puntos de muestreo del mes de marzo y junio, observándose de que en ninguno de los puntos muestreados, sobrepasan los estándares de calidad para aire, según lo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, el cual indica que la concentración máxima no debe superar los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ muestreados en 24 horas.

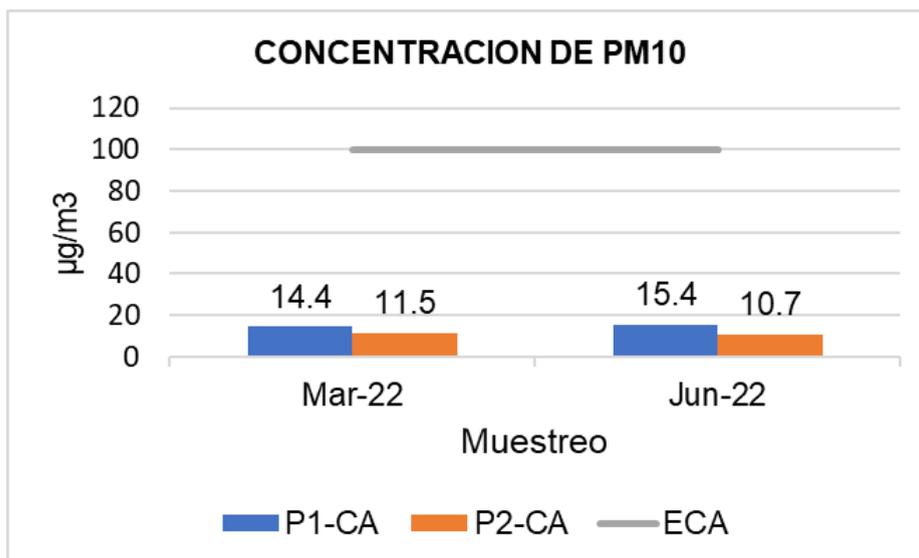


Figura 13: Evaluación de la concentración de PM₁₀ con los ECA para aire.

Las concentraciones del material particulado en suspensión PM₁₀ en las estaciones de muestreo, son relativamente bajas con respecto a los Estándares de Calidad Ambiental - ECA para aire, indicando que si existe la presencia de partículas menores de 10 µ, pero estas no representan altos riesgos a la salud por su baja concentración en el aire. Sin embargo, según Molina (2018) la exposición prolongada a bajos niveles de concentraciones de material particulado se asocia con menores tasas de supervivencia y una disminución de 2 a 3 años de esperanza de vida.

Tabla 07: Comparación de los resultados del PM_{2.5} con los (ECA) para aire.

ESTACIÓN DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN (µg/m ³)		ECA (µg/m ³)
	MARZO 2022	JUNIO 2022	
P1-CA	8.61	8.47	50
P2-CA	4.03	3.89	50

FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla 07 se presentan las muestras analizadas de los 2 puntos de muestreo del mes de marzo y junio, observándose de que en ninguno de los puntos muestreados,

sobrepasan los estándares de calidad para aire, según lo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, el cual indica que la concentración máxima no debe superar los 50 µg/m³ muestreados en 24 horas.

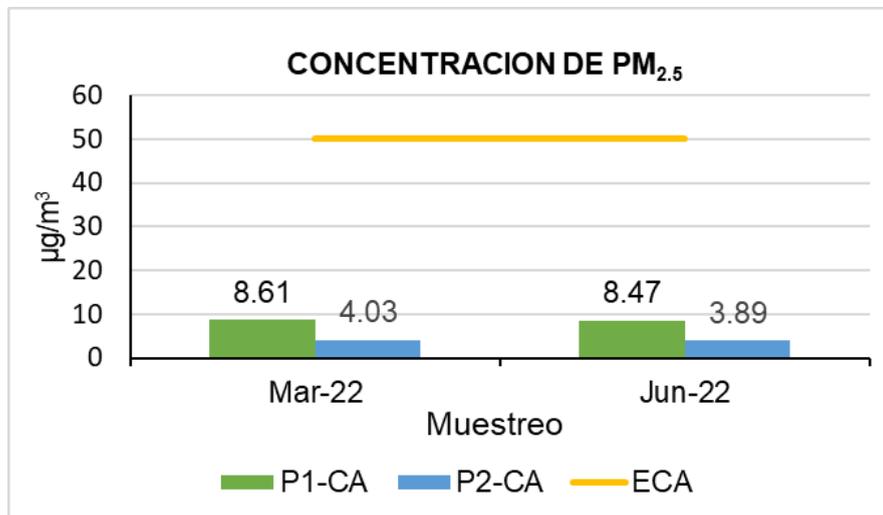


Figura 14: Evaluación de la concentración de PM_{2.5} con los ECA para aire.

Visto los resultados obtenidos de los muestreos del PM₁₀ y PM_{2.5}, que se muestran en la tabla 06, 07 y en las figuras 13 y 14, no sobrepasen los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, esto no significa que la exposición prolongada al PM₁₀ y PM_{2.5} no cause efectos en la salud humana. Según la OMS (2005) la exposición a partículas PM₁₀ y PM_{2.5} puede tener diferentes efectos en la salud humana dependiendo del tiempo de exposición. Los estudios en los Estados Unidos han demostrado que la exposición prolongada a bajas concentraciones está asociada con tasas de supervivencia más bajas y una reducción de 2 a 3 años en la esperanza de vida (OMS, 2005).

PRUEBA DE HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

HIPÓTESIS ALTERNA (Ha): Los niveles de concentración del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, superan los

estándares de calidad para aire establecidos en el DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM.

$H_a = < ECA$ para aire

Siendo los resultados de los puntos de muestreo de 24 horas con mayor concentración de $PM_{10} = 15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para $PM_{2.5} = 8.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y los ECA para aire establece como máxima concentración para $PM_{10} = 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{2.5} = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así considerándose dentro de los estándares permisibles. Por ende la hipótesis alterna se rechaza.

HIPÓTESIS NULA (H_0): Los niveles de concentración del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, no superan los estándares de calidad para aire establecidos en el DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM.

$H_0 \geq ECA$ para aire

Visto los resultados obtenidos de los muestreos realizados, la concentración del PM_{10} y $PM_{2.5}$ no sobrepasan los estándares de calidad para aire establecido en la norma. Por ende se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 01

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): El nivel de concentración del material particulado de PM_{10} en 24 horas es mayor que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

$H_a = < ECA$ para aire

De acuerdo a los resultados que se presentan en la figura 19, en ninguno de los puntos muestreados durante 24 horas, los niveles de concentración de material particulado PM_{10} son mayores que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por ende la hipótesis alterna se rechaza.

HIPÓTESIS NULA (H_0): El nivel de concentración del material particulado de PM_{10} en 24 horas no es mayor que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

$H_0 \geq ECA$ para aire

De acuerdo a los resultados obtenidos, los niveles de concentración de material particulado PM_{10} no son mayores que $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por ende se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 02

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): El nivel de concentración del material particulado de $PM_{2.5}$ en 24 horas es mayor que $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres

$H_a \leq ECA$ para aire

De acuerdo a los resultados que se presentan en la figura 20, en ninguno de los puntos muestreados durante 24 horas, los niveles de concentración de material particulado $PM_{2.5}$ son mayores que $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por ende la hipótesis alterna se rechaza.

HIPÓTESIS NULA (H_0): El nivel de concentración del material particulado de $PM_{2.5}$ en 24 horas no es mayor que $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

$H_0 \geq ECA$ para aire

De acuerdo a los resultados obtenidos, los niveles de concentración de material particulado $PM_{2.5}$ no son mayores que $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por ende se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 03

HIPÓTESIS ALTERNA (H_a): Las concentraciones del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ están fuera de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire del área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

$H_a \leq ECA$ para aire

Las concentraciones del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, según los resultados obtenidos de los muestreos del área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres. Por ende la hipótesis alterna se rechaza.

HIPÓTESIS NULA (H_0): Las concentraciones del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire del área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.

$H_0 \geq ECA$ para aire

Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, en vista de que los resultados obtenidos de los muestreos se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación ha llegado a las siguientes conclusiones:

De las concentraciones determinadas para el PM_{10} y $PM_{2.5}$, muestran resultados satisfactorios, donde se resalta que las concentraciones identificadas son relativamente bajas con relación a las Estándares de Calidad Ambiental para aire, sin embargo queda identificada la existencia de estos contaminantes en el medio ambiente, por lo que se debe tener un especial cuidado impidiendo que los valores de concentración se incrementen, por lo que podrían causar algún tipo de problemas a la salud humana.

Las concentraciones obtenidas de los 04 muestreos para el parámetro PM_{10} , se obtuvieron las siguientes concentraciones; estación de muestreo P1-CA se obtuvo 14.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de marzo) y 15.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de junio), y en la estación P2-CA se obtuvo la concentración de 11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 10.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ marzo y junio respectivamente. Resaltando mayor concentración de PM_{10} en la estación P1-CA correspondiente al muestreo del mes de junio.

La concentración determinada para el material particulado $PM_{2.5}$ en la estación P1-CA es de 8.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de marzo) y 8.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mes de junio), y en la estación P2-CA se obtiene la concentración de 4.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 3.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de marzo y junio respectivamente. En el caso del $PM_{2.5}$ los resultados resaltan mayores concentraciones en el mes de marzo y se obtienen menores concentraciones que en el mes de junio.

Los resultados obtenidos en la determinación de concentraciones para el PM_{10} y $PM_{2.5}$ muestreados en los meses de marzo y junio, no superan los Estándares de Calidad Ambiental para aire. Sin embargo, queda en evidencia la existencia de los contaminantes evaluados en bajas concentraciones, lo que significa que la exposición a estos contaminantes a largo plazo podrían ser peligrosas para la salud humana.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al Ministerio de Energía y Minas efectuar monitoreos ambientales anuales, como dicta la norma, con la finalidad de tener un seguimiento y mantener la calidad ambiental dentro de los estándares permisibles, también se recomienda considerar la presencia permanente de los ingenieros ambientales durante las fases de explotación, operación de actividades y cierre del proyecto, con la finalidad de elaborar y dar seguimiento a los planes de manejo ambiental, de modo que se pueda prevenir, controlar y mitigar los diferentes impactos ambientales negativos, en todas las actividades económicas explotación minera.

Se recomienda al Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, elaborar el plan de contingencia de dispersión de material particulado durante todo el año (temporada seco y húmedo), de modo que, el plan contenga actos de mitigación como el riego continuo en las vías de transporte del material así mismo se debe considerar tener la cubierta de la tolva de todas las unidades operativas como son el volquete.

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Ananea, involucrarse con las actividades mineras de su ámbito de intervención a fin de dar seguimiento y cumplimiento de los planes de manejo ambiental establecidos por las cooperativas mineras, proyectos mineros, unidades mineras y en otros similares, de tal manera que se puede controlar, prevenir las generaciones de contaminantes como son los material particulado.

