



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL**



**"EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR
MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS, METALES Y
METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRÁNSITO
VEHICULAR – JULIACA, 2021"**

Bach. Kevin Fidel Quispe Monroy

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesora: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras



Juliaca, 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL**



**"EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR
MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS, METALES Y
METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRÁNSITO
VEHICULAR – JULIACA, 2021"**

Bach. Kevin Fidel Quispe Monroy

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesora: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras



Juliaca, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR
MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS, METALES Y
METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRÁNSITO
VEHICULAR – JULIACA, 2021”**

Bach. Kevin Fidel Quispe Monroy

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesora: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

Juliaca, 2023

Quispe, K. (2022). *Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides en las zonas de alto tránsito vehicular - Juliaca, 2021*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Kevin Fidel Quispe Monroy

TÍTULO: Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides en las zonas de alto tránsito vehicular - Juliaca, 2021

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2023

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (205 pp.)

NOTA: Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal — Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 01-000024-01/Q8

NOTA: Incluye bibliografía

ASESORA: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

PALABRAS CLAVE:

Contaminación atmosférica, material particulado, metales, metaloides.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS, METALES Y METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRÁNSITO VEHICULAR – JULIACA, 2021”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentado por:

Bach. Kevin Fidel Quispe Monroy

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

M.Sc. Hugo Apaza Aquino

PRESIDENTE DE JURADO

M.Sc. Godofredo Huanca Chambi

JURADO (Secretario)

Dr. José Oscar Huanca Frias

JURADO (Vocal)





2º MIEMBRO



3º MIEMBRO



M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras
ASESORA DE TESIS

DEDICATORIA

A Dios por su cuidado y fortaleza que me brinda para seguir adelante ante los diferentes retos de la vida y enseñarme que todo es posible para aquel que tiene fe.

A mis padres Fidel Quispe y Yovana Monroy, por su confianza y sacrificio a lo largo de mi vida, gracias por la motivación y apoyo que me brindaron de poder convertirme en la persona que soy ahora.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, por brindarme sus conocimientos y motivación en mi formación profesional.

A mis amigos por su apoyo incondicional, que siempre estuvieron listos para brindarme todo su apoyo, a mis maestros por sus grandes enseñanzas, lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien, preparado para todos los retos.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado la vida, acompañado a lo largo de mi formación profesional, por ser mi luz en camino y por darme la sabiduría y fortaleza para alcanzar mis objetivos.

A la Universidad Nacional de Juliaca y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, que me brindo todos los recursos necesarios en mi formación profesional.

A mi asesora de Tesis M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras, por el apoyo y soporte en todo el proceso de esta investigación.

A todos los miembros del jurado por las correcciones, motivación y apoyo moral.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN.....	18
ABSTRACT	19
INTRODUCCIÓN.....	20

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática	22
1.2. Formulación del problema	24
1.2.1. Problema general.....	24
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. Objetivos de la investigación	24
1.3.1. Objetivo general	24
1.3.2. Objetivos específicos.....	24
1.4. Hipótesis de investigación	25
1.4.1. Hipótesis general	25
1.4.2. Hipótesis específicas	25
1.5. Justificación de investigación	25

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación	27
2.1.1. Antecedentes internacionales	27
2.1.1. Antecedentes nacionales	28
2.1.2. Antecedentes locales	29
2.2. Bases teóricas.....	30
2.2.1. Contaminación atmosférica.....	30
2.2.2. Material particulado	30
2.2.3. Clasificación del material particulado.....	31
2.2.4. Fuentes primarias y secundarias del material particulado.....	32
2.2.5. Clasificación de fracción o moda del material particulado	34
2.2.6. Moda de material particulado.....	35
2.2.7. Composición química del material particulado.....	36
2.2.8. Metales y metaloides presentes en la atmósfera	37
2.2.9. Temperatura	38
2.2.10. Precipitación pluvial.....	39
2.2.11. Presión atmosférica y vientos.....	39
2.2.12. Rosa de vientos.....	40
2.2.13. Escalas de estudio de dispersión de contaminantes atmosféricos	41
2.3. Marco legal nacional e internacional para PM ₁₀ y otros contaminantes.....	43
2.3.1. Nacional	43
2.3.2. Internacional.....	45
2.4. Efectos en la salud humana por parte de contaminantes atmosféricos	48

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio.....	51
3.1.1. Límites.....	51
3.2. Alcance, tipo y diseño de investigación.....	53
3.3. Nivel de investigación	53
3.4. Unidad de análisis.....	53
3.5. Población de estudio	54
3.6. Tamaño de muestra.....	54
3.7. Materiales y reactivos	58
3.8. Equipos	58
3.9. Procedimiento metodológico	58
3.9.1. Determinación de material particulado menor a 10 micras en aire.....	60
3.9.2. Cuantificación de metales y metaloides del material particulado.....	64
3.9.3. Monitoreo y validación de condiciones meteorológicas.....	66
3.9.4. Análisis de datos.....	67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentraciones de PM ₁₀ en zonas de alto tránsito vehicular	68
4.1.1. Concentraciones de PM ₁₀ en estación seca	68
4.1.2. Concentraciones de PM ₁₀ en estación húmeda.....	71
4.1.3. Concentraciones de PM ₁₀ en estación seca - húmeda	74
4.2. Concentración de metales y metaloides en zonas de alto tránsito vehicular ...	78
4.2.1. Concentraciones de metales y metaloides en estación seca	78

4.2.2. Concentraciones de metales y metaloides en estación húmeda.....	84
4.2.3. Concentraciones de metales y metaloides en estación seca – húmeda.....	90
4.3. Condiciones meteorológicas de zonas de alto tránsito vehicular	92
4.3.1. Condiciones meteorológicas en estación seca.....	93
4.3.2. Condiciones meteorológicas en estación húmeda	98
4.4. Desviación estándar y prueba paramétrica t de student.....	104
4.4.1. Desviación estándar y prueba t de student de PM ₁₀ en estación seca	105
4.4.2. Desviación estándar y prueba t de student de PM ₁₀ en estación húmeda...	107
4.5. Desviación estándar de metales y metaloides.....	109
4.5.1. Desviación estándar de metales y metaloides en estación seca	110
4.5.2. Desviación estándar de metales y metaloides en estación húmeda.....	115
4.6. Correlación de Pearson de PM ₁₀ y condiciones meteorológicas	119
4.6.1. Temperatura.....	119
4.6.2. Precipitación pluvial.....	120
4.6.3. Humedad	121
4.6.4. Velocidad del viento.....	122
4.6.5. Dirección del viento	123
4.6.6. Condiciones meteorológicas en estación seca – húmeda	124

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.6. Conclusiones.....	126
4.7. Recomendaciones	128

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
--	------------

ANEXOS	139
---------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándar nacional de calidad ambiental para aire.....	43
Tabla 2. Guía de la calidad del aire de la OMS	45
Tabla 3. Estándar de calidad del aire de la Comisión Europea	45
Tabla 4. Estándares de calidad de aire de la EPA	46
Tabla 5. Criterios de calidad de aire para metales pesados	47
Tabla 6. Efectos adversos de los contaminantes aéreos sobre el sistema respiratorio	48
Tabla 7. Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos	50
Tabla 8. Límites y orientación del distrito de Juliaca.....	51
Tabla 9. Clasificación de estudio de monitoreo de calidad del aire	53
Tabla 10. Sugerencia de número de estaciones de monitoreo de calidad del aire.....	54
Tabla 11. Muestra de zonas de alto tránsito vehicular	55
Tabla 12. Fechas de monitoreo de PM ₁₀ , metales y metaloides.....	56
Tabla 13. Ubicación de puntos de monitoreo.....	68
Tabla 14. Concentración de PM ₁₀ de la Z.A.V. N°1 en estación seca	69
Tabla 15. Concentración de PM ₁₀ de la Z.A.V. N°2 en estación seca	70
Tabla 16. Concentración de PM ₁₀ de la Z.A.V. N°3 en estación seca	71
Tabla 17. Concentración de PM ₁₀ de la Z.A.V. N°1 en estación húmeda.....	72
Tabla 18. Concentración de PM ₁₀ de la Z.A.V. N°2 en estación húmeda.....	73
Tabla 19. Concentración de PM ₁₀ de la Z.A.V. N°3 en estación húmeda.....	74
Tabla 20. Concentraciones generales de PM ₁₀ en zonas de alto tránsito vehicular.....	75
Tabla 21. Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°1 en estación seca	78
Tabla 22. Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°2 en estación seca	80

Tabla 23. Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°3 en estación seca	82
Tabla 24. Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°1 en estación húmeda	84
Tabla 25. Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°2 en estación húmeda	86
Tabla 26. Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°3 en estación húmeda	88
Tabla 27. Concentraciones de metales y metaloides en zonas de alto tránsito vehicular.....	90
Tabla 28. Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°1 en estación seca.....	96
Tabla 29. Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°2 en estación seca.....	98
Tabla 30. Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°3 en estación húmeda.....	102
Tabla 31. Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°4 en estación húmeda.....	104
Tabla 32. Estadísticos descriptivos para PM ₁₀ en estación seca.....	105
Tabla 33. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para PM ₁₀ en estación seca	106
Tabla 34. Significancia estadística para PM ₁₀ en estación seca.....	106
Tabla 35. Estadísticos descriptivos para PM ₁₀ en estación húmeda.....	107
Tabla 36. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para PM ₁₀ en estación húmeda	108
Tabla 37. Significancia estadística para PM ₁₀ en estación húmeda	109
Tabla 38. Estadísticos descriptivos para cromo en estación seca.....	110
Tabla 39. Estadísticos descriptivos para cobre en estación seca	111
Tabla 40. Estadísticos descriptivos para hierro en estación seca	112
Tabla 41. Estadísticos descriptivos para manganeso en estación seca	113
Tabla 42. Estadísticos descriptivos para zinc en estación seca	114
Tabla 43. Estadísticos descriptivos para cobre en estación húmeda	115
Tabla 44. Estadísticos descriptivos para hierro en estación húmeda.....	116
Tabla 45. Estadísticos descriptivos para manganeso en estación húmeda	117
Tabla 46. Estadísticos descriptivos para zinc en estación húmeda.....	118

Tabla 47. Correlación de Pearson entre concentración de PM_{10} y temperatura.....	120
Tabla 48. Correlación de Pearson entre concentración de PM_{10} y precipitación pluvial	121
Tabla 49. Correlación de Pearson entre concentración de PM_{10} y humedad	122
Tabla 50. Correlación de Pearson entre concentración de PM_{10} y velocidad del viento.....	123
Tabla 51. Correlación de Pearson entre concentración de PM_{10} y dirección del viento	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tamaño del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$	31
Figura 2. Tamaño del material particulado PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{0.1}$	32
Figura 3. Clasificación de las fuentes de material particulado de origen antrópico	34
Figura 4. Distribución de modas según el tamaño de partícula	35
Figura 5. Composición química de materia particulada atmosférica	37
Figura 6. Representación de la variación de la radiación solar y la temperatura	39
Figura 7. Gradiente de presión y el viento	40
Figura 8. Rosa de vientos	41
Figura 9. Clasificación de escalas de estudio	42
Figura 10. Rosa de vientos del distrito de Juliaca	56
Figura 11. Estaciones de monitoreo de calidad de aire para PM_{10}	57
Figura 12. Flujograma de actividades generales	59
Figura 13. Flujograma de pre-muestreo	60
Figura 14. Flujograma de muestreo	62
Figura 15. Flujograma de post-muestreo	63
Figura 16. Esquema de un sistema de espectroscopia ICP-OES	64
Figura 17. Determinación de metales por ICP-OES	65
Figura 18. Concentración de PM_{10} de la ZAV 1 en estación seca	69
Figura 19. Concentración de PM_{10} de la ZAV 2 en estación seca	70
Figura 20. Concentración de PM_{10} de la ZAV 3 en estación seca	71
Figura 21. Concentración de PM_{10} de la ZAV 1 en estación húmeda	72
Figura 22. Concentración de PM_{10} de la ZAV 2 en estación	73

Figura 23. Concentración de PM ₁₀ de la ZAV 3 en estación húmeda.....	74
Figura 24. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 24/08/21 en estación seca.....	79
Figura 25. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 30/08/21 en estación seca.....	79
Figura 26. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 25/08/21 en estación seca.....	81
Figura 27. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 31/08/21 en estación seca.....	81
Figura 28. Concentración de metales y metaloides ZAV 3 - 26/08/21 en estación seca.....	83
Figura 29. Concentración de metales y metaloides ZAV 3 - 01/09/21 en estación seca.....	83
Figura 30. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 14/12/21 en estación húmeda.....	85
Figura 31. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 20/12/21 en estación húmeda.....	85
Figura 32. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 15/12/21 en estación húmeda.....	87
Figura 33. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 21/12/21 en estación húmeda.....	87
Figura 34. Concentración de metales y metaloides ZAV 3 - 16/12/21 en estación húmeda.....	89
Figura 35. Concentración de metales y metaloides ZAV 3- 22/12/21 en estación húmeda.....	89
Figura 36. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°1	93
Figura 37. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°2	94
Figura 38. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°1	94
Figura 39. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°2.....	95
Figura 40. Comportamiento del viento en ZAVs de campaña de monitoreo N°1	96
Figura 41. Comportamiento del viento en ZAVs de campaña de monitoreo N°2	97
Figura 42. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°3	99
Figura 43. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°4	99
Figura 44. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°3.....	100
Figura 45. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°4.....	101
Figura 46. Comportamiento del viento en campaña de monitoreo N°3	101

Figura 47. Comportamiento del viento en ZAVs de campaña de monitoreo N°4	103
Figura 48. Gráfico Q-Q normal para concentración de PM ₁₀ en estación seca.....	105
Figura 49. Gráfico Q-Q normal para concentración de PM ₁₀ en estación húmeda.....	108
Figura 50. Gráfico Q-Q normal para concentración de Cr en estación seca	111
Figura 51. Gráfico Q-Q normal para concentración de Cu en estación seca.....	112
Figura 52. Gráfico Q-Q normal para concentración de Fe en estación seca	113
Figura 53. Gráfico Q-Q normal para concentración de Mn en estación seca.....	114
Figura 54. Gráfico Q-Q normal para concentración de Zn en estación seca.....	115
Figura 55. Gráfico Q-Q normal para concentración de Cu en estación húmeda.....	116
Figura 56. Gráfico Q-Q normal para concentración de Fe en estación húmeda	117
Figura 57. Gráfico Q-Q normal para concentración de Mn en estación húmeda.....	118
Figura 58. Gráfico Q-Q normal para concentración de Zn en estación húmeda.....	119
Figura 59. Gráfico de dispersión entre PM ₁₀ y temperatura.....	120
Figura 60. Gráfico de dispersión entre PM ₁₀ y precipitación pluvial	121
Figura 61. Gráfico de dispersión entre PM ₁₀ y humedad	122
Figura 62. Gráfico de dispersión entre PM ₁₀ y velocidad del viento	123
Figura 63. Gráfico de dispersión entre PM ₁₀ y dirección del viento	124

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables	139
Anexo 2. Criterios técnicos para la instalación para los equipos de monitoreo	141
Anexo 3. Muestreador de alto volumen de PM ₁₀	142
Anexo 4. Fotografías de monitoreos de PM ₁₀ en zonas de alto tránsito vehicular	143
Anexo 5. Cadena de custodia de primera campaña de monitoreo	152
Anexo 6. Cadena de custodia de segunda campaña de monitoreo	153
Anexo 7. Cadena de custodia de tercera campaña de monitoreo	154
Anexo 8. Cadena de custodia de cuarta campaña de monitoreo	155
Anexo 9. Informe de ensayo de primera campaña de monitoreo	156
Anexo 10. Informe de ensayo de segunda campaña de monitoreo	162
Anexo 11. Informe de ensayo de tercera campaña de monitoreo	168
Anexo 12. Informe de ensayo de cuarta campaña de monitoreo	176
Anexo 13. Certificados de calibración de estación meteorológica en estación seca	183
Anexo 14. Certificados de calibración de estación meteorológica en estación húmeda	185
Anexo 15. Certificado de calibración de muestreador High Vol para estación seca	186
Anexo 16. Certificado de calibración de muestreador High Vol para estación húmeda	188
Anexo 17. Certificado de calibración de motor Venturi de High Vol	190
Anexo 18. Certificado de acreditación de laboratorio - IAS	192
Anexo 19. Certificados de acreditación de laboratorio - INACAL	193
Anexo 20. Ilustraciones de modelación de rosa de vientos con datos del SENAMHI	194
Anexo 21. Rosas de vientos del distrito de Juliaca	198
Anexo 22. Mapa de dispersión de PM ₁₀ en estación seca	202

Anexo 23. Mapa de dispersión de PM ₁₀ en estación húmeda.....	203
Anexo 24. Concentraciones de Cobre (µg/m ³) en estación seca y húmeda	204
Anexo 25. Concentraciones de Hierro (µg/m ³) en estación seca y húmeda.....	204
Anexo 26. Concentraciones de Manganeso (µg/m ³) en estación seca y húmeda.....	205
Anexo 27. Concentraciones de Zinc (µg/m ³) en estación seca y húmeda.....	205

RESUMEN

En los últimos años, la atmósfera se degrada globalmente con partículas menores a 10 micras (PM_{10}), metales y metaloides debido al parque automotor. Se evaluó la contaminación atmosférica por PM_{10} , metales y metaloides de las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca. La investigación es cuantitativa de diseño transversal no experimental, con población de estudio de la cuenca atmosférica de Juliaca y un tamaño de muestra de 3 zonas de alto tránsito vehicular con 4 puntos de monitoreo, en estación seca y húmeda. La determinación de PM_{10} se realizó mediante el método gravimétrico, metales y metaloides mediante espectroscopia de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) y las variables meteorológicas con una estación meteorológica Vantage Pro 2. Los resultados indican un valor promedio de PM_{10} para estación seca de $107.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y húmeda con $63.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los componentes químicos que superaron el límite de cuantificación del método registraron concentraciones promedio para Cu $0.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $1.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $4.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en condiciones meteorológicas muestran una correlación inversa de PM_{10} con valor probabilístico en precipitación pluvial de 0.046 y humedad de 0, por otro lado, para temperatura 0.19, velocidad del viento 0.82 y dirección del viento 0.66, los cuales no poseen correlación con el PM_{10} . Se concluye que existen diferencias de concentración de PM_{10} con un valor probabilístico en estación seca de 0.033 y húmeda 0.001, donde, los valores son mayores al estándar internacional establecido por la Organización Mundial de la Salud ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sin embargo, solo en estación húmeda las concentraciones de PM_{10} no superan el estándar de la legislación nacional ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), así mismo, en metales y metaloides poseen diferencia de concentraciones que no exceden los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, material particulado, metales, metaloides.