BIBLIOGRAFÍA

- Astete, J., Gastañaga, M. del C., y Perez, D. (2014, octubre). Niveles de metales pesados en el ambiente y su exposición en la población luego de cinco años de exploración minera en Las Bambas, Perú 2010. *Rev Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 31(4): 695-701.
- Blanco, E. E. B., y Paricahua, H. F. S. (2020). Identificación y valoración de impactos ambientales generados por las actividades de la minería informal, en el Cerro Luicho del Distrito de Colta, Provincia de Paucar del Sara Sara. (Tesis de grado) Universidad Tecnológica del Perú. Ayacucho.
<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3017>
- Catacora, G. F. C. (2015). Evaluación del Impacto Ambiental de la Cooperativa Minera Señor de Ananea. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1900>
- Dirección General de Formalización Minera - MINEM (2017). Catálogo de Medidas Ambientales en el marco del IGAFOM. Perú. Recuperado de <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/00%20Generalidades.pdf>
- Gobierno Regional de Puno - GORE (2013). Diagnóstico Ambiental Regional (DAR) de Puno. Perú. Recuperado de <https://www.regionpuno.gob.pe/descargas/planes/diagnosticos/2013-Diagnostico-Ambiental-Gerencia-Regional-Recursos-Naturales-Gestion-Medio-Ambiente.pdf>
- Guevara, M. M. J. (2019). Declaración de Impacto Ambiental para el Proyecto Minero Artesanal No Metálico el Cañetano, Ventanilla, Callao. (Tesis de grado). Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima - Perú.
<https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3819/GUEVARA%20MARTINEZ%20MERLIN%20JULIO%20-%20TITULO%20PROFESIONAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collao, C., Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de

- la investigación (6ta ed.) McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. DE C.V. México. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hinojosa, C. C. A. (2020). Control de Material Particulado Generado en el Proceso de Transporte de Mineral Mediante la Red de Monitoreo Rocky en Mina Justa Empresa Minera Marcobresac. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12047>
- Isidro, H. Y. G. (2020). Informe de Monitoreo Ambiental "Calidad de Aire (Gases) y Ruido Ambiental" (Informe Técnico N.º 10; p. 29). Municipalidad Distrital de Ananea. Puno.
- Luquez, J. E. L. U. (2020). Evaluación de la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en la zona urbana del corregimiento de la Loma en el Municipio el Paso - Cesar. (Tesis de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Valledupar. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38668>
- Manrique, H., y Sanborn, C. (2021). La minería en el Perú: Balance y perspectivas de cinco décadas de investigación. Documento de investigación. (1a ed.). Universidad del Pacífico. Perú. <https://doi.org/10.21678/978-9972-57-458-0>
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2019). Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Perú. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/434320/PROTOCOLO_MONITOREO_AIRE_compressed.pdf
- Molina, C. A. A. (2018). Análisis de Material Particulado en la Mina San Pablo Parroquia San Antonio de Pichincha en la Comunidad de Tanlahua. (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19493>
- Núñez, S. A. E. (2021). Determinación de la Dispersión del Material Particulado PM₁₀ y PM_{2.5} Emitidos por una Unidad Minera Aplicando el Modelo Aermod 2019. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.

<https://hdl.handle.net/20.500.12996/5153>

Organización Mundial de la Salud - OMS (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Recuperado de

http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=15EFD584893E23DE10A7C3F59C808891?sequence=1

Parhuayo, W. F. M. (2019). Estudio Geológico y Evaluación Geoambiental de la Calidad de Aire y Suelo de Minera la Verde S.A. – Distrito Acarí - Provincia de Caravelí – Departamento de Arequipa. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10868>

Prieto, O. Z. (2016). Caracterización de Material Particulado, Plomo y Arsénico para la Evaluación de la Calidad del Aire en el Distrito de Islay-Matarani. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1904>

Quispe, L. A. B. (2018). Evaluación de Monitoreo de la Calidad de Aire en la Ciudad de Cajamarca, como una Medida de Diagnóstico y Control del Nivel de Contaminación de la Zona – 2017. (Tesis de grado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/574>

RHLAB S.A.C., S. A. Q.-M. (2021). Informe de Monitoreo Ambiental de Aire y Ruido (p. 67) [Informe Técnico]. Municipalidad Distrital de Ananea. Puno.

Robles, E. G. M. (2020). La contaminación del aire por material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco, 2010 y 2016. (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11675>

Ruiz, P. A. A. (2018). Evaluación de la Calidad del Aire en la Ciudad de Huamanga a Través de la Determinación de Materiales Particulados PM₁₀ por Gravimetría con Impactadores Harvard. (Tesis de grado). Universidad Alas Peruanas. Lima.

<https://hdl.handle.net/20.500.12990/2811>

- SENAMHI. (2022). Datos Hidrometeorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú. Puno. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Tamayo, P. J. F. R., Salvador, J. J., Vasquez, C. A. L., Zurita, S. V. R. (2017). La industria de la minería en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país (1ra ed.). Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería-Osinergmin. Perú.
- Tarazona, P. A. R. (2018). Evaluación de la Calidad de Aire por Emisiones de Material Particulado (PM_{10}) en la Vereda Mochuelo-Alto Bogotá D.C. (Tesis de grado). Universidad del Bosque. Bogotá. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/3282>
- Vara, M. E. V. L. (2017). Contaminación Atmosférica Con Material Particulado en la Ciudad del Cusco y su Comportamiento – 2016. (Tesis de grado). Universidad Nacional San Agustín. Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4426>
- Vargas, V. (s. f.). Actividad minera en el Perú. Ministerio de Energía y Minas. Recuperado de <https://www.ramosdavila.pe/media/Leer-documento-del-MINEM.pdf>
- Velarde, M. G. V. (2017). Determinación de la Correlación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} en el Distrito de San Isidro en Lima – Perú, 2016. (Tesis de grado). Universidad Científica del Sur. Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/533>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO MINERO JESÚS 2004 TRES, DISTRITO DE ANANEA-2022					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS
Problema general ¿Cuáles son los niveles de concentración del material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres?	Objetivo general Determinar la concentración del material particulado (PM ₁₀ y PM _{2.5}) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.	Hipótesis general Los niveles de concentración del material particulado (PM ₁₀ y PM _{2.5}) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres, superan los estándares de calidad para aire establecidos en el DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM.	Variable Independiente 1.- Contaminación por PM ₁₀ Y PM _{2.5}	Tipo de Investigación - Tipo aplicada con enfoque cuantitativo Diseño de Investigación - No experimental Nivel de Investigación - Descriptivo Población zona de influencia directa del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres. Muestra Tipo de muestra integrado	- Muestreador Hi-Vol Marca Thermo Scientific - Muestreador de bajo volumen "LOW-VOL" - Estación Meteorológica Marca DAVIS Instruments - Papel Filtro de celulosa - Cadena de custodia - Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire - Decreto Supremo N° 10-2019-MINAM, Decreto Supremo que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire
Problema específicos	Objetivo específicos	Hipótesis específicas	Variable Dependiente		

<p>1.- ¿Cuáles es el nivel de concentración del material particulado (PM_{10}) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres? 2.- ¿Cuáles es el nivel de concentración del material particulado ($PM_{2.5}$) en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres? 3.- ¿Los niveles de concentración del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ están dentro o fuera de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire?</p>	<p>1.- Evaluar la concentración de material particulado PM_{10} en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres. 2.- Evaluar la concentración de material particulado $PM_{2.5}$ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres. 3.- Justipreciar la calidad del aire a través de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire del área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres.</p>	<p>1.- El nivel de concentración del material particulado de PM_{10} en 24 horas es mayor que 100 mg/m³ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres. 2.- El nivel de concentración del material particulado de $PM_{2.5}$ en 24 horas es mayor que 50 mg/m³ en el área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres. 3.- Las concentraciones del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ están fuera de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire del área de influencia del Proyecto Minero Jesús 2004 Tres</p>	<p>1.- Calidad de aire - Estándares de Calidad Ambiental de aire (ECA).</p>	
--	--	--	---	--

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 02: Estándares de calidad ambiental para aire

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m3]	Criterios de evaluación	Método de análisis [1]
Benceno (C6H6)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO2)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM2,5)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM10)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) [2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM10	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H2S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

[1] o método equivalente aprobado.

[2] El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo

Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria

Final del presente Decreto Supremo.

FUENTE: D.S.Nº 003-2017-MINAM.

Anexo 03: Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo

CARACTERÍSTICAS	CRITERIOS TÉCNICOS	OTROS ASPECTOS A CONSIDERAR
Altura de la entrada de la muestra (sobre el suelo).	Mínimo 1.5m y máximo 15m	De 1.5m a 4 m se considera lo más adecuado considerando que la medición está orientada a la calidad de aire que respiramos.
Distancia horizontal con respecto a obstáculos más altos que el equipo de monitoreo.	Mayor o igual al 2.5 veces la diferencia de las alturas (altura del obstáculo – altura de la entrada de la muestra).	Se consideran obstáculos a cualquier barrera física como paredes, edificaciones, árboles, entre otros.
Distancia horizontal respecto de fuentes de emisiones cercanas.	Mayor o igual a 20m; o desde los linderos hacia el exterior, en el caso de actividades extractivas productivas o de servicios ubicadas en zonas urbanas.	Si la estación de monitoreo utiliza la energía eléctrica de un motor a combustión (grupo electrógeno), este debe encontrarse alejado como mínimo a 50m al sotavento de la estación.
Distancia horizontal entre dos equipos de monitoreo en la misma estación.	Mayor o igual a 2m, cuando uno de los equipos de monitoreo utilice flujos mayores a 200 litros por minuto. Mayor o igual a 1m, cuando ambos equipos de monitoreo utilicen flujos menores o iguales a 200 litros por minuto	
Restricciones de flujo de aire hacia la estación de monitoreo	Las estaciones de monitoreo deben estar ubicados de tal manera que los obstáculos no eviten el ingreso de flujos de aire al menos 3 de los 4 cuadrantes (norte, oeste, este y sur).	Una mayor restricción de flujos de aire libre pudiera afectar la representatividad espacial de las estaciones de monitoreo.

FUENTE: Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire, MINAM (2019).

NOTA:

*Esta distancia mínima no es de aplicación respecto a las actividades de comercialización de hidrocarburos, siempre que se asegure que la ubicación de la estación no afectará el cumplimiento del objetivo del monitoreo.

Anexo 04: Requerimientos técnicos para estaciones meteorológicas.