ABSTRACT

In recent years, the atmosphere is globally degraded with particles smaller than 10 microns (PM_{10}), metals and metalloids due to the vehicle fleet. The atmospheric contamination by PM_{10} , metals and metalloids was evaluated in areas of high vehicular traffic in the district of Juliaca. The research is quantitative with a non-experimental cross-sectional design, with a study population of the Juliaca air basin and a sample size of 3 areas of high vehicular traffic with 4 monitoring points, in dry and wet seasons. PM_{10} was determined by the gravimetric method, metals and metalloids by inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) and meteorological variables with a Vantage Pro 2 meteorological station. The results indicate an average PM_{10} value for dry season of $107.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and wet with $63.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, the chemical components that exceeded the quantification limit of the method recorded average concentrations for Cu $0.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $1.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and Zn $4.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and in meteorological conditions show an inverse correlation of PM_{10} with probabilistic value in pluvial precipitation of 0.046 and humidity of 0, on the other hand, for temperature 0.19, wind speed 0.82 and wind direction 0.66, which have no correlation with PM_{10} . It is concluded that there are differences in PM_{10} concentration with a probabilistic value in dry season of 0.033 and wet season of 0.001, where the values are higher than the international standard established by the World Health Organization ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), however, only in wet season the PM_{10} concentrations do not exceed the standard of the national legislation ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), likewise, in metals and metalloids there are differences in concentrations that do not exceed the international criteria for ambient air quality established by the Ministry of the Environment of Ontario/Canada.

Key words: Air pollution, particulate matter, metals, metalloids.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica se ha incrementado tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo desde la industrialización y la urbanización (Yousaf et al., 2021). A lo largo de la historia, el aumento de la contaminación del aire ha tenido importantes impactos en la salud, que van desde la simple incomodidad hasta la hospitalización y la muerte (Aldunate et al., 2006), a la vez que puede ocasionar cambios en el clima por su influencia en el balance radiactivo terrestre (Querol, 2008).

Una abundante presencia de partículas en la atmosfera empeora la calidad del aire y aumenta sus impactos dañinos (Sasmita et al., 2022), se estima que el material particulado (PM) es el principal contaminante del aire responsable de los efectos negativos para la salud (Timmermans et al., 2022), especialmente el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} , se inhalan fácilmente y se depositan en los órganos respiratorios como la tráquea, los bronquios y los alvéolos (Bai et al., 2022). Se evidencia una fuerte correlación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y el aumento de la morbilidad diaria y a largo plazo (OMS, 2021).

La contaminación por el transporte a gran escala de metales pesados en la atmósfera es motivo de preocupación mundial debido a su capacidad para unirse a las masas de aire; debido a los efectos de recirculación del viento, estos metales a menudo se depositan en lugares alejados de su fuente (Imperato et al., 2003), los cuales son elementos que agotan la capa de ozono (Chan & Wong, 2013). Los metales Pb, Cu, Ni, Cr, Cd y Fe encontrados en las muestras de TSP se atribuyeron principalmente al tráfico vehicular, mientras que los metales como Fe, Al, Pb, Cu y Cr se encontraron en diferentes tipos de fuentes como suelo, tráfico vehicular e industrialmente (Fernández et al., 2000).

En el distrito de Juliaca se demostró que las concentraciones más altas de material particulado menor a 10 micras se presentan en zonas de alto tránsito vehicular, donde, en áreas que poseen una rotonda (Salida Cusco), donde, presentan concentraciones de PM_{10} que ascienden a $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$, excediendo el estándar nacional e internacional (Hanco, 2017), así mismo, el aporte anual de material particulado (MP) por fuentes móviles (buses, camiones, combis, autos particulares y vehículos menores) posee un valor de 42.5 t/año (MPSR, 2016), los valores estimados para las unidades vehiculares en emisión de MP mostraron que las combis emiten 12 t/año, buses y combis 5.6 t/año, autos particulares 2.2 t/año, taxi 1.4 t/año, camión 15.8 t/año y motos con 5.6 t/año (MINAM, 2015).

Por tanto, nuestro estudio tiene como objetivo general, evaluar la contaminación atmosférica por material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca y los objetivos específicos como determinar la concentración de material particulado menor a 10 micras, cuantificar las concentraciones de metales y metaloides y establecer la correlación de las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación pluvial, humedad, velocidad y dirección del viento) con las concentraciones material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca. El informe final de esta investigación está estructurado de la siguiente manera:

El capítulo I describe el planteamiento del problema, objetivos de investigación y justificación.

El capítulo II trata los antecedentes y muestra el marco teórico de las variables de material particulado menor a 10 micras, metales, metaloides y condiciones meteorológicas.

El capítulo III explica la metodología de la ejecución de la investigación, el uso de materiales y equipos, así como, la descripción de cómo se llevó a cabo el estudio.

El capítulo IV define y discute los resultados, así como la comparación con otros estudios investigación sobre material particulado menor a 10 micras, metales, metaloides y condiciones meteorológicas.

Finalmente, el capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

En los últimos años en varios países se ha incrementado la contaminación atmosférica (Omidvarborna et al., 2018), debido a, el incremento de la densidad poblacional (Chen et al., 2020), donde, el material particulado (MP) suspendido en el aire producen efectos negativos en la salud pública tanto en los países desarrollados como en desarrollo (OMS, 2005). En la actual coyuntura el NO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀ en la India se redujo su concentración debido a la pandemia de COVID-19, para el SO₂ se mostró cambios insignificantes y se observó el aumento del O₃ (Sharma et al., 2020), dependiendo las condiciones propias de un medio, el incremento de cada contaminante pueden alcanzar niveles altos (Kanawade et al., 2020), donde, las condiciones meteorológicas, topografía y la quema de biomasa (BB) emiten contaminantes criterio y compuestos químicos (metales y metaloides) que afectan seriamente la salud humana y el clima global (Zhou et al., 2019), la magnitud en la que se puede dar la contaminación por PM₁₀ es debido a una mala combustión de las unidades vehiculares, así como, del deficiente mantenimiento que estos poseen (Talbi et al., 2018).

El material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides, traen efectos negativos en la salud de las personas (Amoatey et al., 2019), a causa de, la interacción de la atmosfera circundante con la partícula, introduciéndose elementos químicos por actividades antropogénicas y de fuentes naturales (Manahan, 2007), de modo que, existe una relación temporal entre la exposición a estos contaminantes atmosféricos y el desarrollo de enfermedades en la salud de las personas (Miguel et al., 2020), es decir, estos contaminantes pueden provocar la mortalidad de personas expuesta en potenciales cohortes urbanos (Fischer et al., 2020), puesto que, están asociadas con la glucosa en la sangre y la prevalencia de prediabetes/diabetes (Curto et al., 2019), el desarrollo de investigaciones en determinación de concentración de contaminantes atmosféricos es fundamental para una adecuada gestión de la calidad del aire (Afzali et al., 2017).

La contaminación atmosférica por material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), se presenta en zonas de alto tránsito vehicular de las ciudades, como en los establecimientos comerciales (Arpita et al., 2020), en relación a la composición química del PM_{10} , se tienen niveles de concentración de metales principales (Si, Na, Mg, Al, K, Ca y Fe), sub-metales principales (Cr, Ni, Zn, Sr, Ba y Pb) y metales secundarios (Mn, Cu, Ag, Cd, V y Sb) de los cuales estos dos últimos se encuentran asociados directamente a la actividad antropogénica (Lin et al., 2005), siendo los metales Pb, Cu, Ni, Cr, Cd y Fe encontrados en las muestras de TSP se atribuyeron principalmente al tráfico vehicular (Fernández et al., 2000).

Varias ciudades en el mundo presentan contaminación atmosférica en las zonas de alto tránsito vehicular, afectando la salud de las personas que transitan por estas zonas. En el sur del Perú, se presenta un ejemplo de esta situación, en la ciudad de Juliaca 276, 110 habitantes son afectados por la contaminación de material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides. En ese sentido en esta investigación se determinó la concentración de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), cuantificó las concentraciones de metales y metaloides presentes en el PM_{10} y se estableció la correlación de las condiciones meteorológicas con las concentraciones de PM_{10} en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son los niveles de concentraciones de material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca?

1.2.2. Problemas específicos

- ❖ ¿Cuáles son los niveles de concentraciones de material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca?
- ❖ ¿Cuáles son los niveles de concentraciones metales y metaloides del material particulado menor a 10 micras, en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca?
- ❖ ¿Cuáles son las condiciones meteorológicas que se relacionan con las concentraciones de material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la contaminación atmosférica por material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Determinar la concentración de material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.
- ❖ Cuantificar las concentraciones de metales y metaloides del material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.
- ❖ Establecer la correlación de las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación pluvial, humedad, velocidad y dirección del viento) con las concentraciones material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.

1.4. Hipótesis de investigación

1.4.1. Hipótesis general

Existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides, que exceden el estándar nacional e internacional de calidad ambiental para aire en zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.

1.4.2. Hipótesis específicas

- ❖ Existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras durante la estación seca y húmeda en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca.
- ❖ Existe diferencia de concentraciones de metales y metaloides del material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.
- ❖ Existe correlación de las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación pluvial, humedad, velocidad y dirección del viento) en las concentraciones de material particulado menor a 10 micras en el distrito de Juliaca.

1.5. Justificación de investigación

El desarrollo de actividades antropogénicas ocasiona el deterioro de la calidad del aire, donde, en la mayoría de las áreas urbanas, las fuentes móviles (vehículos automotores y aviones) son los principales generadores de las emisiones de material particulado menor a 10 micras (MPSR, 2016), así mismo como la presencia de transporte ferroviario. Muchos pobladores de la ciudad de Juliaca de la provincia de San Román, Región Puno, se encuentran expuestos a contaminantes atmosféricos de material particulado menor a 10 micras, presentado mayormente en las zonas de alto tránsito vehicular (Hanco, 2017).

La realización del presente proyecto investigación en el ámbito ambiental es muy necesaria, debido a, la alta contaminación atmosférica por el material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), inexistente información de metales y metaloides y el conocimiento desactualizado sobre el estado de la calidad del aire en tiempo de pandemia COVID-19 en la cuenca atmosférica de la ciudad de Juliaca, cabe destacar, que existe un aporte anual en gran magnitud de material particulado (MP) que asciende a 42.5 t/año (MPSR, 2016), siendo así, en combis 12 t/año, buses y combis 5.6 t/año, autos particulares 2.2 t/año, taxi 1.4 t/año, camión 15.8 t/año y motos con 5.6 t/año (MINAM, 2015).

Los resultados de la presente investigación son útiles para el ámbito social, puesto que, generó información de las concentraciones de: PM_{10} , metales y metaloides en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca, la cual beneficiará a entidades públicas (Municipalidad Provincial de San Román, Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Instituto Geofísico del Perú (IGP), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y Ministerio del Ambiente), entidades privadas (Asociaciones de investigación científica y Círculos de investigación de universidades y colegios de la región Puno), población de Juliaca y a la comunidad científica internacional. En el ámbito económico el estudio beneficia en la toma de decisiones y estrategias de gestión, así como, la promoción de empresas que puedan brindar soluciones definitivas para reducir las emisiones de material particulado menor a 10 micras en zonas de alto tránsito vehicular.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Sharma et al. (2020), realizaron la investigación de las concentraciones de seis contaminantes ($PM_{2.5}$, PM_{10} , CO, NO_2 , O_3 y SO_2) presentes en la atmosfera de la India, en la cual el periodo de evaluación se desarrolló del 16 de marzo al 14 de abril del 2020, cuando las actividades humanas se vieron restringidas, en el estudio se observaron que, en la India durante el período de bloqueo económico, se dio alrededor del 18% de disminución de $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO y NO_2 , además, hubo un aumento del 17 % en O_3 y cambios insignificantes en SO_2 .

Zhou et al. (2019), realizaron la caracterización de las variaciones horarias de los contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO y O_3) después, del episodio de contaminación severa (PE) el cual fue ocasionado por la quema de biomasa (BB) en la cuenca meridional de Sichuan (SSB), sus resultados mostraron que la contaminación intensiva por BB, condiciones meteorológicas estables, y la topografía de la cuenca causaron esta severa PE regional en la SSB, donde, el valor máximo para material particulado a 10 micras fue de $578 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la noche.

Curto et al. (2019), evaluaron la asociación de los niveles residenciales y personales de material particulado ($PM_{2.5}$) y carbono negro (BC) con la glucosa en sangre en la condición de diabético entre los residentes de 28 aldeas periurbanas del sur de la India, donde establecieron que la media (DE) residencial de $PM_{2.5}$ y BC fue de $(32.9 \pm 2.6) \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $(2.5 \pm 2.6) \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente; las exposiciones personales a $PM_{2.5}$ y BC fueron de $(54.5 \pm 11.5) \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $(5.8 \pm 2.5) \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. El promedio (SD) de glucosa en sangre en ayunas fue de $(5.3 \pm 1.3) \text{mmol}/\text{l}$, el 16% de los participantes tenía prediabetes y el 5.5% tenía diabetes, de lo que infirieron que el $PM_{2.5}$ ambiental y personal están asociados con niveles altos de glucosa.

Talbi et al. (2018), determinaron las concentraciones de partículas inferiores a 1 μm , 2.5 μm , 10 μm y su contenido de metales y metaloides en dos estaciones diferentes, urbanas y al borde de la carretera en Argelia, del cual obtuvieron las concentraciones de PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} en el borde de la carretera variaron de 13.46 a 25.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20.82 - 49.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 45.90-77.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, así mismo determinaron metales y metaloides como: Sc, Mo, Se, Cr, As, Pb, Sr, Cu, Mn, Ba, Fe y Ca, de los cuales Cu, Mn, Ba, Fe y Ca son los elementos presentes en el PM_{10} en zonas vehiculares y el ámbito urbano con concentraciones mayores a 1024 ng/m^3 , a diferencia de Sc, Mo, Se, Cr, As y Pb con concentraciones menores a 512 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cruz et al. (2013), evaluaron los metales: Pb, Cd, Ni, Cu y Cr de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, mediante espectrometría de absorción atómica por flama (Perkin-Elmer modelo 3110), en el que los valores más alto de Pb es 0.081 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ni con 0.012 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cu con 0.045 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cr con 0.0008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Cd con (<0.036 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) los cuales se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles señalados en las normas internaciones como de la Agencia Europea del Medio Ambiente, NOM-026-SSA1-1993 y de la Comisión de las Comunidad Europeas, lo cual no pone en riesgo a la salud de las personas.

2.1.1. Antecedentes nacionales

Vara, M. (2017), analizaron la calidad del aire atmosférico que respira la población de la ciudad del Cusco, donde, los resultados obtenidos de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), fueron en la estación de Limacpampa con 25.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estación de Av. la cultura con 57.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la estación de la calle Ayacucho de 31.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los mismos, que están por debajo del estándar de la calidad del aire (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} en 24 h), así mismo cuantificaron su composición química por metales pesados, como plomo de 0.0064 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aluminio 11.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y cadmio 0.0004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cuyo comportamiento de estos elementos químicos pone en riesgo la salud de las personas.

Rojas y Huaman (2017), cuantificaron el material particulado en fracción respirable en el distrito de Jesús María en construcciones aledañas durante el año 2015 y compararon con las leyes actuales para verificar si se encontraban dentro del límite permitido, de manera que, el material particulado (PM) en la fracción respirable sobrepasa el límite máximo permisible y por lo tanto genera contaminación atmosférica.

Paccosonco, L. (2019), determinó el material particulado menor a 10 micras y su composición química en la cuenca atmosférica del distrito de Ilo – Moquegua, los cuales superaron la normativa nacional en el centro de educación N° 341 con $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así mismo, también superó la normativa de la OMS de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, además la composición química del material particulado PM_{10} , se encontraron metales y metaloides como: Fe, Cu, Mn, Pb, Cd, As, Se, Zn y Ni que tuvieron mayor concentraciones a comparación de: Be, Co, Cr, Hg, Mo, Sb y Li que no sobrepasaron el límite de cuantificación de análisis en laboratorio, no se sobrepasó el límite establecido por el ECA nacional para Pb, y la norma internacional Canadiense /Ontario.

2.1.2. Antecedentes locales

Hanco, A. (2017), determinó la concentración del PM_{10} en tres zonas de la ciudad de Juliaca, teniendo así: (CA-O1) Salida Arequipa $37.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (CA-O2) Salida Lampa – ladrillera $23.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (CA-O3) Urb. Santa Adriana – Aeropuerto $46.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (CA-O4) Cerro Pocracasi – Salida Cuzco Norte $7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (CA-O5) óvalo Salida Cusco $103.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (CA-O6) Salida Huancané $66.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (CA-O7) Salida Coata $49.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (CA-O8) Salida Puno - zona Industrial Taparachi $33.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y (CA-O9) Plaza Bolognesi $29.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el más crítico en el óvalo de Salida a Cusco que excede el estándar nacional de calidad ambiental de aire para PM_{10} .

MPSR (2016), determinaron la concentración de contaminantes atmosféricos en fuentes móviles (buses, camiones, combis, autos particulares y vehículos menores) de la cuenca atmosférica de la provincia de San Román, de los cuales: monóxido de carbono (CO) con 2980.4 t/año , compuestos orgánicos volátiles (COV) con 876.60 t/año y los óxidos de nitrógeno (NO) con 153.88 t/año , material particulado (PM) con 42.5 t/año y SO_x con 2.1 t/año .

GT-GESTA (2015), desarrollaron el “Plan de acción para la mejora de la calidad del aire en la zona de atención prioritaria de la cuenca atmosférica de San Román”, en el cual realizaron un modelamiento de las emisiones vehiculares de material particulado (PM) en general, teniendo en cuenta los factores de emisión, actividad vehicular y la distribución de la flota vehicular, donde estimaron que las combis emiten 12 t/año, buses y combis 5.6 t/año, autos particulares 2.2 t/año, taxi 1.4 t/año, camión 15.8 t/año y motos con 5.6 t/año.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación atmosférica

Es la presencia en la atmósfera de uno o varios contaminantes o en sus combinaciones, en cantidades y duraciones que puedan afectar la vida de los seres vivos (Wark & Warner, 1994). Estos contaminantes pueden ser introducidos a la atmósfera por causas naturales o por la acción del hombre (Agirre, 2006), según normas nacionales e internacionales, se ha denominado a un grupo de especies químicas como contaminantes atmosféricos criterio debido a que estas son utilizadas para evaluar la calidad del aire (Ramiro et al., 2015). En el Perú son considerados contaminantes criterio el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃), hidrógeno sulfurado (H₂S) y el material particulado (PM) (SENAMHI, 2011).

2.2.2. Material particulado

Son partículas sólidas y líquidas que son suspendidas en la atmósfera y cuyos tamaños oscilan entre 2×10^{-4} y 5×10^2 (Porta et al., 2014), la cual puede ser dispersada y condensada, como por ejemplo el hollín de diésel, polvo de vías y las partículas resultantes de procesos productivos (Arciniégas, 2012), con relación a su tamaño, algunas partículas son lo suficientemente grandes y oscuras como para observarlas a simple vista, otras son pequeñas que solo pueden detectarse mediante un microscopio electrónico, en la Figura 1 podemos observar la comparación de tamaños de las partículas de PM₁₀ y PM_{2.5} (EPA, 2017), donde, las dimensiones del material particulado de 2.5 y 10 micras, son mucho menores en medida que el cabello humano.

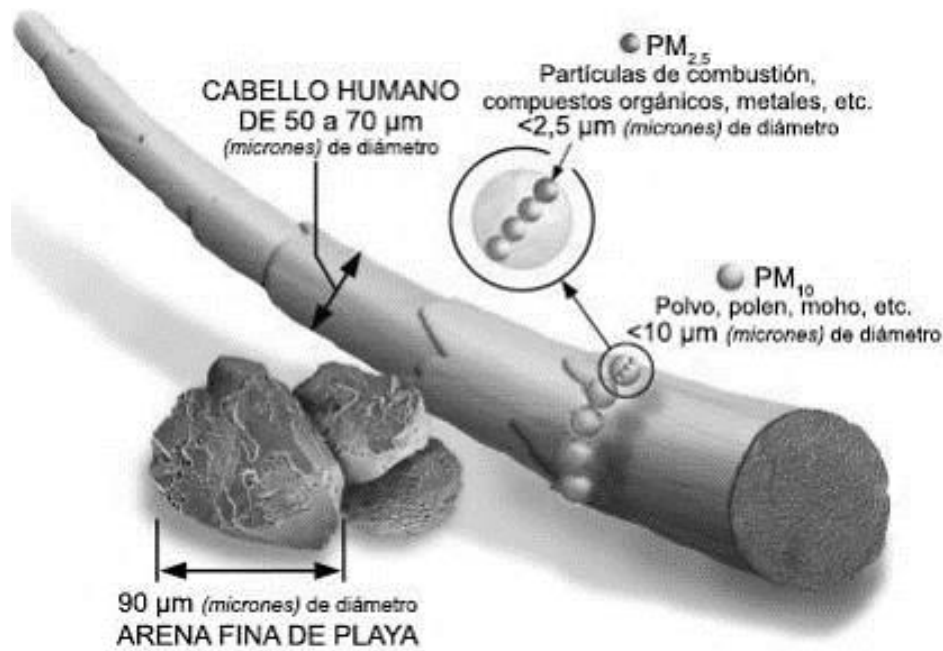


Figura 1. Tamaño del material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}

Fuente: EPA, 2017

2.2.3. Clasificación del material particulado

Se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de la partícula, el cual es igual al diámetro de una partícula esférica con densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal que alcanza, debido a, la fuerza de arrastre, considerada bajo condiciones de temperatura, presión y humedad existentes, independientemente de su forma, tamaño o densidad (CAFE, 2004), en la Figura 2 se representa la diferencia de tamaños que existen entre el cabello humano y el material particulado (CARB, 2015). Según la clasificación reportado en la literatura, el estudio realizado por SEMARNAT & INECC (2013) lo cataloga de la siguiente forma:

- ❖ **Partículas totales en suspensión (PTS):** Son partículas con diámetro aerodinámico menores a 50 micras, con capacidad para permanecer suspendidas en el aire, este no es buen indicador de exposición relativa a la salud, debido a, que no pueden ingresar al sistema respiratorio humano (SEMARNAT & INECC, 2013).

- ❖ **PM₁₀**: Incluyen a las partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras, que son consideradas indicadores de exposición relativa a la salud, debido a, que pueden penetrar el sistema respiratorio y llegar hasta los conductos superiores del pulmón (bronquios), denominadas también partículas gruesas comprendidas entre 10 y 2.5 micras (SEMARNAT & INECC, 2013).
- ❖ **PM_{2.5}**: Incluyen a las partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras, que son consideradas indicadores de exposición relativa a la salud debido a que pueden penetrar en el sistema respiratorio y llegar hasta los conductos más bajos del pulmón (alveolos), denominadas también partículas finas (SEMARNAT & INECC, 2013).

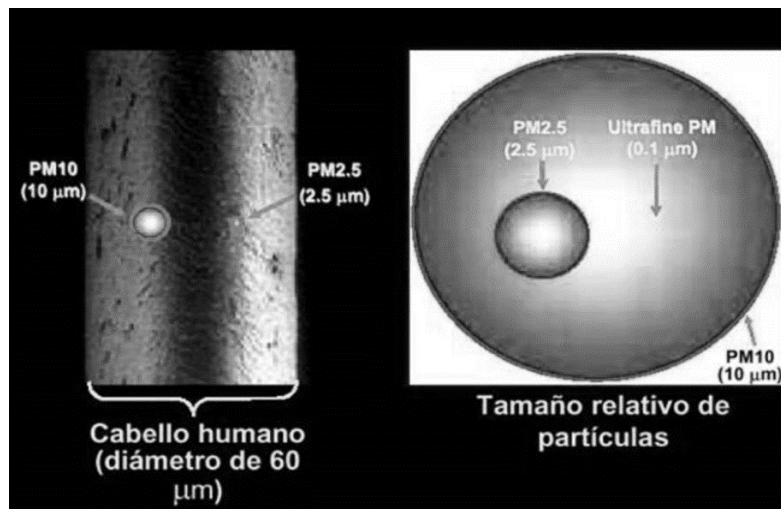


Figura 2. Tamaño del material particulado PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{0.1}

Fuente: CARB, 2015.

2.2.4. Fuentes primarias y secundarias del material particulado

a. Fuentes primarias

Jorquera González, H. (2015), afirma que las fuentes primarias de material antropogénico de PM₁₀ se dan en la combustión en fuentes estacionarias y móviles, quema de biomasa y residuos, las naturales se dan por: erosión por viento, incendios forestales, aerosol marino y erupciones volcánicas, a su vez estas emisiones de fuentes para material particulado se pueden clasificar en:

- ❖ **Emisión fugitiva natural:** Es el polvo suspendido por el viento, principal componente natural del aerosol atmosférico, especialmente en zonas áridas o semiáridas, originado por suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento (Jorquera Gonzáles, 2015).
- ❖ **Emisión fugitiva antropogénica:** Son emisiones de polvo resuspendido o polvo fugitivo fruto de la actividad humana, estos son difíciles de cuantificar (corresponden a las emisiones provenientes de las calles pavimentadas y sin pavimentar, de la construcción y demolición, de la agricultura, manejo de materiales, etc.) partículas gruesas (Jorquera Gonzáles, 2015).
- ❖ **Fuentes fijas:** Son aquellas que incluyen el uso de combustibles fósiles en actividades industriales como por ejemplo de generación termoeléctrica, en calefacción comercial y residencial, etc, fuentes móviles, emisiones provenientes de los gases de escape de los vehículos al polvo resuspendido por los vehículos, y otros componentes originados por desgaste de frenos y partes metálicas, desgaste de neumáticos, etc (Jorquera Gonzáles, 2015).

b. Fuentes secundarias

El material particulado secundario, es un componente importante de la masa total de partículas suspendidas, formado principalmente por sulfatos y nitratos, originados en reacciones de conversión de gases a partículas, como: partículas de sulfatos secundarios, partículas de nitratos secundarios, y aerosoles secundarios orgánicos (Jorquera Gonzáles, 2015), así mismo, en la Figura 3 se clasifica las fuentes de emisión de material particulado por acciones naturales y antrópicas (Allen, 2002), se puede señalar, que existen dos fuentes de material particulado de origen antrópico que dan origen a la contaminación atmosférica.

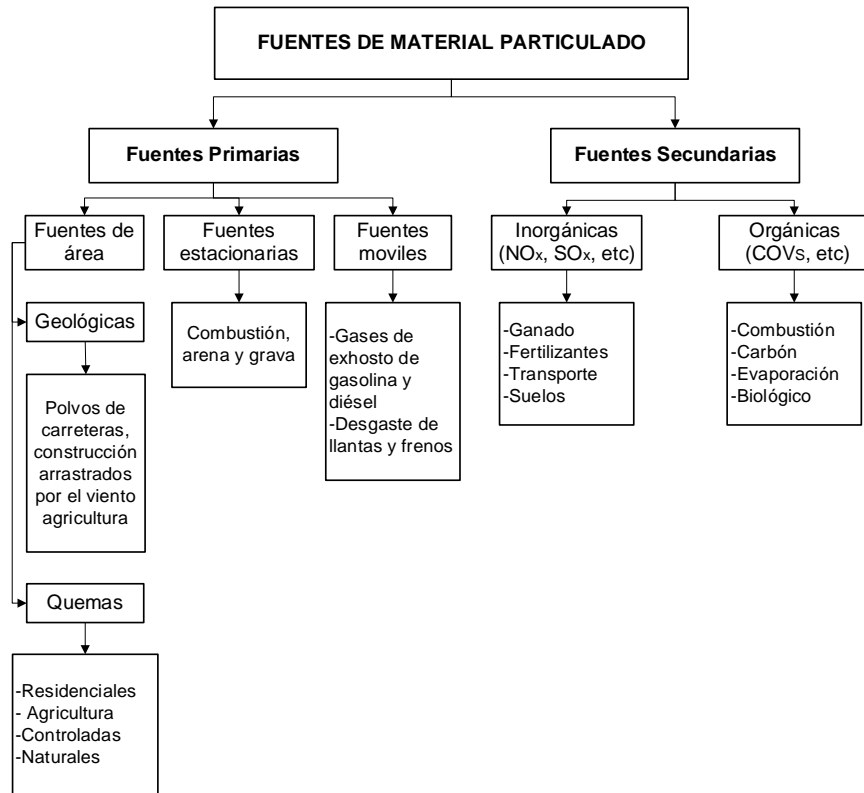


Figura 3. Clasificación de las fuentes de material particulado de origen antrópico

Fuente: Allen, 2002

2.2.5. Clasificación de fracción o moda del material particulado

El tamaño del material particulado se divide en diferentes fracciones que varía desde nanómetros (nm), hasta decenas de micrómetros (μm), y que generalmente se identifican diferentes dominios de tamaños de partículas denominados modas, las cuales están relacionadas en su mayoría de acuerdo con el mecanismo de formación como nucleación, aitken, acumulación y moda gruesa (Puigcerver & Carrascal, 2008), los intervalos de tamaños de estas partículas también se pueden clasificar en nucleación, acumulación, fracción fina y fracción gruesa (Jorquera Gonzáles, 2015). La clasificación de modas y de partículas, se puede visualizar en la Figura 4 (EPA, 2004), donde, la partícula posee un comportamiento modal de acuerdo a su origen y su ambiente.

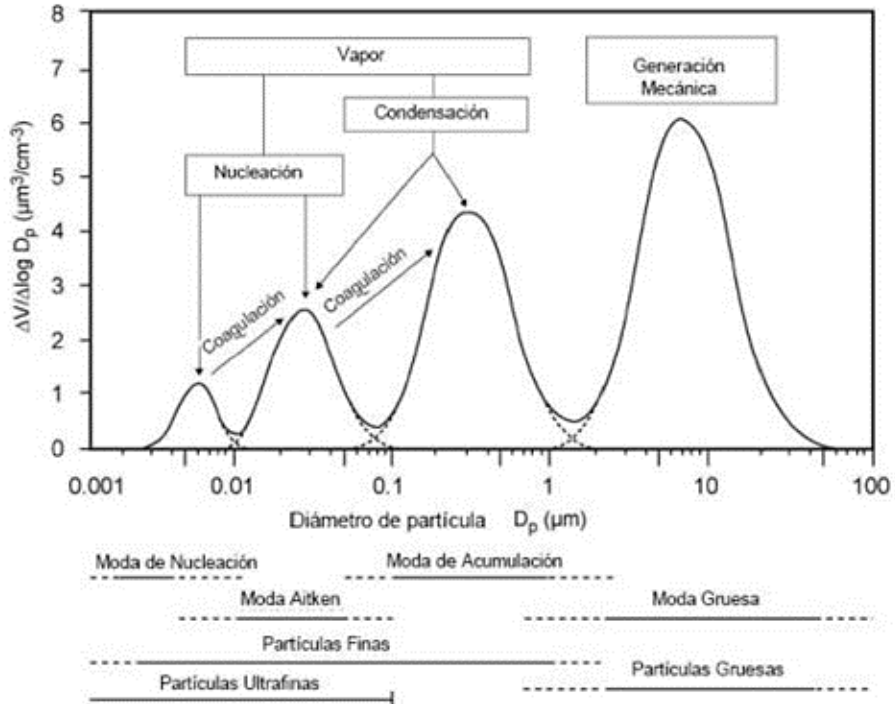


Figura 4. Distribución de modas según el tamaño de partícula

Fuente: EPA, 2004

2.2.6. Moda de material particulado

a) Moda nucleación

Son las partículas menores a $0.02 \mu\text{m}$, la mayor concentración en número de partículas se encuentran entre 5-15 nm, los únicos precursores gaseosos para formar partículas por nucleación homogénea en el ambiente son H_2SO_4 , NH_3 y H_2O , durante episodios de contaminación por la actividad del tráfico se detectan con frecuencia la presencia de partículas de esta moda (Puigcerver & Carrascal, 2008), se les denomina también partículas ultrafinas, las cuales son emitidas directamente en procesos de combustión, o se forman por condensación de gases enfriados después de su emisión, sirven también para la formación de gotas en nubes o neblina (Jorquera Gonzáles, 2015).

b) Moda Aitken

Son las partículas entre 0.02 y 0.1 μm , que pueden tener un origen primario (natural o antropogénico) o secundario (a partir de partículas de moda nucleación), se sabe poco de la composición química de esta partícula, pero es muy probable que su origen sean las partículas de nucleación por condensación y/o reacciones en fase líquida (con compuestos orgánicos), un ejemplo de una clase de partícula que se acumula típicamente en esta moda es el carbono de origen primario (hollín), originado por procesos de combustión, principalmente en motores diésel (Puigcerver & Carrascal, 2008).

c) Moda gruesa

En calidad de aire y epidemiología esta moda comprende partículas mayores a un diámetro de 2.5 μm , la mayoría de estas partículas se forman por procesos mecánicos tales como la erosión de la superficie terrestre (materia mineral) o de otros materiales, o también por la explosión de burbujas en la superficie de mares y océanos (aerosol marino) (Puigcerver & Carrascal, 2008).

2.2.7. Composición química del material particulado

El material particulado se puede agrupar en grupos como la fracción mineral, aerosol marino, compuestos orgánicos e inorgánicos, estas partículas se caracterizan por su granulometría predominante gruesa, dependiendo de la velocidad del viento pueden encontrarse partículas del rango fina (Alfaro et al., 1998). Su transporte puede alcanzar dimensiones intercontinentales (Prospero, 1999; Viana et al., 2002 y Wang et al., n.d.), durante las erupciones volcánicas también se emiten partículas primarias que pueden alcanzar la estratosfera (Finlayson & Pitts, 2000).

Los principales constituyentes del aerosol atmosférico son: el carbono orgánico, carbono elemental, sulfatos, nitratos, amonio, agua líquida, materiales geológicos y una variedad de elementos traza, como se muestra en la Figura 5, donde, el material particulado posee en su superficie concentraciones de metales y metaloides por la interacción con la atmósfera. La composición química varía con el tamaño de las partículas, la zona geográfica y la estación del año (Jorquera Gonzáles, 2015).

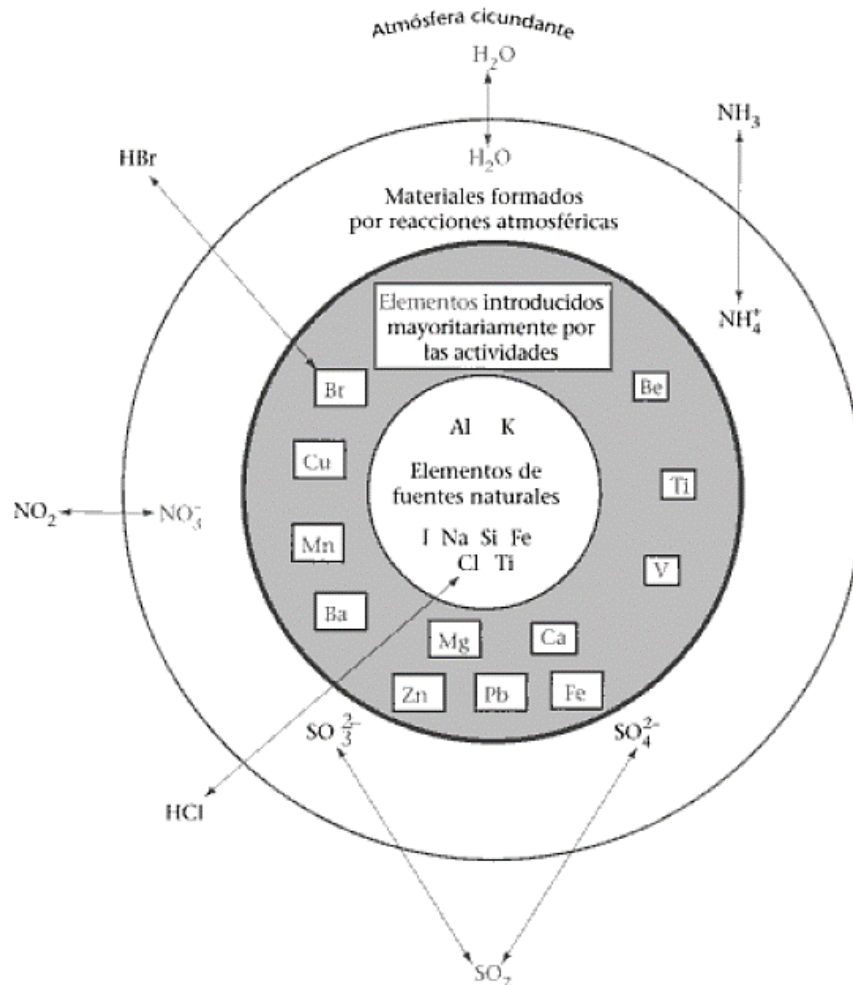


Figura 5. Composición química de materia particulada atmosférica

Fuente: Manahan, 2007

2.2.8. Metales y metaloides presentes en la atmósfera

Los metales y metaloides los encontramos en la atmósfera los cuales se presentan en el material particulado (Porta et al., 2014), elementos de metales principales (Si, Na, Mg, Al, K, Ca y Fe), sub-metales principales (Cr, Ni, Zn, Sr, Ba y Pb) y metales secundarios (Mn, Cu, Ag, Cd, V y Sb) (Lin et al., 2005), así mismo, los vehículos a diésel emiten en general partículas en una cantidad mayor que los vehículos de gasolina, y una proporción mayor de carbono elemental, además de cantidades significativas de Cl y Fe (Harrison & Grieken, 1998).