Parámetro	Instrumento/elemento sensible/sensor	Unidad	Símbolo	Rango	Resolución
Temperatura ambiental	Termistor o termocupla o termorresistores metálicos	Grados Celsius	°C	-40 a 60	0.1
Humedad relativa	Transductores de tipo condensadores	Porcentaje	%	0 a 100	1%
Velocidad de viento	Cazoletas, propeller (hélice) o sónico	Metro por segundo	m/s	0.5 a 50	0.5
Dirección de viento	Veleta o sónico	Grado	°	0 a 360	1.0
Radiación solar	Piranómetro	Watt por metro cuadrado	W/m ²	0 a 1100	10
Precipitación	Tipping bucket (balancín)	Milímetro por hora	Mm	0 a 500	0.2
Presión atmosférica	Transductores que se emplean elementos de silicio o condensadores	Hectopascal	hPa	500-1050	0.1

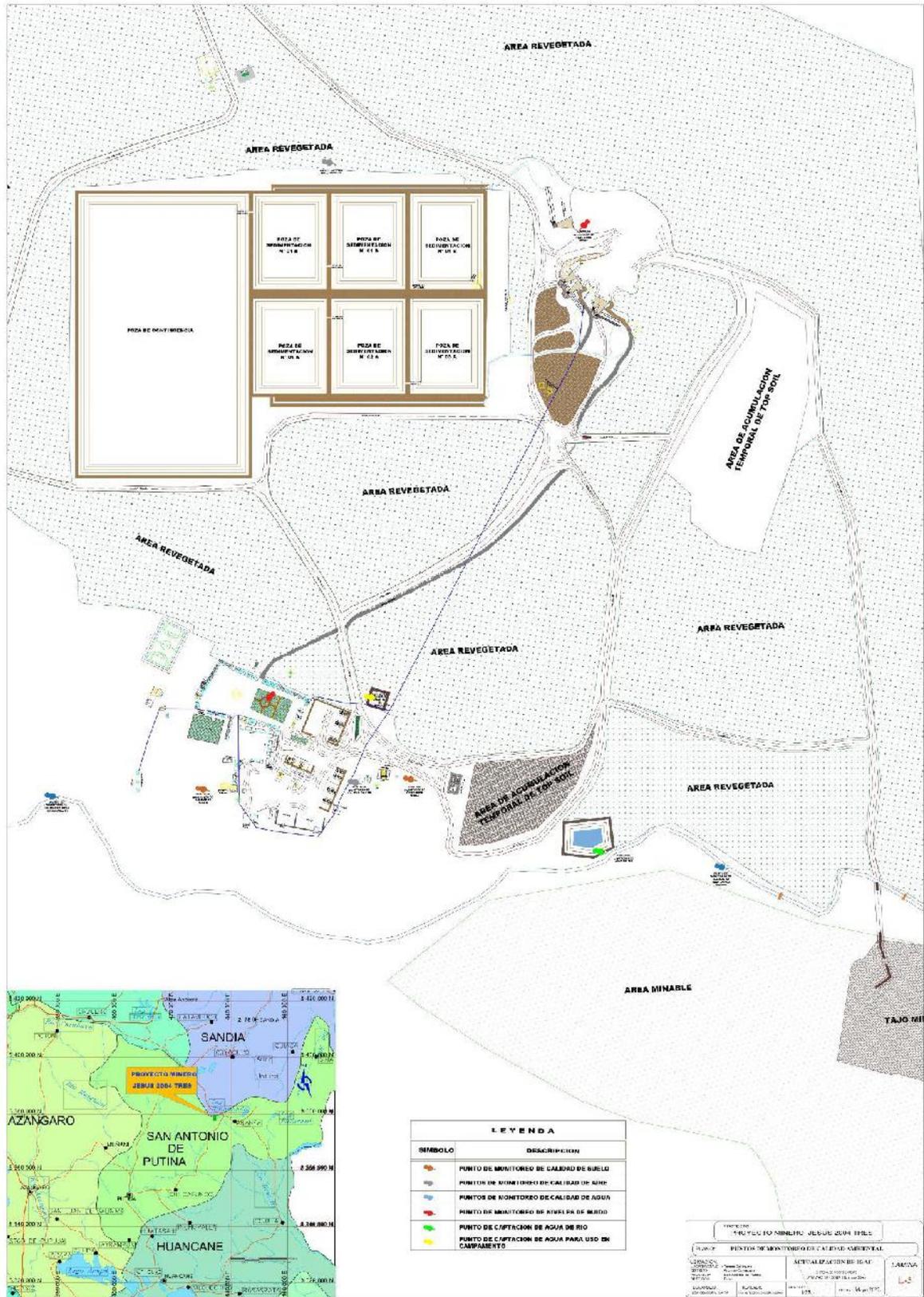
FUENTE: (MINAM, 2019; Nuñez, 2021).

Anexo 05: Requerimientos Técnicos para la instalación de estación meteorológica

Parámetro	Distancia de un obstáculo	Altura sobre el suelo	Comentario
Dirección/velocidad de viento	10 veces la altura de un obstáculo	10m	
Temperatura ambiental/humedad relativa	1.5 veces el diámetro de la torre	1.25m – 2m	La superficie no debe ser de preferencia, concreto, asfalto o similares. La reflexión de este tipo de superficies pudiera afectar la medición. Estos sensores deben estar cubiertos dentro de un protector contra radiación y no estar instalados en contacto con la luz solar, precipitación, rocío y viento.
Radiación solar	2m	2m – 10m	Debe estar instalado evitando la ocurrencia de sombra sobre el sensor.
Presión atmosférica	1m	1.5m – 2m	Debe contar con temperatura uniforme y constante. Debe evitarse la radiación directa del sol, alejado de corrientes de aire o calentadores. El sensor debe estar instalado dentro de la plataforma de recolección de datos con la entrada de aire conectada al medio externo, si el sensor se encuentra instalada fuera de la plataforma de recolección de datos se debe ubicar entre 1.5 a 2 metros de altura con un dispositivo que minimice el error de la presión dinámica debido al viento.
Precipitación	3 a 4 veces la altura de un obstáculo	1m – 1.5m	Asfalto o concreto deben evitarse para evitar salpicaduras. El medidor debe estar lo suficientemente alto para evitar que sea cubierto por la nieve.

FUENTE: (MINAM, 2019; Nuñez, 2021)

Anexo 06: Mapa de ubicación de los puntos de Muestreo



FUENTE: Elaboración Propia

Anexo 08: Resultados de muestreo obtenidos del laboratorio

Resultados de análisis y determinación de peso Material Particulado PM₁₀

Estación de Muestreo	Fecha de muestreo	Código de Filtro	Tiempo Horas	Peso Inicial del Filtro (gr)	Peso Final del Filtro (gr)	Diferencia de Peso (gr)
Mes de marzo						
P1-CA	2022-03-22/23	FV0554	24	3.4701	3.4947	0.0246
P2-CA	2022-03-23/24	FV0555	24	3.4873	3.5070	0.0197
Mes de junio						
P1-CA	2022-06-22/23	FV1370	24	3.5106	3.5383	0.0277
P2-CA	2022-06-23/24	FV1371	24	3.5256	3.5449	0.0193

FUENTE: Informe de ensayo N° 161622 -2022 (S.A.G., 2022)

Resultados de análisis y determinación de peso Material Particulado PM_{2.5}

Estación de Muestreo	Fecha de muestreo	Código de Filtro	Tiempo Horas	Peso Inicial del Filtro (gr)	Peso Final del Filtro (gr)	Diferencia de Peso (gr)
Mes de marzo						
P1-CA	2022-06-22/23	QZ0870	24	0.121541	0.121602	0.000061
P2-CA	2022-06-23/24	QZ0871	24	0.121105	0.121133	0.000028
Mes de junio						
P1-CA	2022-03-22/23	QZ0336	24	0.105518	0.105580	0.000062
P2-CA	2022-03-23/24	QZ0337	24	0.115616	0.115645	0.000029

FUENTE: Informe de ensayo N° 161622 -2022 (S.A.G., 2022)

Anexo 09: Reporte de los resultados del laboratorio correspondiente al mes de marzo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 161622-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : ECOSOUTH MEDIO AMBIENTE INGENIERÍA Y GEOMÁTICA S.R.L.
DOMICILIO LEGAL : JR. PRECURSORES MRQ. 155 BARRIO MANTO NORTE - PUNO - PUNO - PUNO
SOLICITADO POR : DLGO. HERLY YURY ISIDRO GONZÁLES
REFERENCIA : PROYECTO MINERO JESÚS 2004 TRES
PROCEDENCIA : ANANLA - SAN ANTONIO DE PUTINA - PUNO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-03-29
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-03-29 AL 2022-04-01
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-03-22 AL 2022-03-24
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Determinación de peso de material particulado y peso de filtro: Filtros PM10 y PM2.5 de Alto Volumen	EPA 40 CFR Appendix J to Part 50, 1987. Validado (modificado), 2019. Reference Method for the Determination of Particulate Matter in the Atmosphere. NO INCLUYE MUESTREO.	0.0010	g
Determinación de peso de material particulado y peso de filtro: Filtros PM10 y PM2.5 de Bajo Volumen	EPA 40 CFR Appendix L to Part 50, 2006. Validado (modificado), 2019. Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere. NO INCLUYE MUESTREO.	0.000017	g

L.C.: Límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Calidad de Aire	Calidad de Aire
Matriz analizada	Filtro PM10 Alto Volumen	Filtro PM2.5 Bajo Volumen
Fecha de muestreo	2022-03-22/ 23	2022-03-22/ 23
Hora de inicio de muestreo (H)	10:35	10:46
Coordenadas UTM WGS 84 - 19S	434109.05E 9319095.64N	434109.05E 9319095.64N
Altitud (metros)	4861	4861
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada
Descripción del Punto de Muestreo	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Sotavento, alejado al campamento y zona de almacenes	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Sotavento, alejado al campamento y zona de almacenes
Código del Cliente	PL-CA	PL-CA
Código del Laboratorio	22032500	22032500
Ensayos	Unidades	Resultados
Determinación de pesaje inicial: filtro PM10 Alto Volumen	g	3.4701
Determinación de pesaje final: filtro PM10 Alto Volumen	g	3.4947
Determinación de peso material particulado PM10 Alto Volumen	g	0.0145
Determinación de pesaje inicial: filtro PM2.5 Bajo Volumen	g	///
Determinación de pesaje final: filtro PM2.5 Bajo Volumen	g	///
Determinación de peso material particulado PM2.5 Bajo Volumen	g	///
Determinación de pesaje final: filtro PM2.5 Bajo Volumen	g	///
Determinación de peso material particulado PM2.5 Bajo Volumen	g	///
Determinación de pesaje final: filtro PM2.5 Bajo Volumen	g	///
Determinación de peso material particulado PM2.5 Bajo Volumen	g	///

///: Ensayo No Realizado.

Manuel
 Ing. Mariño Tello Paucar
 Director Técnico
 C.T.P. N° 219624
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS WORKING FOR YOU

Codi: PL1602 / Versión: 03/ E.E.: 03/2020

Observaciones: • Este prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización expresa de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de validez del protocolo y/o convenio con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com • Cualquier modificación no autorizada, invalida la certificación del contenido o de la conformidad de cada documento legal y los ejemplares posteriores. • Invalidez de todo lo anterior.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.
 Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1566 Jirón - Chacarilla Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clarinda Mejía de Turner N° 2079 - Lima
 • Central Telefónica (511) 425-5835 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com Página 1 de 2

Nota: El presente documento consta de 02 páginas (1/2).

FUENTE: Informe de ensayo N° 161622 -2022 (S.A.G., 2022)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 161622-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Calidad de Aire	Calidad de Aire
Matriz analizada	Filtro PM10 Alto Volumen	Filtro PM2.5 Bajo Volumen
Fecha de muestreo	2022-03-23/ 24	2022-03-23/ 24
Hora de inicio de muestreo (h)	12:50	12:55
Coordenadas UTM WGS 84 - 19S	434090.01E	434090.01E
	8379095.60N	8379095.60N
Altitud (msnm)	4680	4680
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada
Descripción del Punto de Muestreo	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Barrioventas, alejado a las pozas de agua y la casera de control de acceso a la unidad.	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Barrioventas, alejado a las pozas de agua y la casera de control de acceso a la unidad.
Código del Cliente	P2-CA	P2-CA
Código del Laboratorio	22032499	22032499
Ensayos	Unidades	Resultados
Determinación de pesaje inicial: filtro PM10 Alto volumen	g	3.4873
Determinación de pesaje final: filtro PM10 Alto volumen	g	3.5670
Determinación de peso material particulado PM10 Alto volumen	g	0.0197
Determinación de pesaje inicial: filtro PM2.5 Bajo volumen	g	0.115616
Determinación de pesaje final: filtro PM2.5 Bajo volumen	g	0.115645
Determinación de peso material particulado PM2.5 Bajo volumen	g	0.000029

///: Ensayo No Realizado.

Lima, 06 de Abril del 2022.

EXPERTS WORKING FOR YOU

COC-FI002 / Versión 09/FE: 05/2020

OBSERVACIONES • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados en este documento solo son válidos para las muestras recibidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD de presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación o actualización, fecha o identificación del contenido o de autoría de este documento, es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacarita Pías Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Corinda Merlo de Turner N° 2079 - Lima • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 2

Nota: El presente documento consta de 02 páginas (2/2).

FUENTE: Informe de ensayo N° 161622 -2022 (S.A.G., 2022)

Anexo 10: Reporte de los resultados del laboratorio correspondiente al mes de junio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



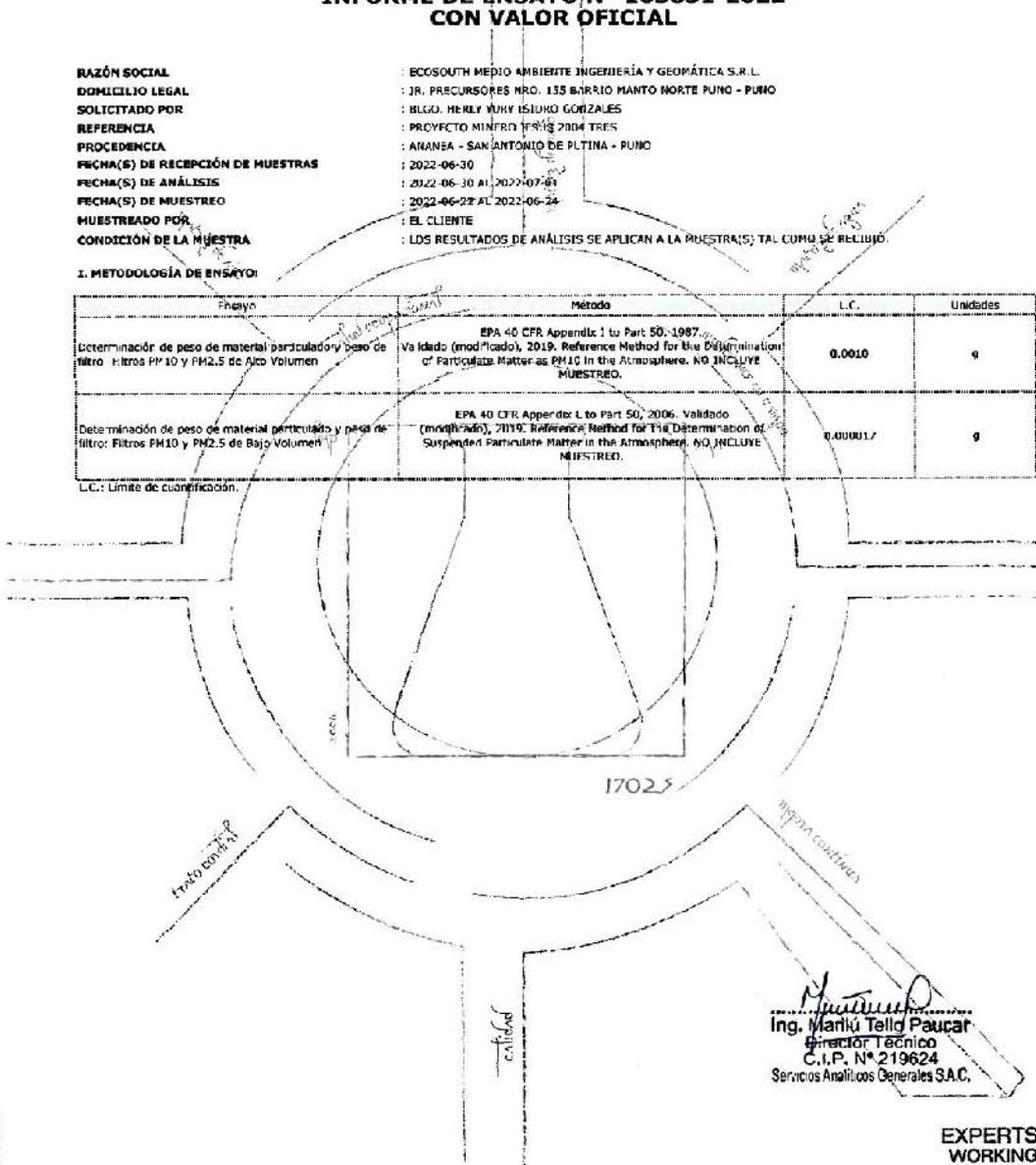
INFORME DE ENSAYO N° 163851-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : ECOSOUTH MEDIO AMBIENTE INGENIERÍA Y GEOMÁTICA S.R.L.
DOMICILIO LEGAL : JR. PRECURSORES NRO. 135 BARRIO MANTO NORTE PUNO - PUNO
SOLICITADO POR : BLGO. HERLY WILLY ISLURO GONZALES
REFERENCIA : PROYECTO MINERO Y S3 2004 TRES
PROCEDENCIA : ANANEA - SAN ANTONIO DE PLATINA - PUNO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-06-30
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-06-30 AL 2022-07-03
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-06-27 AL 2022-06-24
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECEBIO.

1. METODOLOGÍA DE ENSAYO

Prueba	Método	L.C.	Unidades
Determinación de peso de material particulado y peso de filtro: Filtros PM10 y PM2.5 de Alto Volumen	EPA 40 CFR Appendix 1 to Part 50, 1987. Validado (modificado), 2019. Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM10 in the Atmosphere. NO INCLUDE MUESTREO.	0.0010	g
Determinación de peso de material particulado y peso de filtro: Filtros PM10 y PM2.5 de Bajo Volumen	EPA 40 CFR Appendix 1 to Part 50, 2006. Validado (modificado), 2019. Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere. NO INCLUDE MUESTREO.	0.000017	g

L.C.: Límite de cuantificación.



Manlio Tello Paucar
Ing. Manlio Tello Paucar
 Director Técnico
 C.I.P. N° 219624
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS WORKING FOR YOU

Cod. H1002 / Versión 107 / E.L.: 05/2022

CONSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente Informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al protocolo de parabilidad del parámetro analizado, con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente Informe comuníquese al correo: info@saiperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación de cualquier tipo de contenido de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.
 Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ricos Norte - Lima y Paraje Ciénega Muña de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ricos Norte - Lima
 • Central Telefónica: (511) 425-8885 • Web: www.saiperu.com • Contacto Electrónico: saiperu@saiperu.com Página 1 de 2

Nota: El presente documento consta de 02 páginas (1/2).

FUENTE: Informe de ensayo N° 163851-2022 (S.A.G., 2022)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 163851-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Calidad de Aire	Calidad de Aire
Matriz analizada	Filtro PM10 Alto Volumen	Filtro PM2.5 Bajo Volumen
Fecha de muestreo	2022-06-23/ 23	2022-06-23/ 23
Hora de inicio de muestreo (h)	12:25	12:35
Coordenadas UTM WGS 84 - 19S	434109.05E 8379095.68N	434109.05E 8379095.68N
Altitud (m.s.n.m.)	4861	4861
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada
Descripción del punto de muestreo	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Soravento, adyacente al campamento y zona de almacenes	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Soravento, adyacente al campamento y zona de almacenes
Código del Cliente	P1-CA	P1-CA
Código del Laboratorio	22063821	22063821
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Determinación de pesaje inicial: filtro PM10 alto volumen	g	3.5106
Determinación de pesaje final: filtro PM10 alto volumen	g	1.5383
Determinación de peso material particulado PM10 alto volumen	g	0.0277
Determinación de pesaje inicial: filtro PM2.5 bajo volumen	g	///
Determinación de pesaje final: filtro PM2.5 bajo volumen	g	///
Determinación de peso material particulado PM2.5 bajo volumen	g	///
Producto declarado	Calidad de Aire	Calidad de Aire
Matriz analizada	Filtro PM10 Alto Volumen	Filtro PM2.5 Bajo Volumen
Fecha de muestreo	2022-06-23/ 24	2022-06-23/ 24
Hora de inicio de muestreo (h)	14:06	14:06
Coordenadas UTM WGS 84 - 19S	434090.01E 8379095.68N	434090.01E 8379095.68N
Altitud (m.s.n.m.)	486	486
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada
Descripción del punto de muestreo	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Soravento, adyacente a las pozas de agua y la caseta de control de acceso a la Unidad	Punto de monitoreo de calidad ambiental de aire a Soravento, adyacente a las pozas de agua y la caseta de control de acceso a la Unidad
Código del Cliente	P2-CA	P2-CA
Código del Laboratorio	22063822	22063822
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Determinación de pesaje inicial: filtro PM10 alto volumen	g	3.5256
Determinación de pesaje final: filtro PM10 alto volumen	g	3.5449
Determinación de peso material particulado PM10 alto volumen	g	0.0193
Determinación de pesaje inicial: filtro PM2.5 bajo volumen	g	///
Determinación de pesaje final: filtro PM2.5 bajo volumen	g	///
Determinación de peso material particulado PM2.5 bajo volumen	g	///

Lima, 12 de Julio del 2022.

EXPERTS WORKING FOR YOU

CONSERVACIONES: • Es prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados de este documento solo son válidos para las pruebas realizadas en el presente informe. • Los resultados serán considerados de acuerdo al Correo de Participación de Partes Analizadas con un máximo de 30 días de fecha ingresado los resultados al laboratorio. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe con el correo electrónico sagperu.com. • Una vez modificada la autorización, validez o autorización de conformidad o de aprobación de este documento es nula y sus efectos pueden ser anulados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.
Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1566 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Mero de Turner N° 2076 Lrc. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6865 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 2

Nota: El presente documento consta de 02 páginas (2/2).