Los elementos traza encontrados predominantemente en la fracción fina son: Pb, Zn, Cd, As, Sb y los elementos hallados en ambas fracciones tanto gruesa como fina son: Na, K, Fe, V, Cr, Co, Ni, Mn, Cu, Se, Ba, Cl, y finalmente los encontrados en la fracción gruesa son el Ca, Al, Ti y Mg, las proporciones dependen de los tipos de fuentes cercanas (geología del sector) y de la meteorología dominante (Jorquera Gonzáles, 2015).

El Sb en su estado natural se halla presente como metal metamórfico junto con el Cu y Pb, pasa a la atmosfera cuando se desgastan estos otros metales (Espinosa et al., 2001). El Cd se asocian a los procesos pirometalúrgicos en el tratamiento de metales no férricos, vertederos municipales, procesos de tratamientos de residuos y su utilización en la fabricación de materias colorantes: pigmentos, pinturas, coloración de plásticos, impresión de enlace, cuero, vidrio y esmaltes (Pallarés et al., 2007).

Los metales y metaloides como: Pb, Ni, Zn y Cr son generados por fuentes móviles, los cuales se encuentran en el material particulado menor a 10 micras, sedimentos viales y suelos de una zona de alta densidad vehicular (Machado et al., 2008), así mismo, el As posee una alta presión de vapor por lo que pueden llegar a presentarse en estado gaseoso (Porta et al., 2014).

2.2.9. Temperatura

Es la medida de la velocidad media de las moléculas, donde las moléculas de aire en contacto con la superficie caliente rebotan contra la misma, ganando así energía por conducción, disparándose verticalmente llevando su energía con ellos (Porta et al., 2014); esto se muestra en la Figura 6, según a su longitud de onda máxima de la radiación, es inversamente proporcional a la temperatura del cuerpo emisor (Rodriguez & Muñoz Leon, 2012).

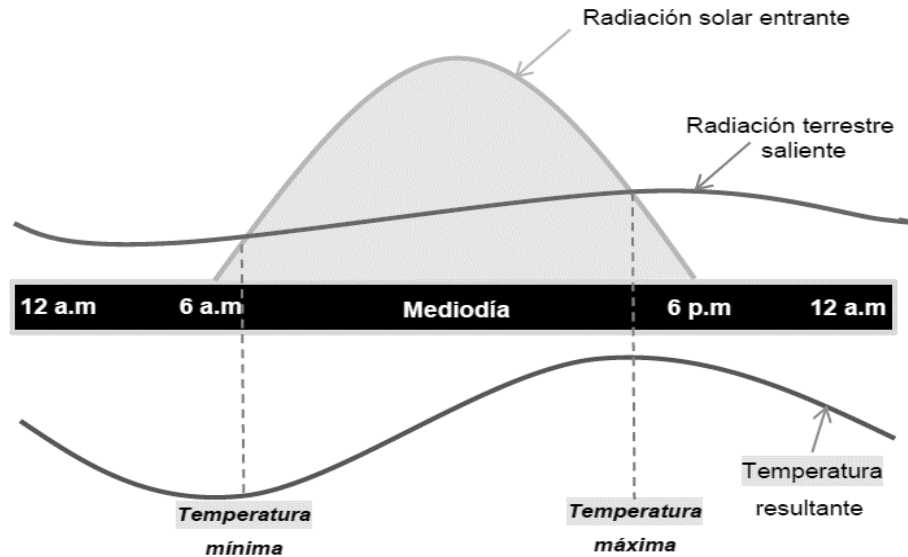


Figura 6. Representación de la variación de la radiación solar y la temperatura

Fuente: Porta et al., 2014

2.2.10. Precipitación pluvial

Es una forma de hidrometeoro que es parte del ciclo del agua, en el cual por la evaporación del agua de la superficie terrestre, se da la formación de nubes de vapor, que al entrar en contacto con una corriente de aire frío se condensa formando gotas que aumentan de tamaño hasta que precipitan (Porta et al., 2014), influyendo así en las concentraciones de PM_{10} que se encuentran suspendidas en la atmósfera haciéndolas precipitar al suelo (Buitrago & Tejeiro, 2019).

2.2.11. Presión atmosférica y vientos

La presión atmosférica es la masa de aire que se encuentra por encima de un determinado nivel, a medida que se aleja de la superficie terrestre, hay menos moléculas de aire por encima, y por tanto la presión atmosférica disminuye (Porta et al., 2014), sin embargo, el aire más caliente se dilata y se hace menos denso, por lo que, disminuye la presión atmosférica en la zona que abarca la masa de aire caliente y el aire menos caliente se dilata menos y es más denso en la zona que abarca el aire frío (Rodríguez & Muñoz Leon, 2012; Castillo & Castellvi Sentis, 2001), esta representación según la Figura 7.

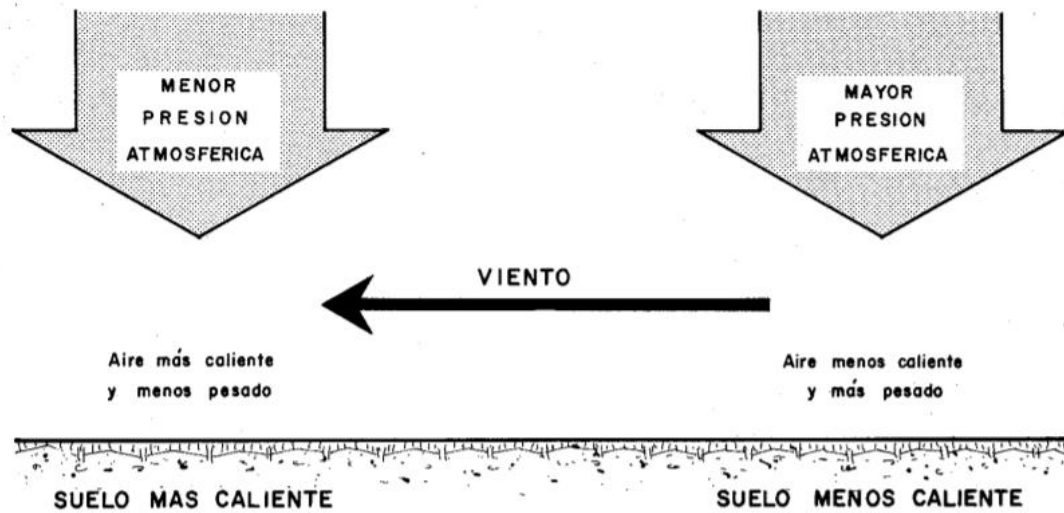


Figura 7. Gradiente de presión y el viento

Fuente: Castillo & Castellvi Sentis, 2001

2.2.12. Rosa de vientos

Es una herramienta gráfica que resume la información de la velocidad del viento y su dirección, la cual es representada en una roseta con coordenadas polares (Porta et al., 2014), además se representan en los círculos concéntricos la frecuencia de los vientos que soplan desde direcciones particulares por unidad de tiempo, los cuales se pueden visualizar en la Figura 8 (Nevers, 1998).

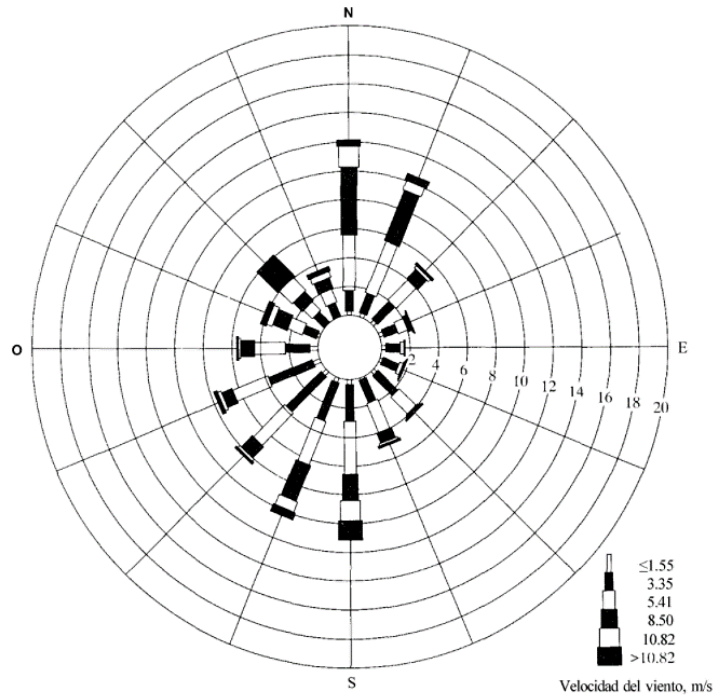


Figura 8. Rosa de vientos

Fuente: Nevers, 1998

2.2.13. Escalas de estudio de dispersión de contaminantes atmosféricos

Según MINAM (2019), los procesos dinámicos en la atmosfera varían según la altitud de la misma, para la dispersión de contaminantes en la atmósfera, debido a factores meteorológicos, topográficos u de otra índole, se puede desarrollar a distintas escalas, en función de las cuales se las categoriza de la siguiente manera:

- ❖ **Estación de micro escala:** Asociada a fenómenos que ocurren a escalas de 0 m a 100 m que busca determinar la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes de emisiones cercanas (MINAM, 2019).
- ❖ **Estación de escala media:** Asociada a fenómenos de dispersión de contaminantes atmosféricos que ocurren de 100 m a 0,5 km (MINAM, 2019).
- ❖ **Estación de escala local:** Permite determinar concentraciones dentro de un área cuyo uso del suelo sea relativamente uniforme de 0,5 km a 4 km (MINAM, 2019).

- ❖ **Estación de escala urbana:** Se encuentra asociada a determinar concentraciones dentro de un área de dimensión tipo ciudad, del orden de > 4 km a 50 km (MINAM, 2019).
- ❖ **Estación de meso escala:** Asociada fenómenos que ocurren a escalas de > 50 km (MINAM, 2019).
- ❖ **Estación sinóptica:** Se encuentra asociada a los movimientos de los sistemas meteorológicos de $> 1\ 000$ km (MINAM, 2019).
- ❖ **Escala global:** Asociada a fenómenos que ocurren a escalas de $> 5\ 000$ km (MINAM, 2019).

La elección de la escala de estudio se clasifica a las características propias que posee la atmosfera a determinadas altitudes (Orlanski, 1975; Fujita, 1981). En la Figura 9 podemos observar las divisiones que realizan cada uno de estos autores que nos permiten determinar la escala de estudio.

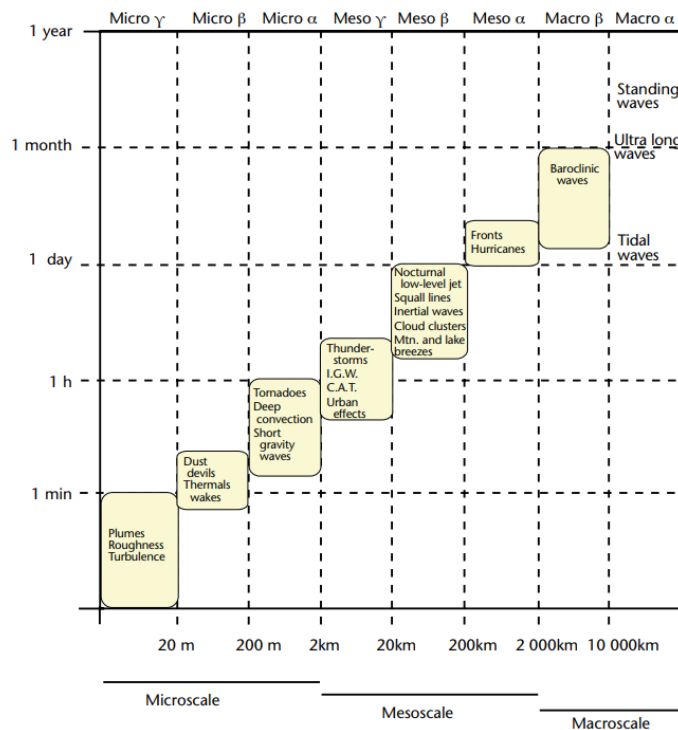


Figura 9. Clasificación de escalas de estudio

Fuente: Garcia et al., 2010

2.3. Marco legal nacional e internacional para PM₁₀ y otros contaminantes

2.3.1. Nacional

Desde el 7 de junio del año 2017 se aprobó el D.S 003-2017- MINAM, estándar de calidad ambiental para el aire, cuya aplicación se encuentra en vigencia y los parámetros se describen en la Tabla 1.

Tabla 1.

Estándar nacional de calidad ambiental para aire

Parámetro	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Criterio de evaluación	Método de análisis
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimi luminiscencia (Método automático)
Material particulado (PM _{2.5})	Anual	100	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
Material particulado (PM ₁₀)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	100	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)

Tabla 1 (Continuación).

Estándar nacional de calidad ambiental para aire (Parte 2)

Parámetro	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Criterio de evaluación	Método de análisis
Mercurio gaseoso total (Hg)	24 horas	2	No exceder	Espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) Espectrofotometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) Espectrofotometría de absorción atómica Zeeman (Métodos automáticos)
Monóxido de carbono (CO)	1 horas	30000	NE más de 1 vez/año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
	8 horas	10000	Promedio móvil	(Método automático)
Ozono (O ₃)	8 horas	100	NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb)	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM10
	Anual	0.5		(Espectrofotometría de absorción atómica)
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Estudios epidemiológicos	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Nota. Esta tabla muestra los valores máximos de concentración de contaminantes en el aire, según el D.S N°003-2017-MINAM, (MINAM, 2017).

2.3.2. Internacional

En el ámbito internacional, los estándares de calidad ambiental para el aire son variable en comparación con la normativa nacional, las cuales se pueden evidenciar en las Tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2.

Guía de la calidad del aire de la OMS

Parámetros	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	Media anual	10
	Media de 24 horas	25
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Media anual	20
	Media de 24 horas	50
Ozono (O ₃)	Media de 8 horas	100
	Media anual	40
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Media de 1 hora	200
	Media de 24 horas	20
Dióxido de azufre (SO ₂)	Media de 10 minutos	500

Nota. Esta tabla muestra los valores máximos de concentración de contaminantes en el aire (OMS, 2005).

Tabla 3.

Estándar de calidad del aire de la Comisión Europea

Parámetros	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de azufre (SO ₂)	1 hora	350
	24 horas	125
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200
	1 año	40

Tabla 3 (Continuación).

Estándar de calidad del aire de la Comisión Europea (Parte 2)

Parámetros	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Plomo (Pb)	1 año	0.5
Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	1 año	25
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	50
	1 año	40

Nota. Valores de concentración de contaminantes en aire (European Commission, 2008).

Tabla 4.

Estándares de calidad de aire de la EPA

Parámetros	Periodo	Valor
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Media aritmética anual	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 hora	235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono (O ₃)	8 horas promedio	0.075 ppm
	24 horas	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de azufre (SO ₂)	1 hora	196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Media aritmética anual	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	9 ppm
	1 hora	35 ppm
Plomo (Pb)	Promedio trimestral	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas promedio	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Media anual	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material particulado menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	Media aritmética anual	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas promedio	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Nota. Valores máximos de concentración de contaminantes en el aire (EPA, n.d.).

A nivel nacional no contamos con una normativa en relación a la concentración de metales y metaloides en el aire, a excepción del Pb que se contempla el D.S 003-2017-MINAM, es por ello que se describe la principal normativa internacional en la Tablas 5.

Tabla 5.

Criterios de calidad de aire para metales pesados

N°	Metal	Símbolo	AAQC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo (h)
1	Óxido de aluminio	Al_2O_3	120	24
2	Antimonio	Sb	25	24
3	Arsénico	As	0.3	24
4	Cadmio	Cd	0.025	24
5	Cromo	Cr	0.5	24
6	Cobalto	Co	0.1	24
7	Cobre	Cu	50	24
8	Hierro	Fe	4	24
9	Plomo	Pb	0.5	24
10	Litio	Li	20	24
11	Manganeso	Mn	0.2	24
12	Mercurio	Hg	2	24
13	Molibdeno	Mo	120	24
14	Níquel	Ni	0.1	24
15	Selenio	Se	10	24
16	Plata	Ag	1	24
17	Titanio	Ti	120	24
18	Uranio	U	0.15	24
19	Vanadio	V	2	24
20	Zinc	Zn	120	24
21	Berilio	Be	0.01	24

Nota. Valores máximos de concentración de contaminantes por metales pesados en el aire (Ontario, 2012).

2.4. Efectos en la salud humana por parte de contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos no solamente alteran el comportamiento normal del aire o atmosfera a nivel químico y/o físico, también son los causantes de diversos problemas de salud en el ser humano, por la exposición a corto o largo plazo (D´amato & Holgate, 2002). A continuación, se describe en la Tabla 6 los efectos a corto y largo plazo por la exposición a determinado contaminante, los cuales traen efectos negativos en el sistema respiratorio (CEOHATS, 1996).

Tabla 6.