FUENTE: Informe de ensayo N° 163851-2022 (S.A.G., 2022)

Anexo 11: Conversión de unidad de medida para PM₁₀

La conversión de unidades se desarrolló de acuerdo a la metodología descrita en la figura 11 y 12, el cual se describe de la siguiente forma:

ESTACIÓN DE MUESTREO	PESO NETO DEL PM ₁₀ (gr)		CONCENTRACIÓN DEL PM ₁₀ (µg/m ³)	
	MARZO 2022	JUNIO 2022	MARZO 2022	JUNIO 2022
P1-CA	0.0246	0.0277	14.4	15.4
P2-CA	0.0197	0.0193	11.5	10.7

FUENTE: Elaboración Propia

Anexo 12: Determinación de concentración de material particulado PM₁₀, con control de flujo volumétrico

Determinación de Material Particulado PM-10 con Control de Flujo Volumétrico.

Empresa: Unid. o Proyecto:

Estación: P1-CA	Fecha: 23/03/2022	Código de Filtro: FV0554	Pesos (gr)		
			Inicial: 3.4701	Final: 3.4947	Diferencia: 0.0246
Horómetro			Funcionamiento		
Inicial: 0	Final: 24		Horas: 24	Minutos: 1440	
Diferencia de Presión Manométrica			Presión ATM. (mmHg): 732	Temperatura (°C): 6	Razón de Presión: 0.985
Inicial: 1	Final: 11	Promedio: 6.0	Qreal (m ³ /min): 1.151	Qstd (m ³ /min): 1.184	VOLstd (m ³): 1705.0
Concentración de Material Particulado PM-10					
Concentración PM10. (ug/m ³ N)	As (ug/muestra)	As (ug/m ³ N)	Pb (ug/muestra)	Pb (ug/m ³ N)	
14.4	1	0.0006	1	0.0006	

Nota: De la estación de muestreo P1-CA, correspondiente al mes de Marzo.

FUENTE: Elaboración Propia

Determinación de Material Particulado PM-10 con Control de Flujo Volumétrico.

Empresa: Unidad o Proyecto:

Estación: P2-CA	Fecha: 24/03/2022	Código de Filtro: FV0555	Pesos (gr)		
			Inicial: 3.4873	Final: 3.5070	Diferencia: 0,0197
Horómetro			Funcionamiento		
Inicial: 0	Final: 24		Horas: 24	Minutos: 1440	
Diferencia de Presión Manométrica			Presión ATM. (mmHg): 733.87	Temperatura (°C): 5	Razón de Presión: 0,985
Inicial: 1	Final: 11	Promedio: 6,0	Qreal (m³/min): 1.151	Qstd (m³/min): 1.191	VOLstd (m³): 1715,0
Concentración de Material Particulado PM-10					
Concentración PM10. (ug/m3N)	As (ug/muestra)	As (ug/m³N)	Pb (ug/muestra)	Pb (ug/m³N)	
11,5	1	0,0006	1	0,0006	
Limpiar Guardar					

Nota: De la estación de muestreo P2-CA, correspondiente al mes de Marzo.

FUENTE: Elaboración Propia

Determinación de Material Particulado PM-10 con Control de Flujo Volumétrico.

Empresa: Unidad o Proyecto:

Estación: P1-CA	Fecha: 23/06/2022	Código de Filtro: FV1370	Pesos (gr)		
			Inicial: 3.5106	Final: 3.5383	Diferencia: 0,0277
Horómetro			Funcionamiento		
Inicial: 0	Final: 24		Horas: 24	Minutos: 1440	
Diferencia de Presión Manométrica			Presión ATM. (mmHg): 781.09	Temperatura (°C): 9	Razón de Presión: 0,986
Inicial: 1	Final: 11	Promedio: 6,0	Qreal (m³/min): 1.151	Qstd (m³/min): 1.250	VOLstd (m³): 1800,0
Concentración de Material Particulado PM-10					
Concentración PM10. (ug/m3N)	As (ug/muestra)	As (ug/m³N)	Pb (ug/muestra)	Pb (ug/m³N)	
15,4	1	0,0006	1	0,0006	
Limpiar Guardar					

Nota: De la estación de muestreo P1-CA, correspondiente al mes de Junio.

FUENTE: Elaboración Propia

Determinación de Material Particulado PM-10 con Control de Flujo Volumétrico.

Empresa: Unidad o Proyecto:

Estación:	Fecha:	Código de Filtro:	Pesos (gr)		
P2-CA	24/06/2022	FV1371	Inicial:	Final:	Diferencia:
			3.5256	3.5449	0.0193
Horómetro			Funcionamiento		
Inicial:	Final:		Horas:	Minutos:	
0	24		24	1440	
Diferencia de Presión Manométrica			Presión ATM. (mmHg):	Temperatura (°C):	Razón de Presión:
			782.5	9.03	0.986
Inicial:	Final:	Promedio:	Qreal (m³/min):	Qstd (m³/min):	VOLstd (m³):
1	11	6.0	1.151	1.252	1802.9
Concentración de Material Particulado PM-10					
Concentración PM10. (ug/m3N)	As (ug/muestra)	As (ug/m²N)	Pb (ug/muestra)	Pb (ug/m²N)	
10.7		0.0006	1	0.0006	

Limpiar || Guardar

Nota: De la estación de muestreo P2-CA, correspondiente al mes de Junio.

FUENTE: Elaboración Propia

Anexo 13: Conversión de unidad de medida para PM_{2.5}

ESTACIÓN DE MUESTREO	PESO NETO DEL PM _{2.5} (gr)		CONCENTRACIÓN DEL PM _{2.5} (µg/m³)	
	MARZO 2022	JUNIO 2022	MARZO 2022	JUNIO 2022
P1-CA	0.000062	0.000061	8.61	8.47
P2-CA	0.000029	0.000028	4.03	3.89

FUENTE: Elaboración propia

Para la conversión de unidades de material particulado PM_{2.5}, se utilizó la ecuación simple, con el dato de flujo de ingreso al muestreador de aire de bajo volumen Lo-Wol que es 5 l/min y la diferencia de peso de material particulado, así como se explica en la metodología de conversión de unidades.

El flujo del muestreador de bajo volumen Lo-Wol, se realiza la conversión de unidades de litro por minuto (l/min) a litro por 24 horas (l/24h).

$$5 \text{ l/min} = 7200 \text{ l/24h}$$

Del mismo modo, también se realiza la conversión de unidades del flujo de litros (L) a metro cúbico (m³).

$$7200 \text{ l/24h} = 7.20 \text{ m}^3/24\text{h}$$

Del peso de diferencia de material particulado PM_{2.5} respecto al peso de los filtros de muestreo, se realiza la conversión de unidades de gramos (gr) a microgramos (µg) de la siguiente forma:

P1-CA correspondiente al mes de marzo 0.000062 gr.= 62 µg

P2-CA correspondiente al mes de marzo 0.000029 gr.= 29 µg

P1-CA correspondiente al mes de junio 0.000061 gr.= 61 µg

P2-CA correspondiente al mes de junio 0.000028 gr.= 28 µg

La diferencia de peso de material particulado PM_{2.5} es dividido por el flujo de volumen del muestreador de bajo volumen Lo-Wol.

P1-CA correspondiente al mes de marzo $62 \text{ µg} / 7.20 \text{ m}^3 = 8.61 \text{ µg} / \text{m}^3$

P2-CA correspondiente al mes de marzo $29 \text{ µg} / 7.20 \text{ m}^3 = 4.03 \text{ µg} / \text{m}^3$

P1-CA correspondiente al mes de junio $61 \text{ µg} / 7.20 \text{ m}^3 = 8.47 \text{ µg} / \text{m}^3$

P2-CA correspondiente al mes de junio $28 \text{ µg} / 7.20 \text{ m}^3 = 3.89 \text{ µg} / \text{m}^3$

Anexo 14: Resultados meteorológicos

En el siguiente cuadro se describen los Parámetros Meteorológicos muestreados en la estación P1-CA y P2-CA correspondiente al mes de Marzo. Los mismos que fueron obtenidos mediante el uso de una estación meteorológica marca DAVIS Instruments, modelo Vantage Vue y de la estación meteorológica del SENAMHI del Distrito de Ananea, estación convencional.

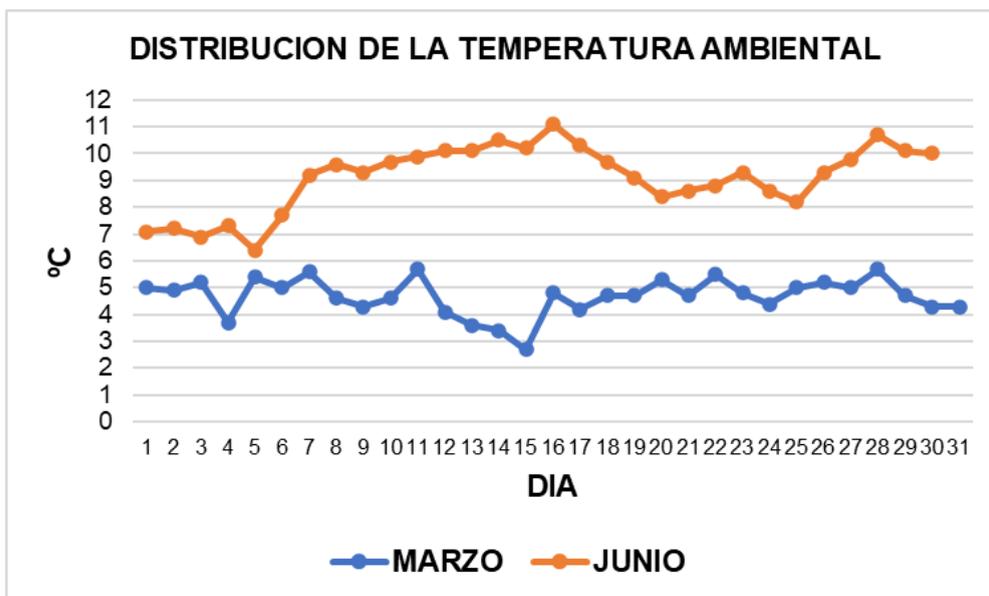
Parámetros	Mes de marzo 2022			22 al 24 de marzo del 2022	
	Promedio	Min.	Max	Promedio 22 de marzo	Promedio 23 de marzo
Temperatura °C	4.68	-0.57	9.93	5.50	4.80
Humedad %	89.29	83.20	94.60	85.3	88.2
Precipitación mm	2.97	0	27.8	0	3.5
Presión Atmosférica mm Hg	732.50	731.02	734.65	732.25	733.87
Velocidad del Viento m/s	5.15	4.21	6.65	5.30	5.02
Dirección del Viento	SSW	----	----	SSW	SSW

FUENTE: Elaboración propia tomando los datos de la Data logger de la Estación meteorológica DAVIS y datos del SENAMHI (2022) – Estación convencional Ananea.