Efectos adversos de los contaminantes aéreos sobre el sistema respiratorio

Contaminante	Efecto a corto plazo	Efecto a largo plazo
Material particulado” respirable” (PM ₁₀) y fino (PM _{2.5})	Aumento de morbilidad respiratorio Disminución en la función pulmonar Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitos y depuración mucociliar	Menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio Síndrome bronquial obstructivo Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta (HAPs)
Material particulado ultrafino (PM _{0.1})	Mayor respuesta inflamatoria (comparado con PM ₁₀ y PM _{2.5}) Pasaje rápido a la circulación y a otros órganos Disminución de frecuencia respiratoria y disminución de CVF y VEF	Bronquitis crónica
Ozono (O ₃)	Alveolitis neutrofílica, aumento de permeabilidad e hiperreactividad bronquial	

Tabla 6 (Continuación).

Efectos adversos de los contaminantes aéreos sobre el sistema respiratorio (Parte 2)

Contaminante	Efecto a corto plazo	Efecto a largo plazo
Dióxido de azufre (SO ₂)	Obstrucción bronquial Hipersecreción bronquial	Bronquitis crónica
Dióxido de azufre (NO ₂)	Hiperactividad bronquial Aumento de síntomas respiratorios y exacerbación de asma Aumenta la respuesta a la provocación con alérgenos Disminución de la actividad mucociliar	Posible decremento del desarrollo pulmonar
Monóxido de carbono (CO)	Disminución en la capacidad de ejercicio	
Plomo (Pb)	Alteración del epitelio bronquiolar (Células de clara)	

Nota. Efectos de concentración de contaminantes por metales pesados en el aire en la salud (D´amato & Holgate, 2002; CEOHATS, 1996).

La morbimortalidad por enfermedades cardiovasculares se incrementa a causa de la contaminación atmosférica especialmente por PM₁₀ y CO, en particular la arterioesclerosis, arritmias e insuficiencia coronaria en adultos (Peters et al., 2004). Otros efectos no respiratorios ocasionadas por la exposición a contaminantes atmosféricos, se encuentran descritos en la Tabla 7 (Oyarzún, 2010).

Tabla 7.

Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos

Órganos / Sistemas	Contaminantes	Efectos
Material particulado respirable (PM ₁₀) y fino (PM _{2.5})	Material particulado Monóxido de carbono Plomo /Vanadio Ozono (O ₃)	Menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio Interfiere el transporte de O ₂ por la hemoglobina Mayor frecuencia de hipertensión arterial en población adulta Comunicación interventricular (administración prenatal en ratas)
Unidad materno - fetal	Monóxido de carbono y PM _{2.5} (Hidrocarburos aromáticos policíclicos: HAP) Monóxido de carbono	Bajo peso de nacimiento Baja talla al nacer Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual, compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas Bronquitis crónica
Sistema nervioso central	Plomo Ozono (O ₃)	Hiperquinesia, trastornos del aprendizaje; encefalopatía; cólicos intestinales Daño cerebeloso en células de Purkinje (Administrado prenatalmente en ratas)
Renal	Cadmio y Vanadio Plomo	Toxicidad renal Tubulopatía
Hematopoyético Óseo	Plomo Plomo	Anemia Reemplazo del Ca ²⁺ en los huesos produciendo descalcificación

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito de estudio**

El estudio de investigación comprendió el área política – geográfico del distrito de Juliaca, Provincia de San Román, del Departamento de Puno, geográficamente ubicada a una Latitud: -15.4933, Longitud: -70.1356 15° 29' 36" Sur, 70° 8' 8".

- ❖ **Departamento:** Puno
- ❖ **Provincia:** San Román
- ❖ **Distrito:** Juliaca

3.1.1. **Limites**

Los límites que presenta el distrito de Juliaca, se observan en la Tabla 8.

Tabla 8.

Límites y orientación del distrito de Juliaca

Orientación	Descripción
Norte	Limita con los distritos de Calapuja de la provincia de Lampa y Caminaca
Sur	Limita con los distritos de Cabana y Caracoto perteneciente a la provincia de San Román
Este	Limita con los distritos de Pusi de la provincia de Huancané y Samán de la provincia de Azángaro
Oeste	Limita con los distritos de la provincia de Lampa y Cabanillas

PLANO DE UBICACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO



PLANO REGIONAL



PLANO PROVINCIAL



PLANO DISTRITAL

NOTAS			PLANO		REFERENCIA		UNAJ - EPIAF		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA				
1. Plano de ubicación	REV	FECHA	DESCRIPCIÓN	P-01	Proyecto de investigación de determinación de PM10	DIBUJO	P.U.Z.E	PLANO DE UBICACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO					
	01	17/08/2020	Plano de ubicación de zona de estudio			DISÑO	P.U.Z.E						
						JEFE	K.F.O.M						
						DEPARTAMENTO	PROVINCIA						DISTRITO
						Puno	San Román	Juliaca	Z.A.T.V	1:40,000	01	P-01	

3.2. Alcance, tipo y diseño de investigación

El alcance que tiene la investigación es descriptivo, porque determinó las concentraciones de material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides, así mismo, estableció la correlación de las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento) con las concentraciones de PM₁₀. El tipo de investigación es cuantitativa de diseño de investigación transversal no experimental.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación que se desarrolló en el estudio de calidad del aire referente al material particulado es de nivel: descriptivo.

3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis se centró en la calidad del aire y su composición (física y química) de las zonas de alto tránsito vehicular de la ciudad de Juliaca, conformadas por las fuentes móviles: buses, camiones, combis, autos particulares y vehículos menores. La clasificación de los lugares de monitoreo para evaluar la calidad del aire, se observa en la Tabla 9, la cual recoge los criterios del “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental de Aire”.

Tabla 9.

Clasificación de estudio de monitoreo de calidad del aire

Clasificación	Finalidad
Finalidad	Estación de tráfico
Escala	Estación de escala urbana
Número y localización de estaciones para monitoreo de calidad del aire	Monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en la salud ambiental
Determinación de los parámetros de calidad del aire a monitorear	Parque automotor, vías pavimentadas y zonas urbanas

Tabla 9 (Continuación).

Clasificación de estudio de monitoreo de calidad del aire (Parte 2)

Clasificación	Finalidad
Determinación de la frecuencia y periodo de monitoreo	24 horas / Una muestra cada 6 días
Accesibilidad, seguridad y disponibilidad de energía	Accesible

3.5. Población de estudio

La población de estudio es la cuenca atmosférica de la ciudad de Juliaca, el mismo que posee un valor de 52.4 km² de área, donde radica el 93% de la población, además de que el 19% de su espacio está dedicado a actividades económicas, 63% al uso exclusivo de viviendas y aproximadamente el 18% esta desocupado (GT-GESTA, 2015).

3.6. Tamaño de muestra

Para establecer el tamaño de muestra, según Jimenez Garcia & Massagues Vidal (2007), la Organización Mundial de la Salud (OMS), propone el establecimiento de puntos de monitoreo según la población urbana, el cual se encuentra en la Tabla 10.

Tabla 10

Sugerencia de número de estaciones de monitoreo de calidad del aire

Promedio de estaciones por contaminante						
Población urbana	Parámetros de monitoreo					
(millones de personas)	Partículas	SO₂	NO_x	Oxidantes	CO	Meteorológicos
Menos de 1	2	2	1	1	1	1
1 - 4	5	5	2	2	2	2
4 - 8	8	8	4	3	4	2
Más de 8	10	10	5	4	5	3

Fuente: Jimenez Garcia & Massagues Vidal, 2007

La población de la ciudad de Juliaca posee 228 726 habitantes (INEI, 2017), de acuerdo a las recomendaciones de la OMS, en la presente investigación se tuvo como muestra 3 zonas de alto tránsito vehicular, los cuales están descritos en la Tabla 11.

Tabla 11

Muestra de zonas de alto tránsito vehicular

N°	Lugar	Ubicación de zona de alto tránsito vehicular	Coordenadas (UTM – WGS84)		Zona
			Este	Norte	
1		Av. Manuel Núñez Butrón N° 466, salida a Puno	378940.78	8285710.88	
		Edificios multiusos			
2		Av. Huancané N° 123 y N° 144, salida a Huancané	379351.00	8287725.00	
		Av. Jorge Chávez N° 573, salida a Cusco	379440.23	8287766.75	19 S
3			378108.62	8288044.19	

Nota. La zona de alto tránsito vehicular de la Salida a Huancané posee dos puntos de monitoreo, debido a, queja del propietario por generación de ruido del equipo en estación seca, por lo que, se realizó a dos edificios colindantes en la estación húmeda.

Los monitoreos de material particulado menor a 10 micras se realizaron en 3 zonas de alto tránsito vehicular de la ciudad de Juliaca, según el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental de Aire” menciona que en base de los criterios establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), aprobados mediante D.S. N°003-2017-MINAM, se recomienda que la cantidad de campañas de monitoreo debe ser mínimamente 2 al año, es por ello que se desarrolló 2 campañas de monitoreo según el régimen de precipitaciones en el altiplano (Díaz, 2013), el cual presenta dos estaciones bien marcadas, una estación seca (Agosto) y estación húmeda (Diciembre), así mismo, hacemos referencia a la “Guía para el cálculo de promedios ponderado comparables con su correspondiente ECA”, en el que menciona que para monitoreos orientados a la prevención/evaluación de riesgos en la salud ambiental, la frecuencia mínima es una muestra cada 6 días, el cual se da cumplimiento en la Tabla 12.

Tabla 12

Fechas de monitoreo de PM₁₀, metales y metaloides

N°	Dirección del viento	Zona de tránsito vehicular	Fechas de monitoreo			
			Estación seca		Estación húmeda	
1	Barlovento	Salida a Puno	24/08/2021	30/08/2021	14/12/2021	20/12/2021
2	Sotavento	Salida a Huancané	25/08/2021	31/08/2021	15/12/2021	21/12/2021
3	Sotavento	Salida a Cusco	26/08/2021	01/09/2021	16/12/2021	22/12/2021

Se definió según la dirección del viento, los puntos de barlovento (de donde sopla el viento) y sotavento (donde se dirige el viento), los cuales fueron validados por los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, por otra parte, producto de los monitoreos de material particulado menor a 10 micras, se realizó el análisis de metales y metaloides como: As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Mo y Zn, que son emitidas producto de la actividad vehicular.

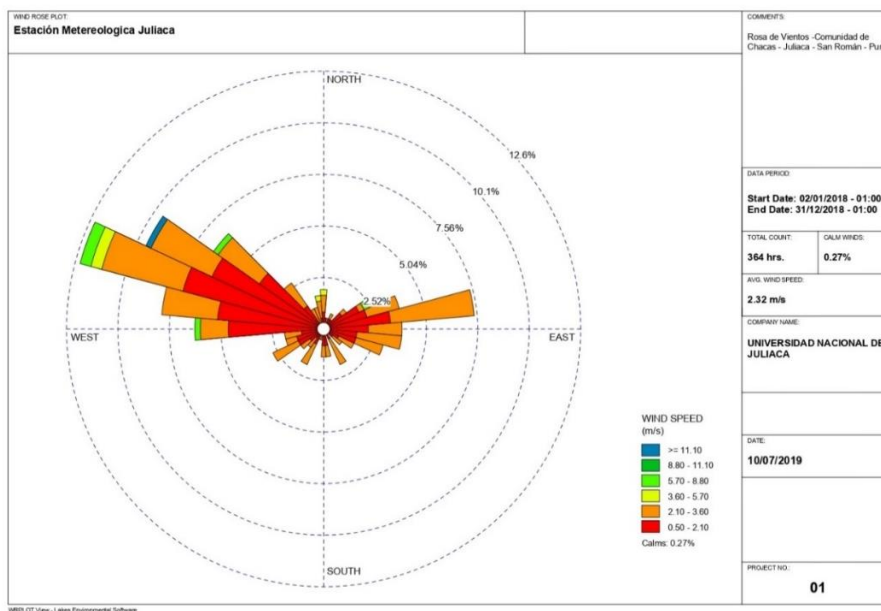


Figura 10. Rosa de vientos del distrito de Juliaca

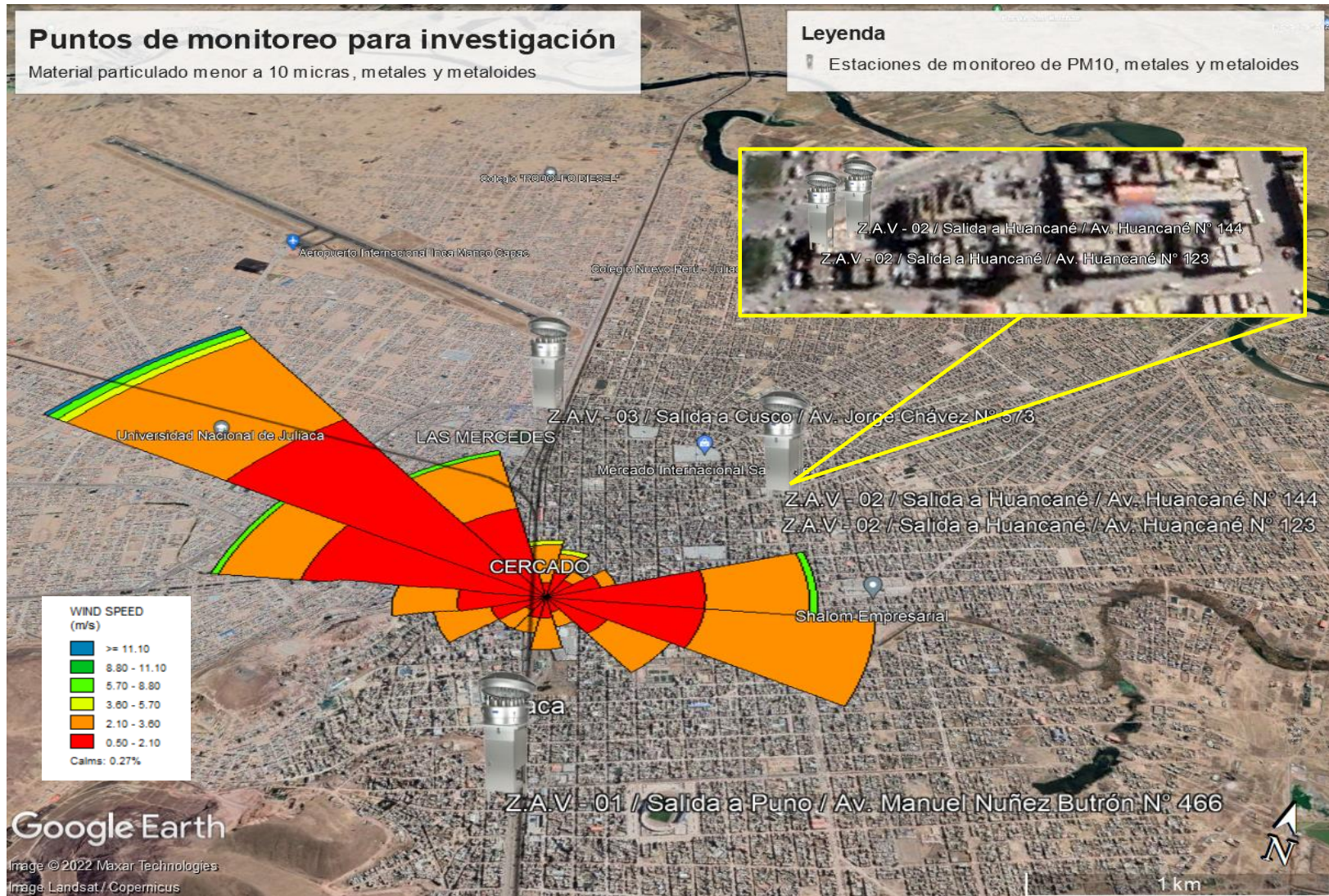


Figura 11. Estaciones de monitoreo de calidad de aire para PM₁₀

Se optó los puntos de monitoreo anteriores en base a investigaciones realizadas en el distrito de Juliaca, en el 2017 la concentración de PM_{10} ascienden a $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el óvalo de salida a Cusco (Hanco, 2017), similarmente, en el 2013 que la concentración PM_{10} en la salida a Huancané es de $228.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales superarían los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental para aire (GT-GESTA, 2015) y adicional se ubicó un punto en la salida a Puno, dado el incremento de la circulación vehicular en los últimos años en esta zona.

3.7. Materiales y reactivos

Juego de carbones para motor High Vol, filtros Whatman (203 x 254 mm), filtros de cuarzo, guantes de nitrilo, cámara digital (SONY/wo830), sobre manila, caja de herramientas, extensiones eléctricas, pizarra acrílica portátil, hojas bond A4, equipos de protección personal (Zapato de seguridad, casco de seguridad, lentes de seguridad, chaleco reflectivo y guantes de seguridad).

3.8. Equipos

Muestreador de Alto Volumen High Vol PM_{10} (Thermo Andersen), inductimetro conductivo de plasma (ICP – OES / ASTM D 7035-10), estación meteorológica (Vantage Pro 2), GPS (eTrex 32x Garmin), manómetro de High Vol y balanza analítica Metler Toledo (RADWAG/XA 524Y.A).

3.9. Procedimiento metodológico

La investigación, comprendió las siguientes fases, como: premuestreo, que consiste en la preparación de filtros y medios previos, muestreo, comprendió todas las actividades de toma de muestra que se desarrollan en campo y postmuestreo, que es referente a las actividades que se llevan a cabo en laboratorio con la muestra tomada. En la Figura 10 se muestra los procedimientos generales a seguir para realizar la presente investigación.

Se realizó la determinación del PM_{10} bajo los lineamientos de la: Norma Técnica Peruana NTP 900.030:2003 Gestión Ambiental “Calidad de aire - Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM_{10} en la atmósfera” y el “Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire - Perú”.

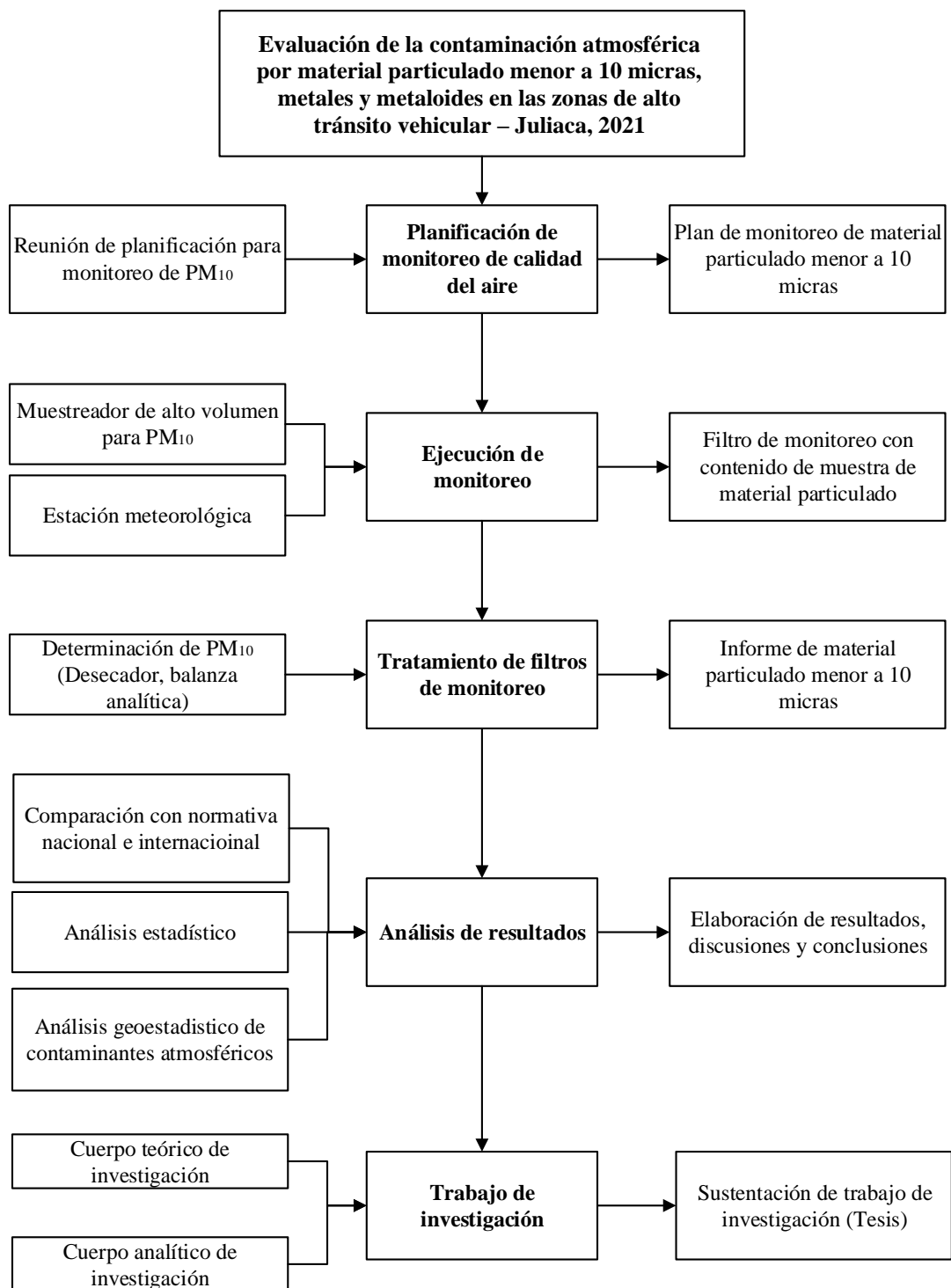


Figura 12. Flujograma de actividades generales

3.9.1. Determinación de material particulado menor a 10 micras en aire

a. Instalación y operación de muestreador de alto volumen

El muestreador de alto volumen (High Vol) se operó de acuerdo a la orientación específica provista por el manual de instrucciones del fabricante, se inspeccionó cada filtro para descartar imperfecciones para posteriormente asignarle un número de identificación y se realizó el pesado del filtro antes del monitoreo en campo, posteriormente, se determinó el flujo del muestreador (m^3_{real}/min), de acuerdo a lo prescrito en el manual de instrucciones del fabricante. En fase de monitoreo se consideró los criterios de instalación de equipos de monitoreo del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental de Aire en el que se considera como método de referencia la separación inercial/filtración (gravimetría) correspondiente a la Norma Técnica Peruana: NTP 999.030 (MINAM, 2019).

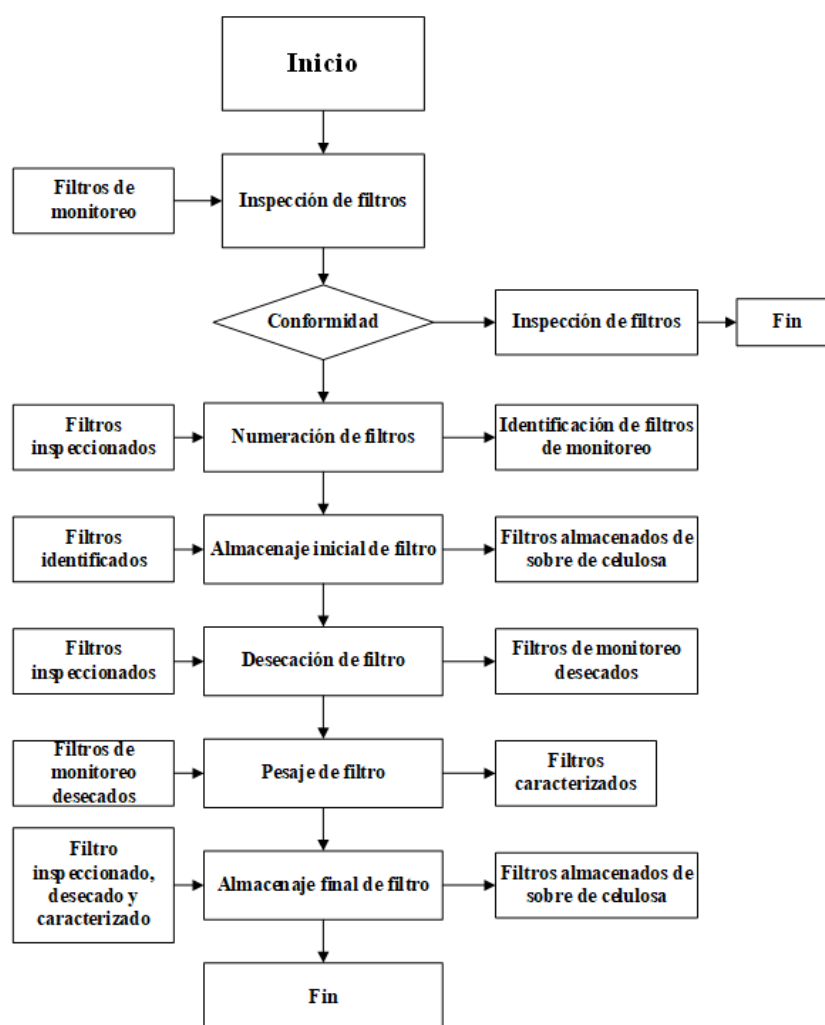


Figura 13. Flujograma de pre-muestreo

b. Monitoreo y análisis de material particulado menor a 10 micras

Se determinó el flujo promedio (Q_a) en m^3 real/min para el periodo de 24 ± 1 horas y el registro de la lectura final del tiempo transcurrido, el promedio de temperaturas y presiones barométricas ambientales durante el periodo de muestreo. Concluido el periodo de monitoreo se retiró el filtro del muestreador, para posteriormente colocarlo en un sobre manila para que proteja la muestra y transportarlo a un ambiente de acondicionamiento de filtros para su posterior pesaje. El muestreador de alto volumen se encontraba diseñado para arrastrar la muestra de aire hacia la entrada del muestreador a través de la recolección de partículas a una velocidad de fase uniforme. Las concentraciones de material particulado se determinaron por el método gravimétrico establecido por el Método de la EPA IO-3.1 a través del pesaje inicial y final de cada filtro muestreado en una micro balanza de ± 0.010 mg de precisión.

En lo correspondiente a la ejecución del monitoreo de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) y condiciones meteorológicas, se realizó con la empresa Moneco S.A.C y las actividades de laboratorio, a través de, la empresa Analytical Laboratory E.I.R.L.

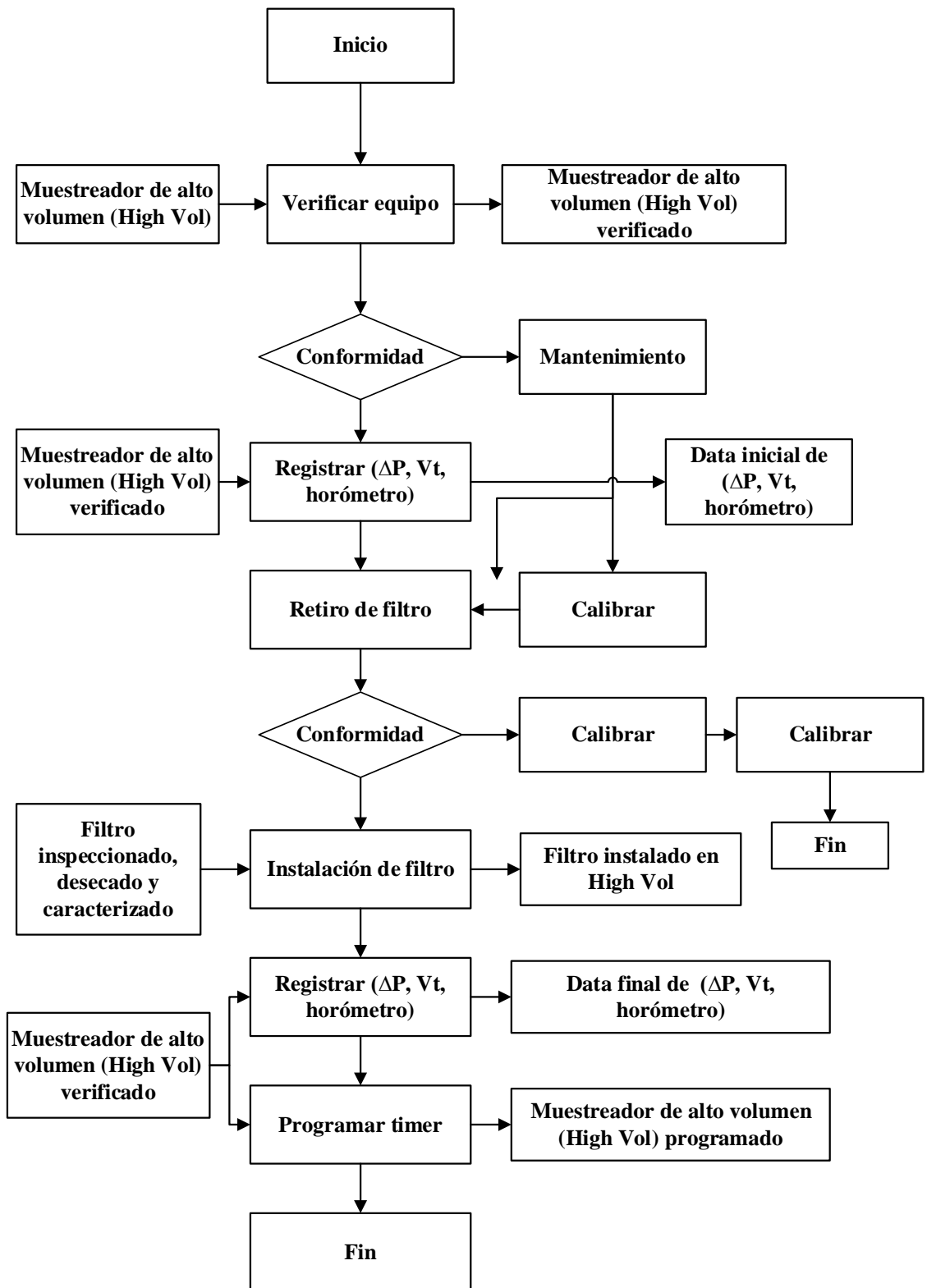


Figura 14. Flujograma de muestreo

c. Cálculo de la concentración gravimétrica de PM₁₀

Al finalizar el monitoreo de material particulado menor a 10 micras en campo, se realizó el pesaje del filtro de cuarzo en las instalaciones del laboratorio de Analytical Laboratory E.I.R.L, para después de desarrollar el cálculo de PM₁₀. Posteriormente desarrollar el análisis de la data para representarlo en gráficos y tablas, según la Figura 15.



Figura 15. Flujograma de post-muestreo

Correspondiente al cálculo de las concentraciones de la masa (gravimetría), se calcula con la siguiente formula:

$$C_{(PM_{10})} = \frac{DW \times 10^6}{V} \quad (1)$$

Donde:

C: Concentración de PM₁₀ en aire, µg/m³.

DW: Diferencia entre el peso final menos el peso inicial, µg.

V: Volumen obtenido del muestreador, m³.

3.9.2. Cuantificación de metales y metaloides del material particulado

a. Determinación de metales y metaloides

La determinación de metales y metaloides se cuantificó utilizando la técnica analítica de espectroscopia de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP OES), mediante una digestión ácida para la exactitud se determinó utilizando un material certificado de alta pureza N° DWPS, además de tomar criterios del método EPA 6010B. En esta técnica, la introducción continua de la muestra líquida y un sistema de nebulización formó un aerosol que es transportado por el Argón a la antorcha del plasma, acoplado inductivamente por radio frecuencia. En el plasma, debido las altas temperaturas generadas, los analitos fueron atomizados e ionizados generándose los espectros de emisión atómicos de líneas características. Los espectros fueron dispersados por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encargó de medir las intensidades de las líneas, esta información fue procesada por el sistema informático, comparando lo desconocido con los estándares de una curva de calibración. En la Figura 16 y 17 se muestra el esquema de trabajo de la técnica espectroscópica.

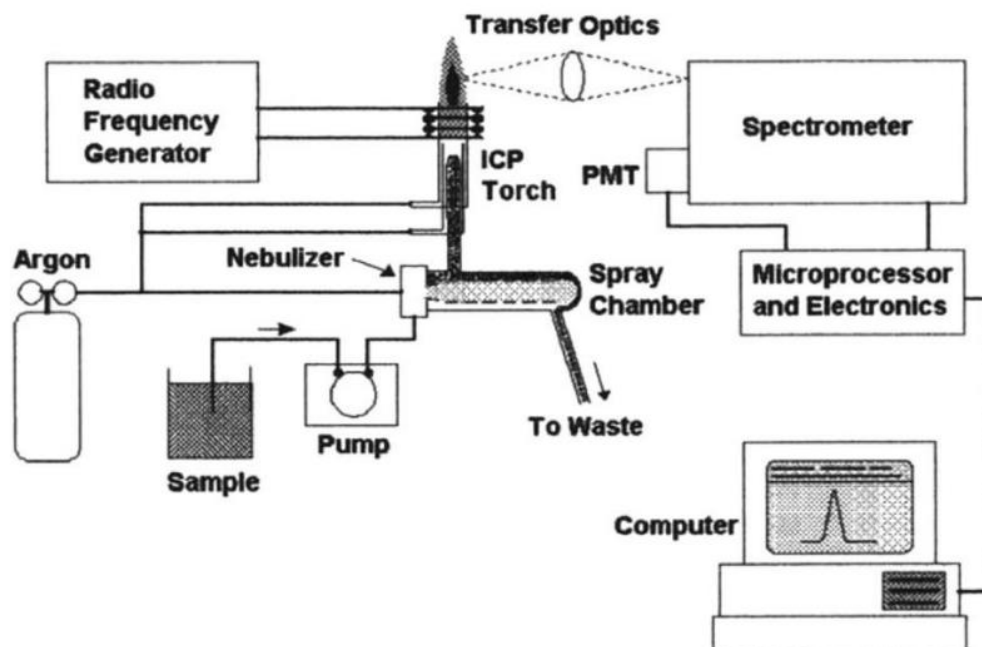


Figura 16. Esquema de un sistema de espectroscopia ICP-OES

Fuente: Sneddon & Vincent, 2008

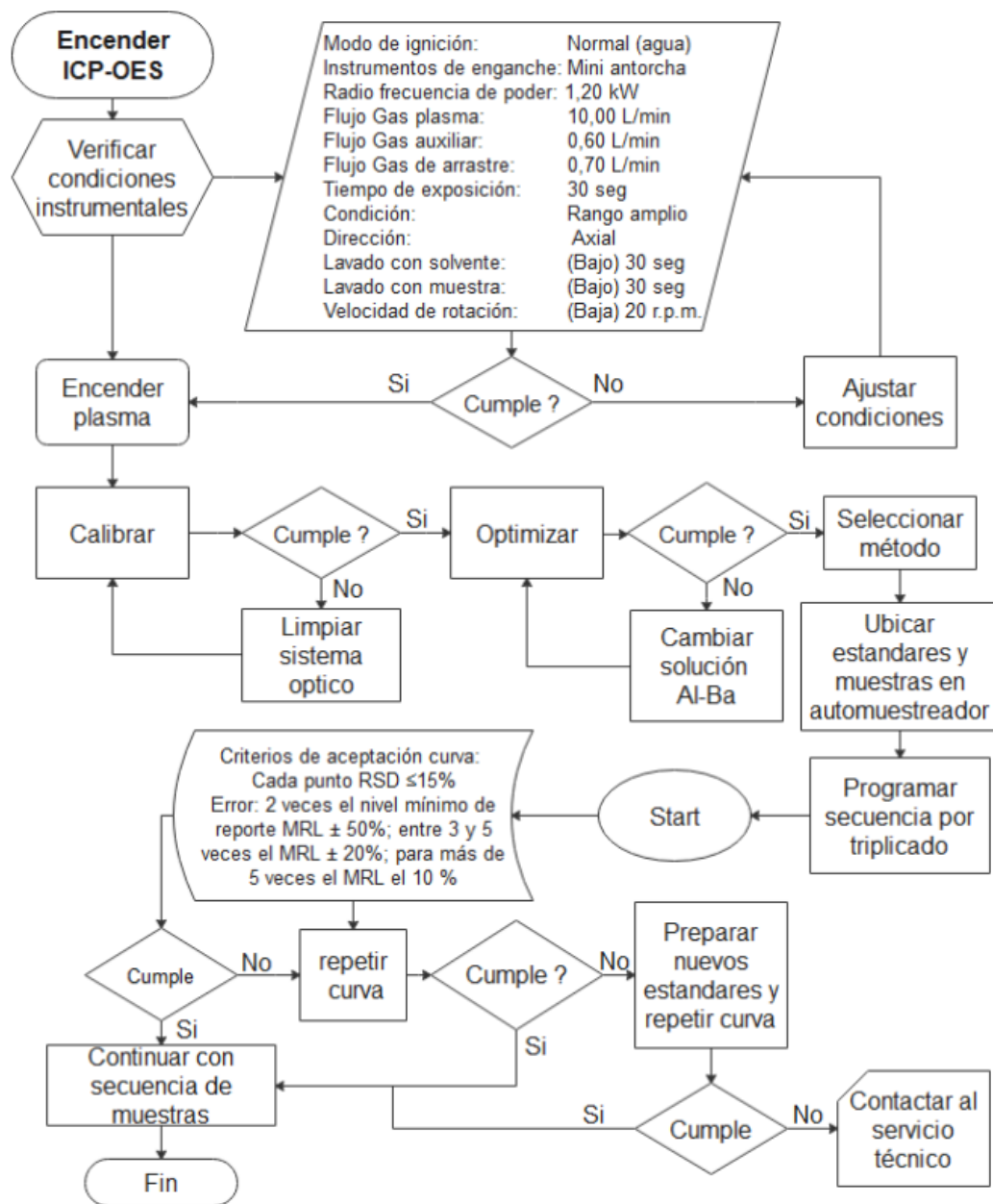


Figura 17. Determinación de metales por ICP-OES

Fuente: Jaimes Monsalve, 2020

En relación a los análisis de concentración de metales y metaloides se realizó mediante el laboratorio externo Analytical Laboratory E.I.R.L, los cuales emitieron los resultados de los ensayos por Espectroscopia de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP OES), así como, el reporte de las condiciones meteorológicas por cada Z.A.V monitoreada.