Parámetros	Mes de junio 2022			22 al 24 de junio del 2022	
	Promedio	Min.	Max	Promedio 22 de junio	Promedio 23 de junio
Temperatura °C	9.11	-7.49	10.73	8.8	9.3
Humedad %	86.31	76.8	92.1	85.4	91.4
Precipitación mm	0.00	0	0	0	0
Presión Atmosférica mm Hg	781.99	778.36	785.88	781.9	782.5
Velocidad del Viento m/s	7.26	6.70	8.50	7.20	7.20
Dirección del Viento	NE	----	----	NE	NE

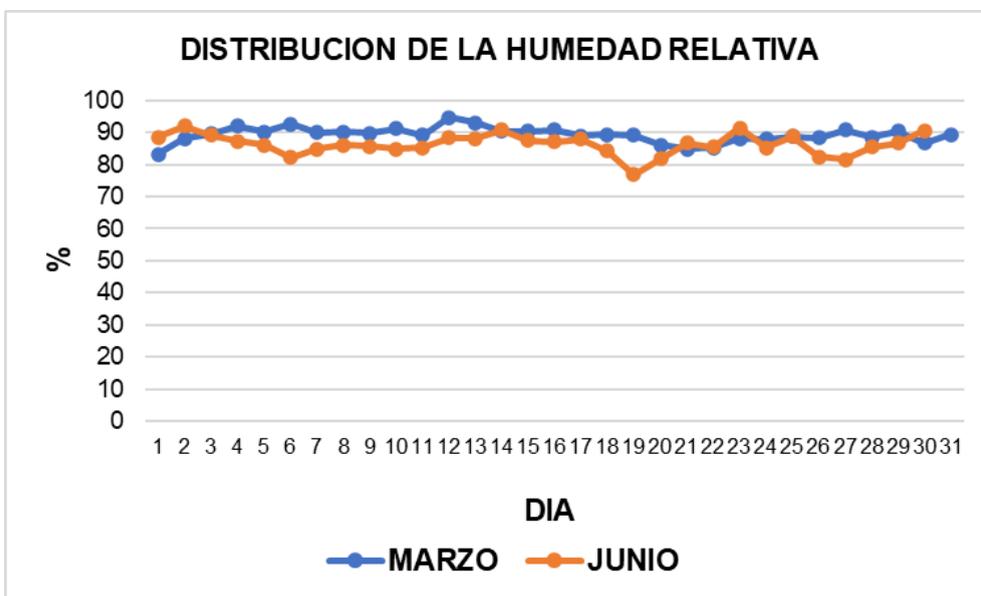
FUENTE: Elaboración propia tomando los datos de la Data logger de la Estación meteorológica DAVIS y datos del SENAMHI (2022) – Estación convencional Ananea.

Anexo 15: Distribución de los parámetros meteorológicos de los meses de marzo y junio



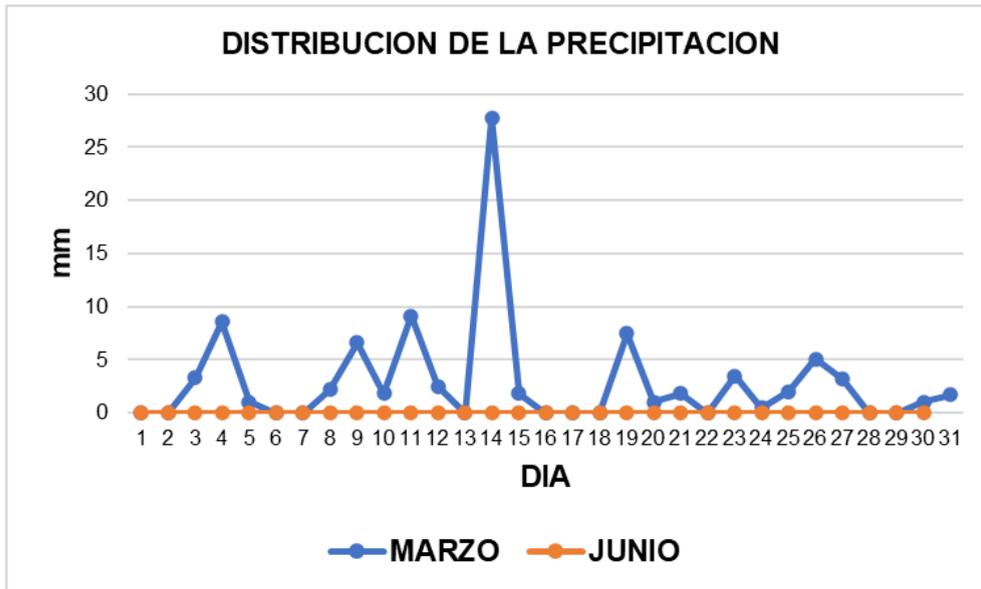
FUENTE: SENAMHI (2022).

Nota: La temperatura promedio en el mes de marzo es de 4.68 °C, y en el mes de junio 9.11 °C.



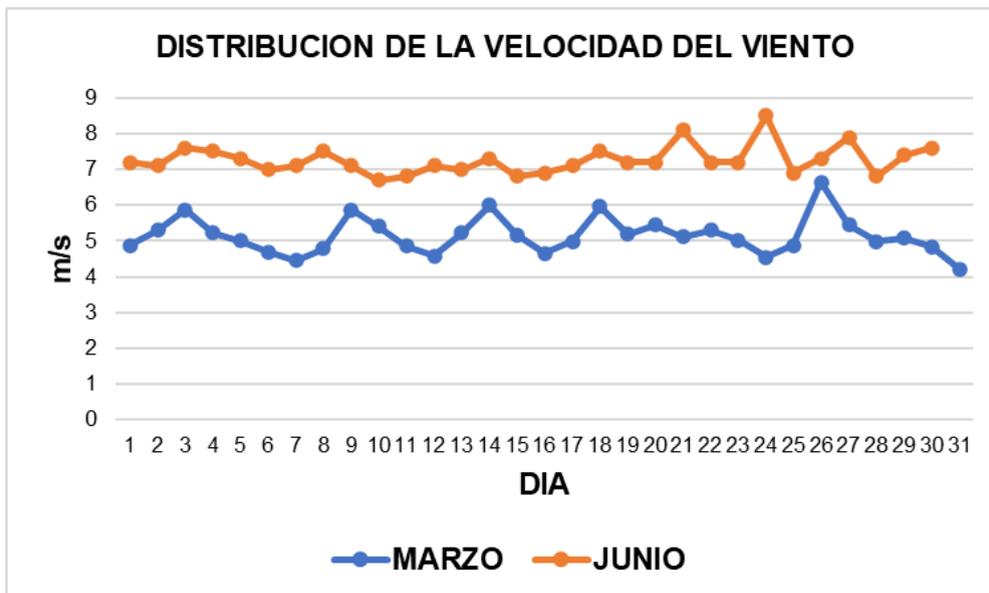
FUENTE: SENAMHI (2022).

Nota: La humedad relativa promedio en el mes de marzo fue de 89.29 %, y en el mes de junio 86.31 %.



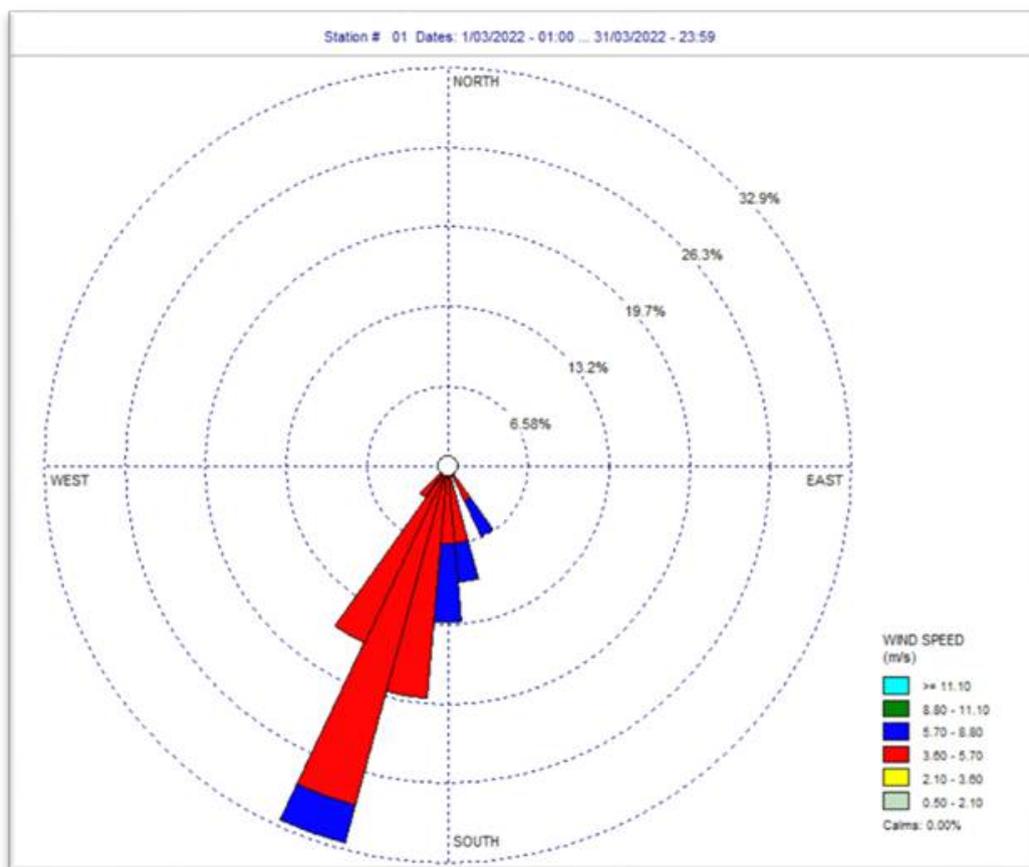
FUENTE: SENAMHI (2022).

Nota: La precipitación promedio en el mes de marzo 2.97 mm, y en el mes de junio sin presencia de precipitaciones.



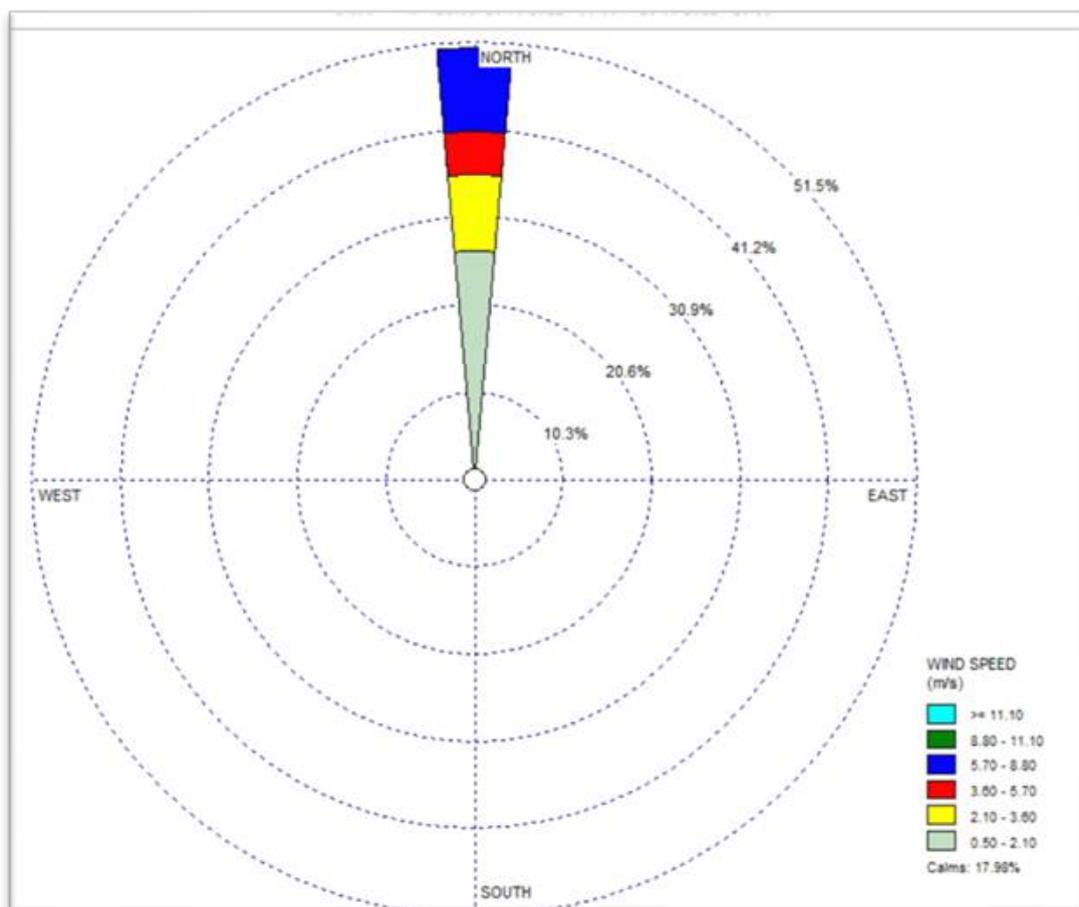
FUENTE: SENAMHI (2022).