En relación al cálculo de las concentraciones de metales y metaloides, se calcula con la siguiente formula:

$$m = (C_m \times V_m \times f) - (C_b \times V_b) \quad (2)$$

Donde:

m = Cantidad de metal presente en la muestra, μg .

C_m = Concentración de metal en disolución de muestra, $\mu\text{g/ml}$.

V_m = Volumen de dilución de muestra, ml.

f = Factor de dilución.

C_b = Concentración media de metal en las disoluciones de blanco, $\mu\text{g/ml}$.

V_b = Volumen hasta el cual han sido diluidos los blancos de campo, ml.

La concentración de metal en aire, se calculó según la ecuación:

$$C = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Donde:

C = Concentración de metal en aire, $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

m = Cantidad de metal en la muestra, μg .

v = Volumen de aire muestreado, m^3 .

3.9.3. Monitoreo y validación de condiciones meteorológicas

Mediante una estación meteorológica se obtuvo la información de las condiciones ambientales (temperatura, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento) del lugar de monitoreo y se utilizó datos mensuales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI para su validación (Chura, 2017), posteriormente, se procesó la información meteorológica de dirección y velocidad de viento con el software WRPLOT View v8.0 (Lakes Environmental), para elaborar la rosa de vientos (Suárez-Salas et al., 2017).

3.9.4. Análisis de datos

Se aplicó la prueba paramétrica T de Student para la evaluación de las 3 zonas de alto tránsito vehicular en relación al Estándar de Calidad Ambiental del aire para material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) y la desviación estándar para poder conocer la dispersión de la distribución de los datos material particulado menor a 10 micras, mediante el Software SPSS Statistics 22 para la prueba estadística y Origin 8.1 para la generación de gráficos (Paccosonco, 2019).

Para el análisis de los datos de metales y metaloides en la cuenca atmosférica, se realizó un análisis de desviación estándar de las concentraciones y un análisis geoestadístico de las concentraciones de metales y metaloides en el aire mediante el Software Surfer versión 15.1, después se realizó un análisis estadístico descriptivo mediante hoja de cálculo Excel (Paccosonco, 2019).

Correspondiente a los datos meteorológicos se realizó una medida de dependencia lineal de coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de material particulado menor a 10 micras con: temperatura, precipitación pluvial y velocidad del viento (Buitrago & Tejeiro, 2019).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentraciones de PM₁₀ en zonas de alto tránsito vehicular

Los monitoreos de calidad de aire correspondiente a los contaminantes de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀), metales, metaloides y de variables meteorológicas se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13.

Ubicación de puntos de monitoreo

N°	Lugar	Ubicación de zona de alto tránsito vehicular	Coordenadas (UTM – WGS84)		Zona
			Este	Norte	
1		Av. Manuel Núñez Butrón N° 466, salida a Puno	378940.78	8285710.88	
2	Edificios multiusos	Av. Huancané N° 123 y N° 144, salida a Huancané	379351.00	8287725.00	19 S
3		Av. Jorge Chávez N° 573, salida a Cusco	378108.62	8288044.19	

Nota. La zona de alto tránsito vehicular de la Salida a Huancané posee dos puntos de monitoreo, debido a, queja del propietario por generación de ruido del equipo en estación seca, por lo que, se realizó a dos edificios colindantes en la estación húmeda.

4.1.1. Concentraciones de PM₁₀ en estación seca

a. Av. Manuel Núñez Butrón N°466

En la zona de alto tránsito vehicular N°1 ubicado en la Av. Manuel Núñez Butrón N°466 (Salida a Puno), la concentración promedio de material particulado menor a 10 micras en estación seca fue de 105.27 µg/m³, el cual sobrepasa el valor Estándar de Calidad Ambiental nacional para PM₁₀ de 100 µg/m³ para 24 horas, así mismo, excede el valor estándar de la Organización Mundial de la Salud para PM₁₀ de 50 µg/m³, tal como se aprecia en la Tabla 14 y la Figura 18.

Tabla 14.

Concentración de PM_{10} de la Z.A.V. N°1 en estación seca

Zona de alto tránsito vehicular	Periodo de monitoreo (Estación seca)	Concentración PM_{10}	Unidad	ECA Nacional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ECA OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ZAV - 01	24/08/2021 al 25/08/2021	98.38			
ZAV - 01	30/08/2021 al 31/08/2021	112.17	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	50
Promedio		105.27			

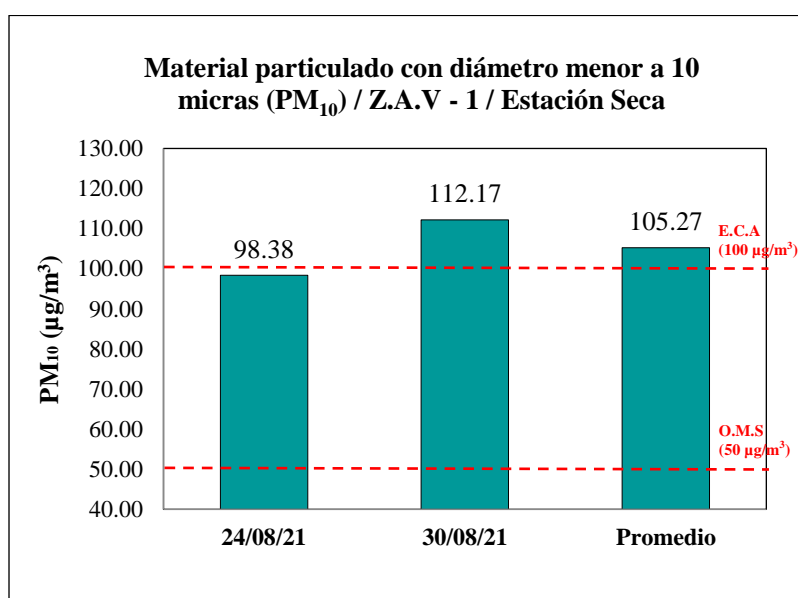


Figura 18. Concentración de PM_{10} de la ZAV 1 en estación seca

b. Av. Huancané N° 123

En la zona de alto tránsito vehicular N°02 ubicado en la Av. Huancané N°123 (Salida a Huancané), la concentración promedio de material particulado menor a 10 micras en estación seca fue de $104.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual sobrepasa el valor Estándar de Calidad Ambiental nacional para PM_{10} de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas, así mismo, excede el valor estándar de la Organización Mundial de la Salud para PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tal como se aprecia en la Tabla 15 y la Figura 19.

Tabla 15.

Concentración de PM_{10} de la Z.A.V. N°2 en estación seca

Zona de alto tránsito vehicular	Periodo de monitoreo (Estación seca)	Concentración PM_{10}	Unidad	ECA Nacional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ECA OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ZAV - 02	25/08/2021 al 26/08/2021	104.37			
ZAV - 02	31/08/2021 al 01/09/2021	105.36	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	50
Promedio		104.86			

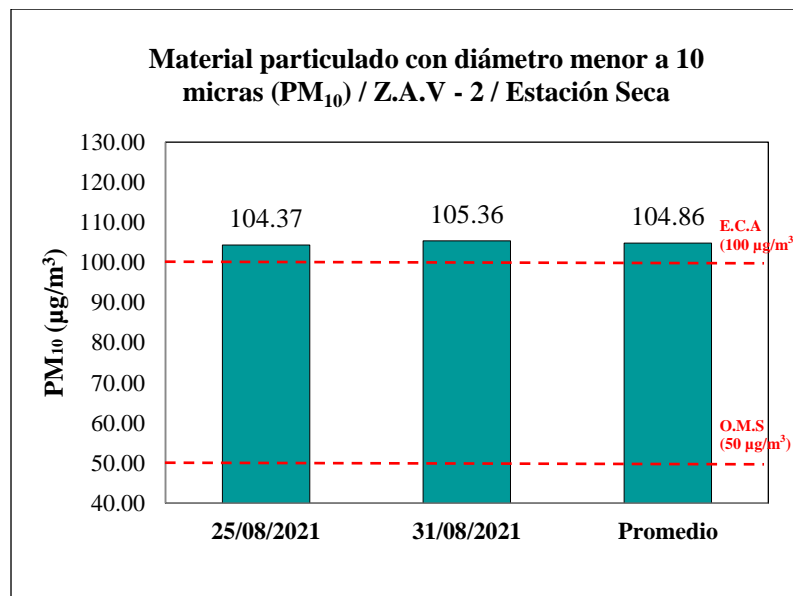


Figura 19. Concentración de PM_{10} de la ZAV 2 en estación seca

c. Av. Jorge Chávez N° 573

En la zona de alto tránsito vehicular N° 2 ubicado en la Av. Jorge Chávez N° 573 (Salida a Cusco), la concentración promedio de material particulado menor a 10 micras en estación seca fue de $112.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual sobrepasa el valor Estándar de Calidad Ambiental nacional para PM_{10} de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas, así mismo, excede el valor estándar de la Organización Mundial de la Salud para PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tal como se aprecia en la Tabla 16 y la Figura 20.

Tabla 16.

Concentración de PM_{10} de la Z.A.V. N°3 en estación seca

Zona de alto tránsito vehicular	Periodo de monitoreo (Estación seca)	Concentración PM_{10}	Unidad	ECA Nacional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ECA OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ZAV - 03	26/08/2021 al 27/08/2021	108.30			
ZAV - 03	01/09/2021 al 02/09/2021	116.37	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	50
Promedio		112.34			

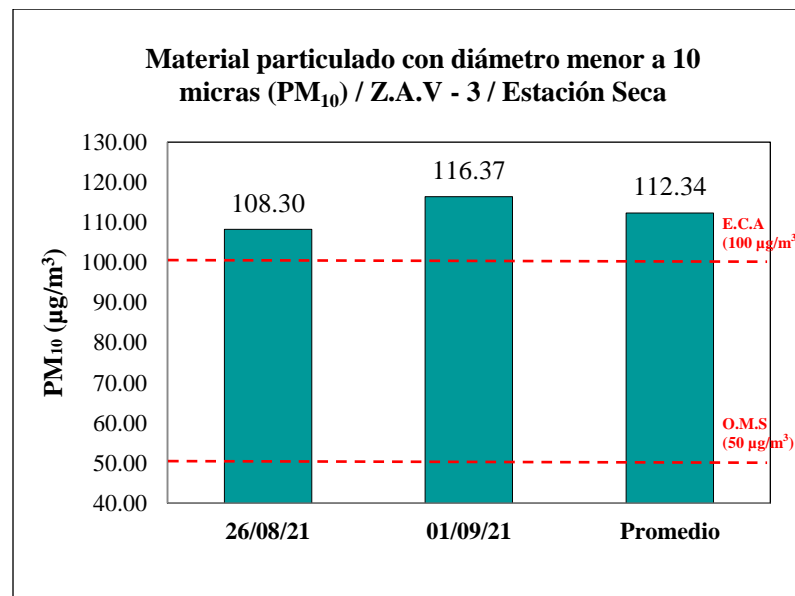


Figura 20. Concentración de PM_{10} de la ZAV 3 en estación seca

4.1.2. Concentraciones de PM_{10} en estación húmeda

a. Av. Manuel Núñez Butrón N° 466

En la zona de alto tránsito vehicular N° 1 ubicado en la Av. Manuel Núñez Butrón N° 466 (Salida a Puno), la concentración promedio de material particulado menor a 10 micras en estación húmeda fue de $55.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no sobrepasa el valor Estándar de Calidad Ambiental nacional para PM_{10} de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas, así mismo, no excede el valor estándar de la Organización Mundial de la Salud para PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tal como se aprecia en la Tabla 17 y la Figura 21.

Tabla 17.

Concentración de PM_{10} de la Z.A.V. N°1 en estación húmeda

Zona de alto tránsito vehicular	Periodo de monitoreo	Concentración PM_{10}	Unidad	ECA Nacional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ECA OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Z.A.V - 01	14/12/2021 al 15/12/2021	57.51			
Z.A.V - 01	20/12/2021 al 21/12/2021	53.71	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	50
Promedio		55.61			

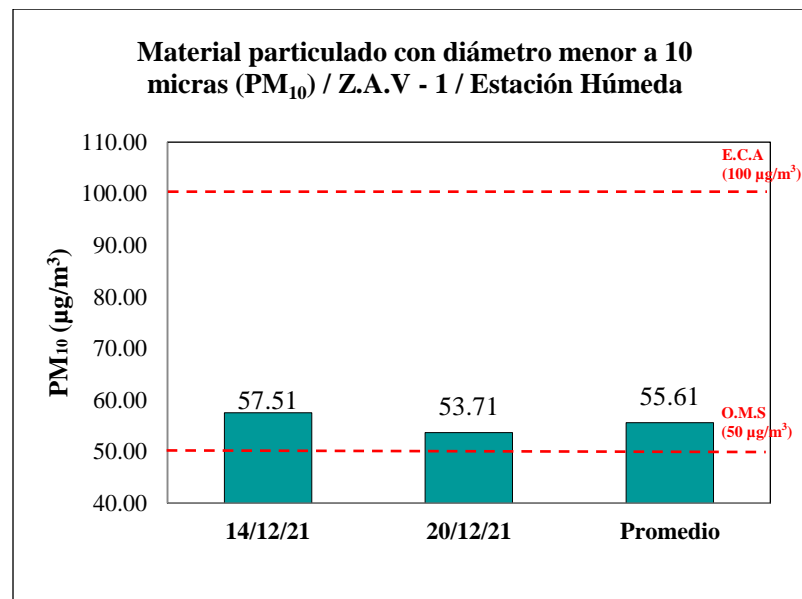


Figura 21. Concentración de PM_{10} de la ZAV 1 en estación húmeda

b. Av. Huancané N° 123

En la zona de alto tránsito vehicular N° 2 ubicado en la Av. Huancané N° 123 (Salida a Huancané), la concentración promedio de material particulado menor a 10 micras en estación húmeda fue de $52.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no sobrepasa el valor Estándar de Calidad Ambiental nacional para PM_{10} de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas, así mismo, no excede el valor estándar de la Organización Mundial de la Salud para PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tal como se aprecia en la Tabla 18 y la Figura 22.

Tabla 18.

Concentración de PM_{10} de la Z.A.V. N°2 en estación húmeda

Zona de alto tránsito vehicular	Periodo de monitoreo	Concentración PM_{10}	Unidad	ECA Nacional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ECA OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Z.A.V - 02	15/12/2021 al 16/12/2021	54.44			
Z.A.V - 02	21/12/2021 al 22/12/2021	51.38	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	50
Promedio		52.91			

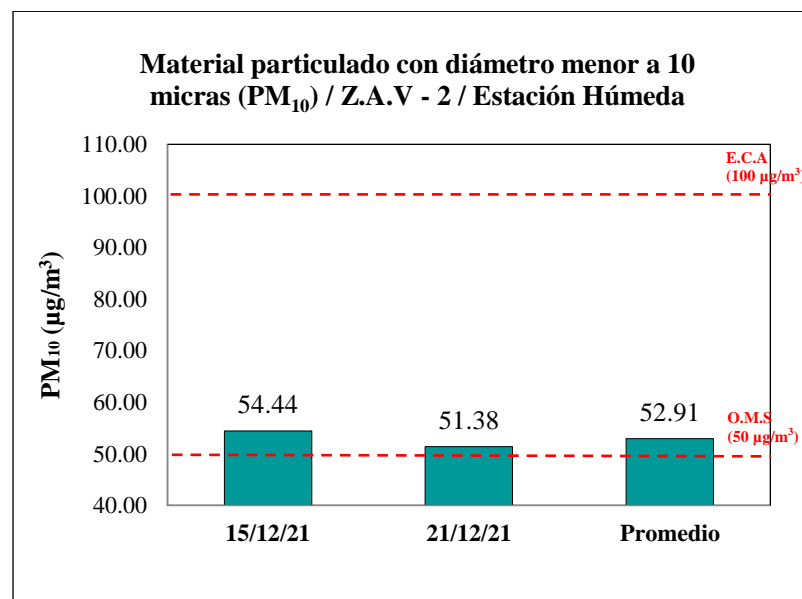


Figura 22. Concentración de PM_{10} de la ZAV 2 en estación

c. Av. Jorge Chávez N° 573

En la zona de alto tránsito vehicular N° 3 ubicado en la Av. Jorge Chávez N° 573 (Salida a Huancané), la concentración promedio de material particulado menor a 10 micras en estación húmeda fue de $80.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no sobrepasa el valor Estándar de Calidad Ambiental nacional para PM_{10} de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas, así mismo, excede el valor estándar de la Organización Mundial de la Salud para PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tal como se aprecia en la Tabla 19 y la Figura 23.

Tabla 19.