Nota: La distribución de la velocidad del viento promedio es de 5.15 m/s. en el mes de marzo y 7.26 m/s en el mes de junio, presentando mayores velocidades en el mes de junio, que en el mes de marzo.



FUENTE: Elaboración propia tomando los datos de la Datalogger de la Estación meteorológica DAVIS y datos del SENAMHI (2022) – Estación convencional Ananea.

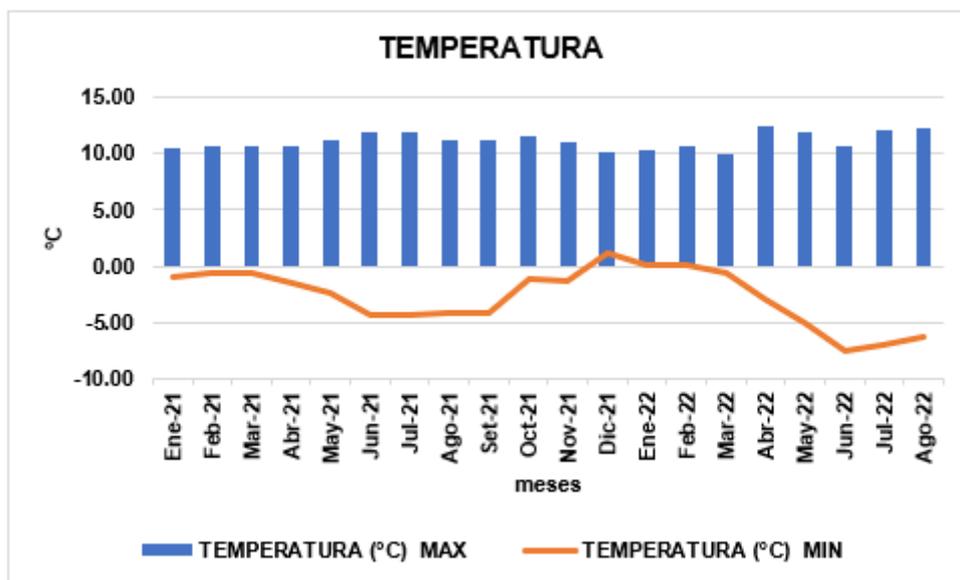
Nota: Se observa la dirección del viento del 22 al 24 de marzo del presente año, donde la dirección del viento se dirige hacia el sur-suroeste del Proyecto Mineros Jesús 2004 Tres, con la velocidad del viento promedio de 4.95 m/s.



FUENTE: Elaboración propia tomando los datos de la Datalogger de la Estación meteorológica DAVIS y datos del SENAMHI (2022) – Estación convencional Ananea.

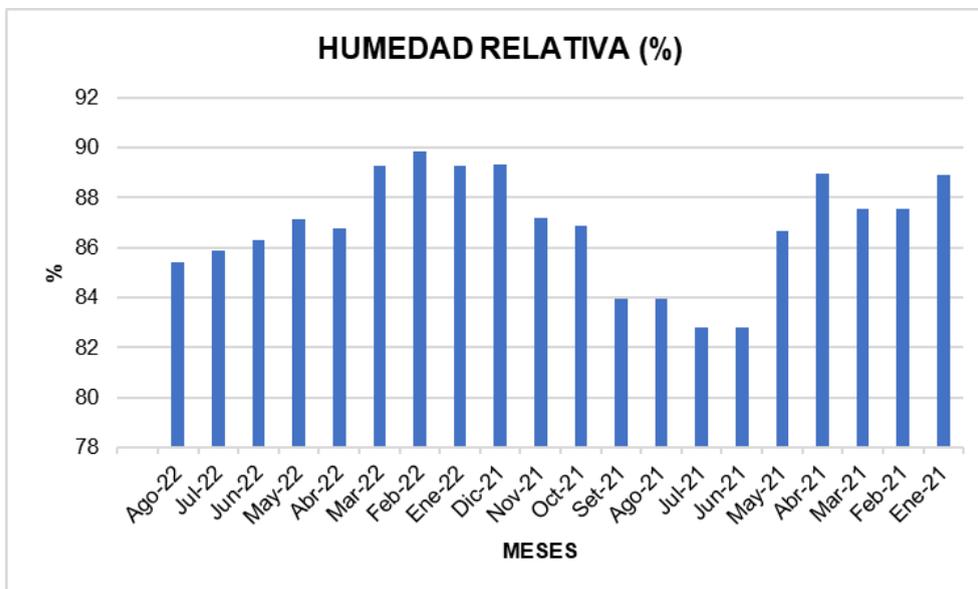
Nota: Se observa la dirección del viento del 22 al 24 de junio del presente año, donde la dirección del viento se dirige hacia el Noreste del Proyecto Mineros Jesús 2004 Tres, con la velocidad del viento promedio de 7.63 m/s.

Anexo 16: Distribución de los parámetros meteorológicos del 2021 y 2022



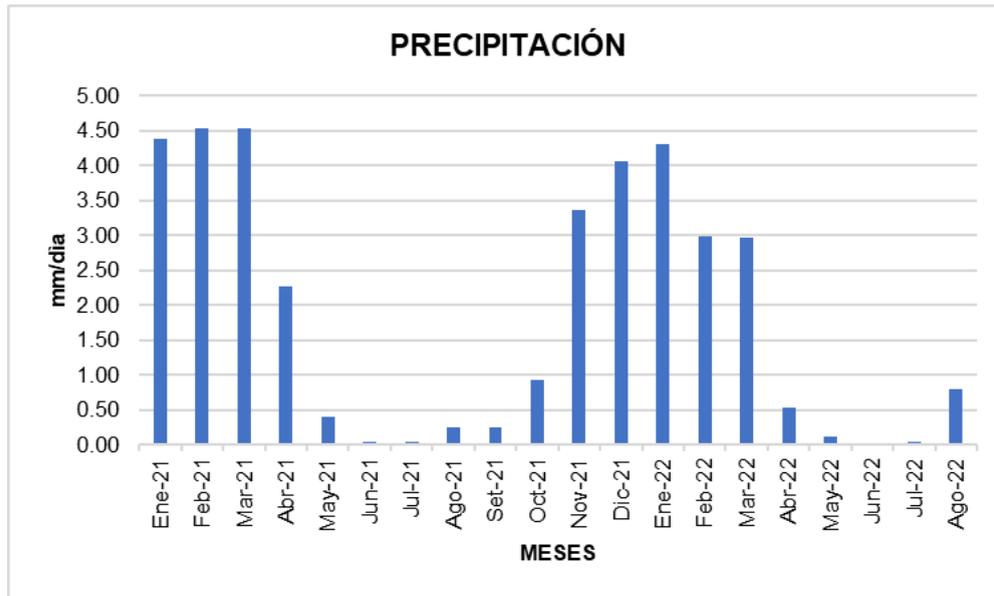
Nota: Distribución de la Temperatura Ambiental del 2021 y 2022

FUENTE: Elaboración propia tomando los datos del SENAMHI (2022) – Estación convencional Ananea.



Nota: Distribución de la humedad relativa Ambiental del 2021 y 2022

FUENTE: Elaboración propia tomando los datos del SENAMHI (2022) – Estación convencional Ananea.



Nota: Distribución de la Precipitación Ambiental del 2021 y 2022

FUENTE: Elaboración propia tomando los datos del SENAMHI (2022) – Estación convencional Ananea.

Anexo 17: Panel fotográfico



Figura 15: Equipo muestreador Hi-Vol instalado.

Figura 16: Equipo estación meteorológica instalado.



Figura 17: Equipo muestreador Lo-Wol instalado.



Figura 18: Uso de guantes de nitrilo para el manejo de los filtros.



Figura 19: Instalación del papel filtro de PM_{10} sobre el portafiltro del muestreador Hi-Vol.



Figura 20: Ajuste del papel filtro de PM_{10} en el portafiltro del muestreador Hi-Vol.



Figura 21: Instalación del portafiltro con filtro incluido para PM_{10} sobre el trapecio.



Figura 22: Ajuste del portafiltro en la base del trapecio, asegurando con pernos y tuercas.



Figura 23: Ajuste de las partes cuerpo y cabezal del equipo Hi-Vol.



Figura 24: Impregnación con silicona fuera de los orificios del impactador del equipo.



Figura 25: Programación del data logger del Equipo Hi-Vol.



Figura 26: Programación del data logger de inicio de muestreo.



Figura 27: Instalación del estabilizador de energía.

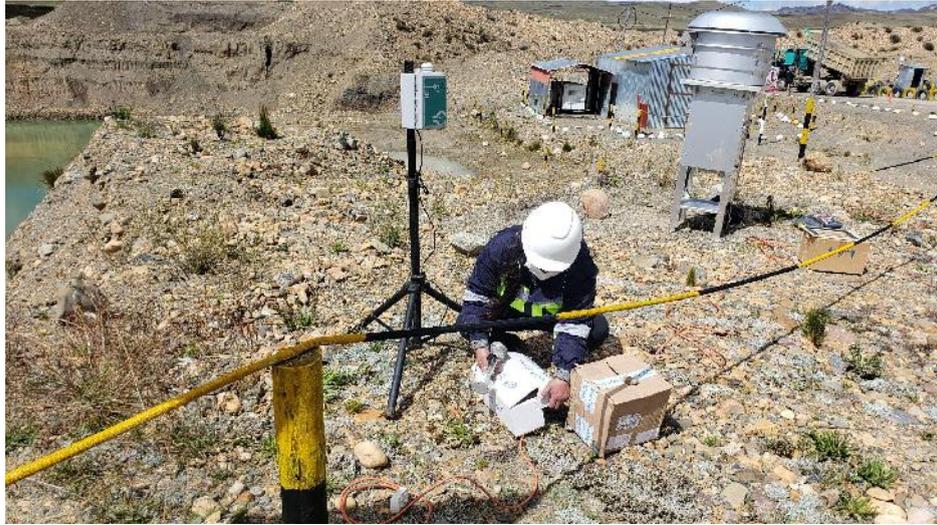


Figura 28: Instalación del equipo muestreador Lo-Wol.



Figura 29: Filtro para PM2.5.



Figura 30: Portafiltro para $PM_{2.5}$ del muestreador Lo-Wol.



Figura 31: Ajuste del papel filtro en el portafiltro.



Figura 32: Instalación del portafiltro en el equipo muestreador Lo-Wol.



Figura 33: Portafiltro en el cabezal del equipo muestreador Lo-Wol.



Figura 34: Enroscamiento del portafiltro en el equipo muestreador Lo-Wol.



Figura 35: Programación del data logger para inicio de muestreo del $PM_{2.5}$



Figura 36: Culminación de instalación de los equipos de muestreo en la estación P1-CA



Figura 37: Culminación de instalación de los equipos de muestreo en la estación P2-CA



Figura 38: Desinstalación del equipo y extracción del filtro muestreado



Figura 39: Desajuste de los pernos del portafiltro con la base del trapecio.

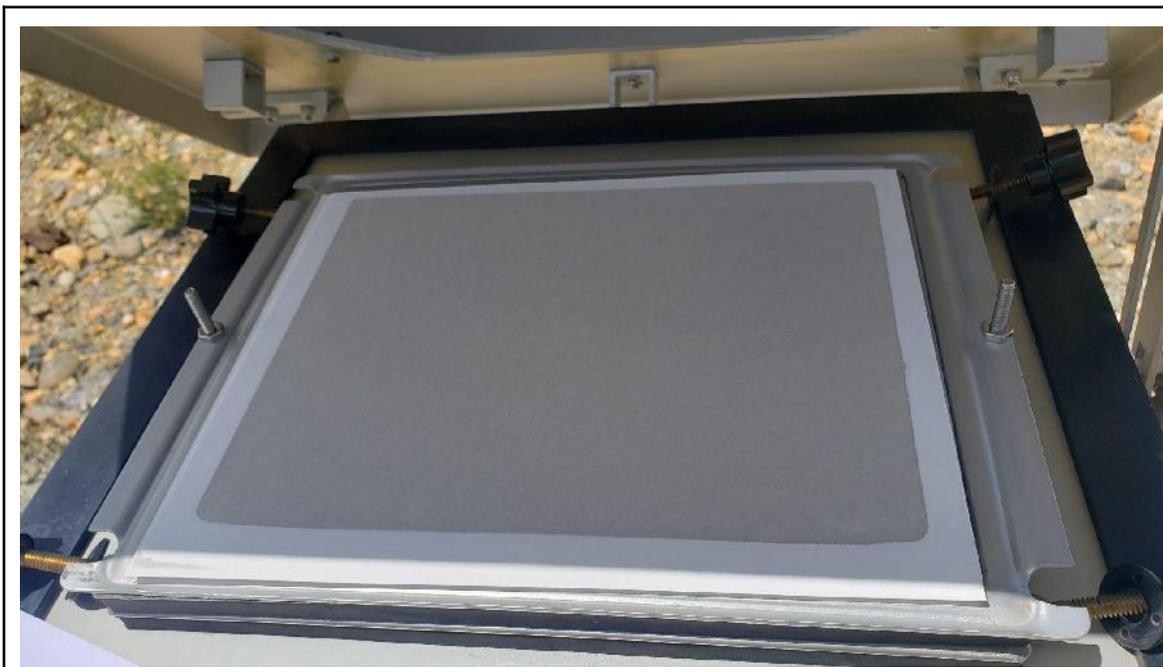


Figura 40: Papel Filtro muestreado por PM_{10} .



Figura 41: Extracción del filtro muestreado.



Figura 42: Muestra del PM_{10} en la estación de muestreo P1-CA - mes de marzo.



Figura 43: Muestra del PM_{10} en la estación de muestreo P2-CA - mes de marzo.



Figura 44: Muestra del PM_{10} en la estación de muestreo P1-CA - mes de junio.



Figura 45: Muestreo instalado en la estación P2-CA - mes de junio.



Figura 46: Extracción del papel filtro con muestra de PM_{2.5}.



Figura 47: Aseguramiento de la muestra en el portafiltro de envío al laboratorio.



Figura 48: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P1-CA del mes de marzo.



Figura 49: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P1-CA del mes de marzo.



Figura 50: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P1-CA del mes de junio.



Figura 51: Muestra de $PM_{2.5}$ en la estación de muestreo P2-CA del mes de junio.



Figura 52: Aseguramiento del equipo estación meteorológica al trípode.

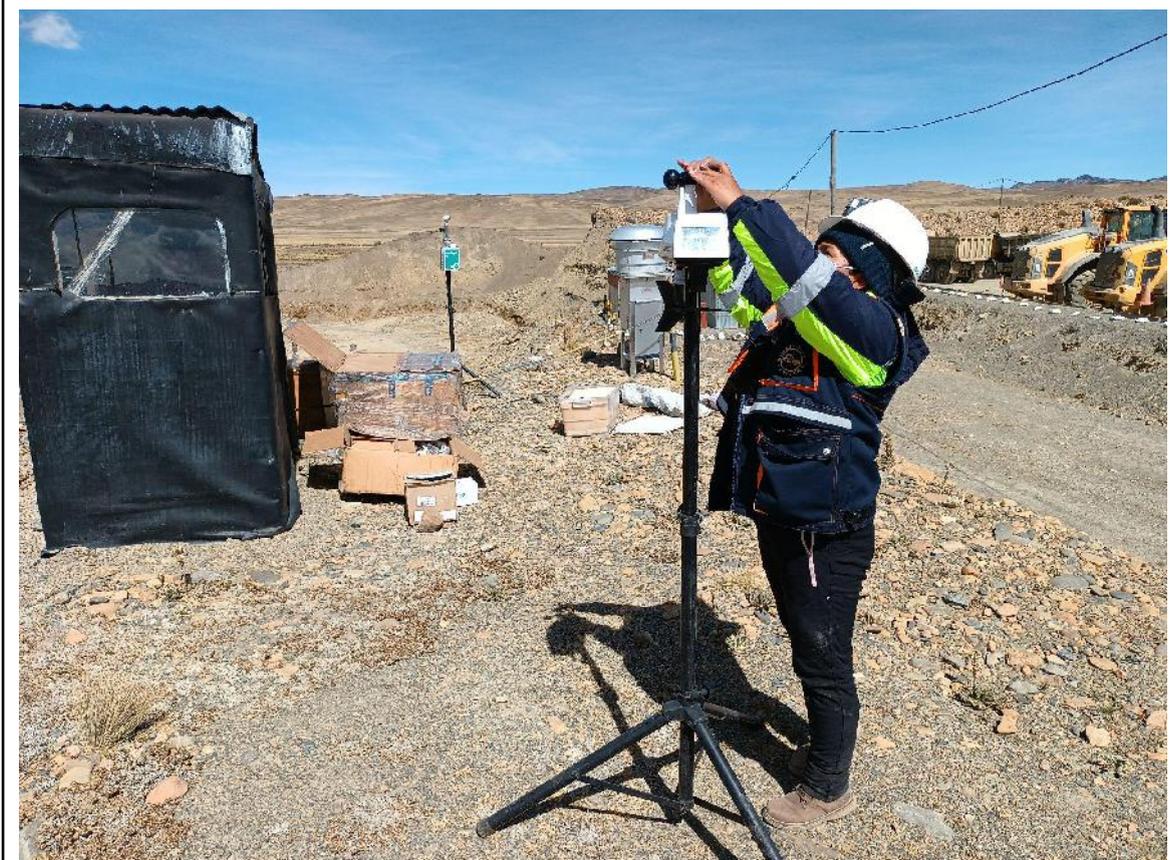


Figura 53: Aseguramiento del anemómetro de la estación meteorológica.



Figura 54: Programación de data logger del equipo meteorológico.

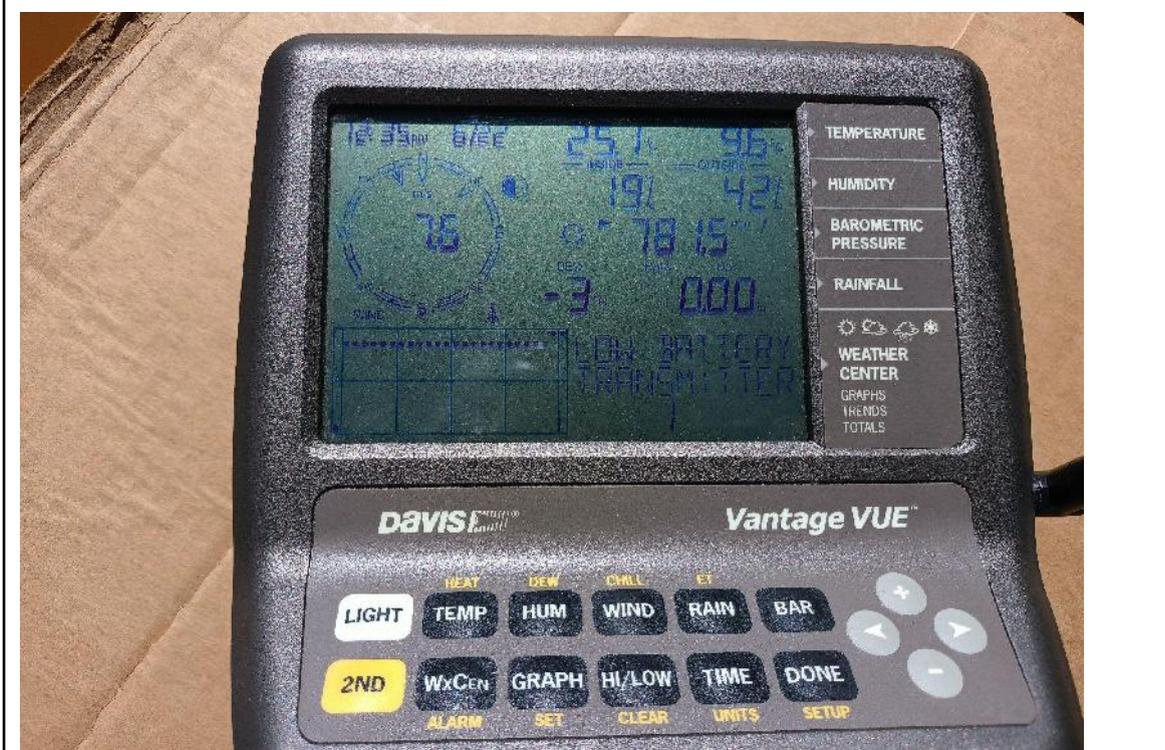


Figura 55: Programación de inicio de registro meteorológico en el data logger.