Concentración de PM_{10} de la Z.A.V. N°3 en estación húmeda

Zona de alto tránsito vehicular	Periodo de monitoreo	Concentración PM_{10}	Unidad	ECA Nacional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ECA OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Z.A.V - 03	16/12/2021 al 17/12/2021	77.67			
Z.A.V - 03	22/12/2021 al 23/12/2021	84.10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	50
Promedio		80.88			

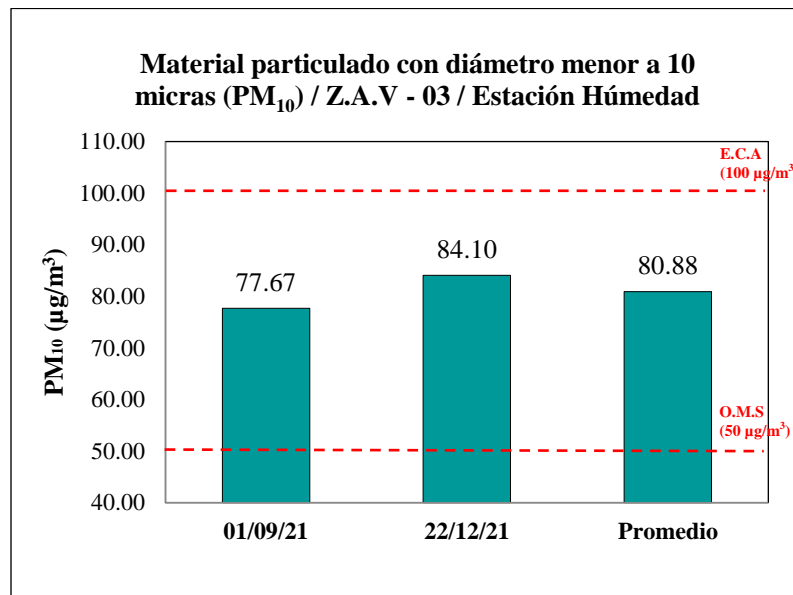


Figura 23. Concentración de PM_{10} de la ZAV 3 en estación húmeda

4.1.3. Concentraciones de PM_{10} en estación seca - húmeda

De forma general, las concentraciones de material particulado en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca en estación seca y húmeda, las encontramos representadas en la Tabla 20.

Tabla 20.

Concentraciones generales de PM₁₀ en zonas de alto tránsito vehicular

ZAV	Zona de Alto Tránsito Vehicular	Fecha	PM ₁₀ (µg/m ³)	Promedio	Estación
ZAV - 01	Salida a Puno	24/08/21	98.38		
ZAV - 02	Salida a Huancané	25/08/21	104.37		
ZAV - 03	Salida a Cusco	26/08/21	108.30	107.49	Seca
ZAV - 01	Salida a Puno	30/08/21	112.17		
ZAV - 02	Salida a Huancané	31/08/21	105.36		
ZAV - 03	Salida a Cusco	01/09/21	116.37		
ZAV - 01	Salida a Puno	14/12/21	57.51		
ZAV - 02	Salida a Huancané	15/12/21	54.44		
ZAV - 03	Salida a Cusco	16/12/21	77.67	63.14	Húmeda
ZAV - 01	Salida a Puno	20/12/21	53.71		
ZAV - 02	Salida a Huancané	21/12/21	51.38		
ZAV - 03	Salida a Cusco	22/12/21	84.10		

El material particulado se encuentra en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999), por consiguiente, es dispersado y condensado de forma sólida o líquida, como por ejemplo: hollín de diésel, polvo de vías y las partículas resultantes de procesos productivos (Arciniégas, 2012), la exposición al PM₁₀ incrementa la morbilidad por enfermedades cardiovasculares, en particular la arterioesclerosis, arritmias e insuficiencia coronaria en adultos (Peters et al., 2004). En el presente estudio se determinó concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.

Para la zona de alto tránsito vehicular N°1 ubicada en la salida a Puno, durante la estación seca, excedió el estándar de calidad del aire del MINAM y de la OMS con un valor promedio de $105.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De acuerdo con Jorquera Gonzáles (2015), la presencia de material particulado en zonas urbanas es debido al polvo suspendido, emisiones provenientes de vehículos, calles pavimentadas y sin pavimentar, además, de que en este punto se presenta un alto flujo vehicular de ingreso y salida que incrementa la polución del del aire por PM_{10} , también, de una vía férrea, del cual según los indicado por Tu y Olofsson (2021), debido al contacto entre las ruedas y rieles de un tren C20 puede generar emisiones de PM_{10} de acuerdo a su frecuencia horaria. Por otro lado, durante la estación húmeda se alcanzó una concentración promedio de $55.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual no excede el estándar del MINAM, pero, supera el valor establecido por la OMS. Las concentraciones de PM_{10} en la Zona Industrial Taparachi de Salida a Puno tienen un valor de $33.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hanco, 2017), esta ubicación se encuentra alejada 1.52 km de la muestra tomada en el presente estudio, de modo idéntico, en lo reportado por el MINAM (2015) indica concentraciones de PM_{10} que ascienden a un valor promedio de $45.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por inmediaciones de la U.A.N.C.V; por los antecedentes descritos, se infiere que en la rotonda de la Av. Tacna es donde se presentan más altas concentraciones de PM_{10} , debido a una débil circulación fluida de unidades vehiculares, y zonas urbanas densamente construidas, que a diferencia de los valores determinados por otras investigaciones, éstas se encuentran ubicadas en espacios de alta circulación fluida de vehículos y baja densidad urbana.

La zona de alto tránsito vehicular N°2 ubicada en la salida a Huancané, durante la estación seca, excedió el estándar de calidad del aire del MINAM y de la OMS con un valor promedio de $104.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$; por el polvo suspendido por el viento, emisiones provenientes de vehículos, calles pavimentadas y sin pavimentar (Jorquera Gonzáles, 2015), se observa en este punto mayor congestión del tránsito vehicular, el cual sería uno de los factores relevantes de contaminación atmosférica, ya que, a diferencia de la ZAV – 1, esta zona cuenta con mayor área de tránsito vehicular. Por otro lado, durante la estación húmeda se alcanzó una concentración promedio de $52.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual no excede el estándar del MINAM, pero, supera el valor establecido por la OMS, en contraste con el estudio realizado por Millán-Martínez et al. (2022) nos indica que la precipitación pluvial lava la atmósfera y provoca la deposición. Las

concentraciones de PM_{10} en la Salida a Huancané alcanzaron un valor de $66.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hanco, 2017), del cual está alejada en 2.14 km de la muestra tomada en el presente estudio, cabe destacar, que en el estudio realizado por MINAM (2015) reportan concentraciones promedio de $214.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en proximidades del Hospital “Carlos Monge Medrano”; en este sentido se comprende, que la zona a salida Huancané es el área que representa más alto niveles de contaminación por PM_{10} , esto debido a las vías colindantes no pavimentadas que por acción del viento arrastran material particulado a la atmosfera y al alto flujo vehicular, a diferencia del punto muestreado en la rotonda del Ovalo Pedro Vilcapaza, donde, las vías colindantes se encuentran pavimentadas. Esta zona de alto tránsito vehicular posee dos puntos de monitoreo, debido a, queja del propietario por generación de ruido del equipo en estación seca, por lo que, se realizó a dos edificios colindantes en la estación húmeda.

En la zona de alto tránsito vehicular N° 3 ubicada en la salida a Cusco, durante la estación seca se observa que presenta los más altos valores de contaminación atmosférica en PM_{10} , excediendo el estándar de calidad del aire del MINAM y de la OMS con un valor promedio de $112.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a que, existe un alto flujo vehicular, zonas sin pavimentación y una reducida área verde. Según lo reportado en la literatura, el estudio realizado por Millán-Martínez et al. (2022) indica que a pesar del confinamiento por el SARS-CoV-2, los niveles de PM_{10} se mantuvieron debido al polvo mineral resuspendido. Por otro lado, durante la estación húmeda se alcanzó una concentración promedio de $80.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual excede el estándar establecido por la OMS. Las concentraciones de PM_{10} en el óvalo de la salida a Cusco tuvieron un valor de $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hanco, 2017), incrementándose un 9.07 % respecto a la estación seca del año 2021, donde, la distancia entre puntos de monitoreo es de 0.21 km , es por ello que la diferencia de concentraciones de PM_{10} no son distantes respecto a la ZAV – 3, infiriendo de acuerdo a lo mencionado por Peters et al. (2004), que la exposición al PM_{10} podría estar incidiendo en la salud de las personas, incrementando la morbilidad por enfermedades cardiovasculares, en particular la arterioesclerosis, arritmias e insuficiencia coronaria en adultos.

4.2. Concentración de metales y metaloides en zonas de alto tránsito vehicular

4.2.1. Concentraciones de metales y metaloides en estación seca

a. Av. Manuel Núñez Butrón N° 466

La concentración de metales y metaloides en la zona de alto tránsito vehicular N° 1 en estación seca, muestra que, para el Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb se tienen valores menores que el límite de cuantificación, por otra parte, para el Cu, Fe, Mn y Zn se determinó concentraciones mayores del límite de cuantificación, en caso del Cr solo en el periodo de monitoreo del 24/08/21 al 25/08/21 superó el límite de cuantificación con 0.188 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Todos los componentes químicos del PM_{10} no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá para metales y metaloides en material particulado menor a 10 micras, como se aprecia en la Tabla 21 y Figuras 24 y 25.

Tabla 21

Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°1 en estación seca

Orden	Elemento	Periodo de monitoreo		Unidad	**AAQC
		24/08/2021 al 25/08/2021	30/08/2021 al 31/08/2021		
	Cd	< 0.005	< 0.005		0.025
	Co	< 0.016	< 0.016		0.1
	Cr	0.188	< 0.013		0.5
	Cu	0.915	0.065		50
	Fe	1.905	1.654		4
Metal	Hg	< 0.06	< 0.06	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2
	Mn	0.075	0.084		0.2
	Ni	< 0.015	< 0.015		0.1
	Pb	< 0.035	< 0.034		0.5
	Mo	< 0.009	< 0.009		120
	Zn	0.967	6.010		120
Metaloide	As	< 0.027	< 0.027	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.3
	Sb	< 0.027	< 0.027		25

Nota. Los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio

**Ambient Air Quality Criteria. Criterios de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá, mayo del 2020.

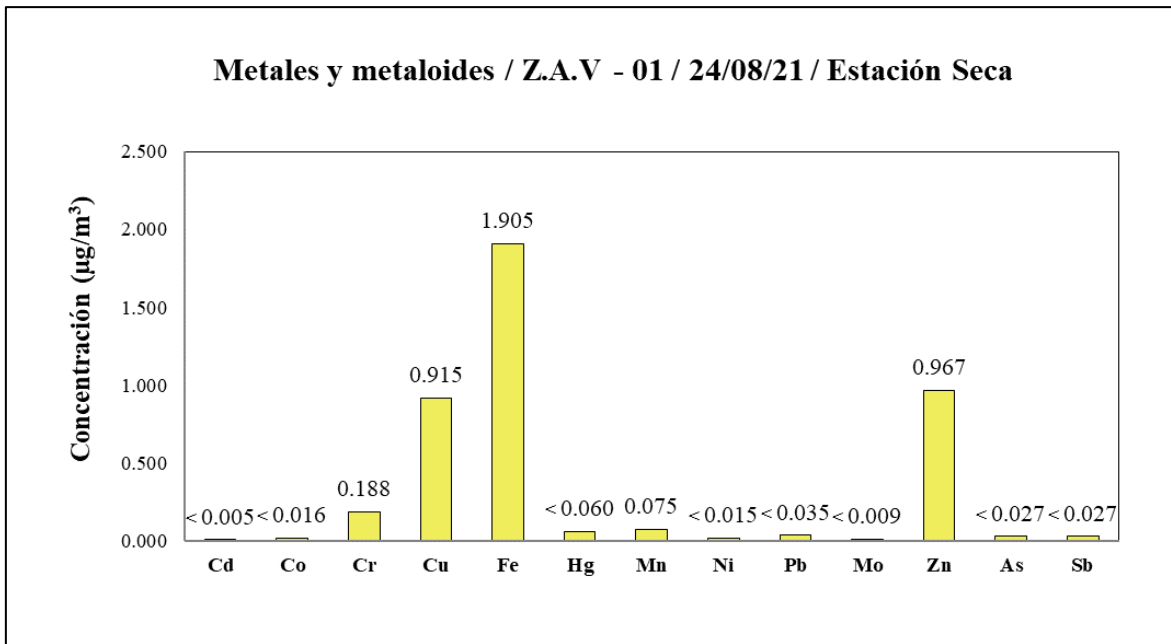


Figura 24. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 24/08/21 en estación seca

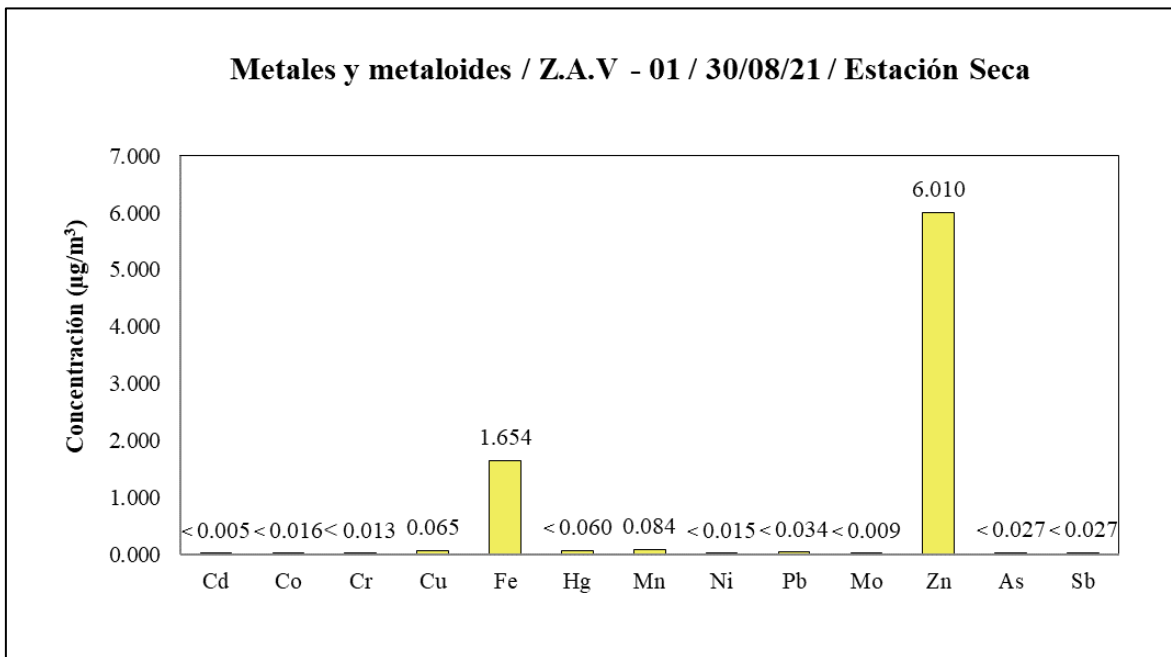


Figura 25. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 30/08/21 en estación seca

b. Av. Huancané N° 123

La concentración de metales y metaloides en la zona de alto tránsito vehicular N° 2 en estación seca, muestra que, para el Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb se tienen valores menores que el límite de cuantificación, por otra parte, para el Cu, Fe, Mn y Zn se determinó concentraciones mayores del límite de cuantificación, en caso del Cr solo en el periodo de monitoreo del 25/08/21 al 26/08/21 superó el límite de cuantificación con 0.183 µg/m³. Todos los componentes químicos del PM₁₀ no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá para metales y metaloides en material particulado menor a 10 micras, como se aprecia en la Tabla 22 y Figuras 26 y 27.

Tabla 22.

Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N° 2 en estación seca

Orden	Elemento	Periodo de monitoreo		Unidad	**AAQC
		25/08/2021 al 26/08/2021	31/08/2021 al 01/09/2021		
	Cd	< 0.005	< 0.37		0.025
	Co	< 0.016	< 1.10		0.1
	Cr	0.183	< 0.013		0.5
	Cu	0.725	0.042		50
	Fe	2.392	1.789		4
Metal	Hg	< 0.059	< 0.059	µg/m ³	2
	Mn	0.101	0.097		0.2
	Ni	< 0.015	< 0.015		0.1
	Pb	< 0.034	< 0.034		0.5
	Mo	< 0.009	< 0.009		120
	Zn	11.562	6.003		120
Metales	As	< 0.027	< 0.027	µg/m ³	0.3
	Sb	< 0.027	< 0.027		25

Nota. Los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio

**Ambient Air Quality Criteria. Criterios de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá, mayo del 2020.

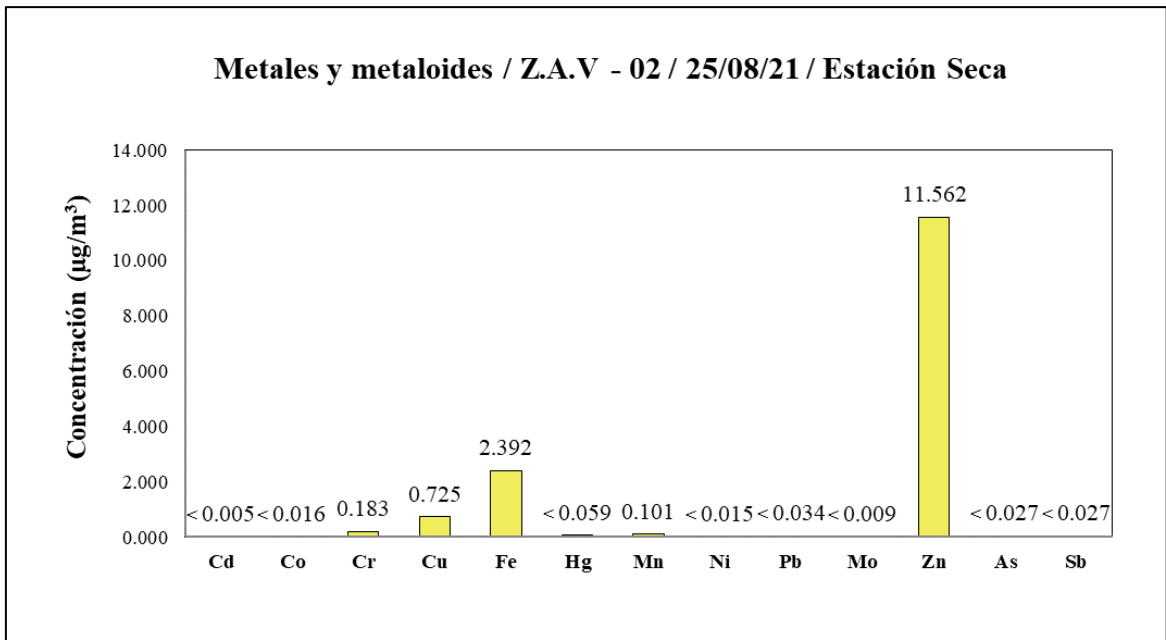


Figura 26. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 25/08/21 en estación seca

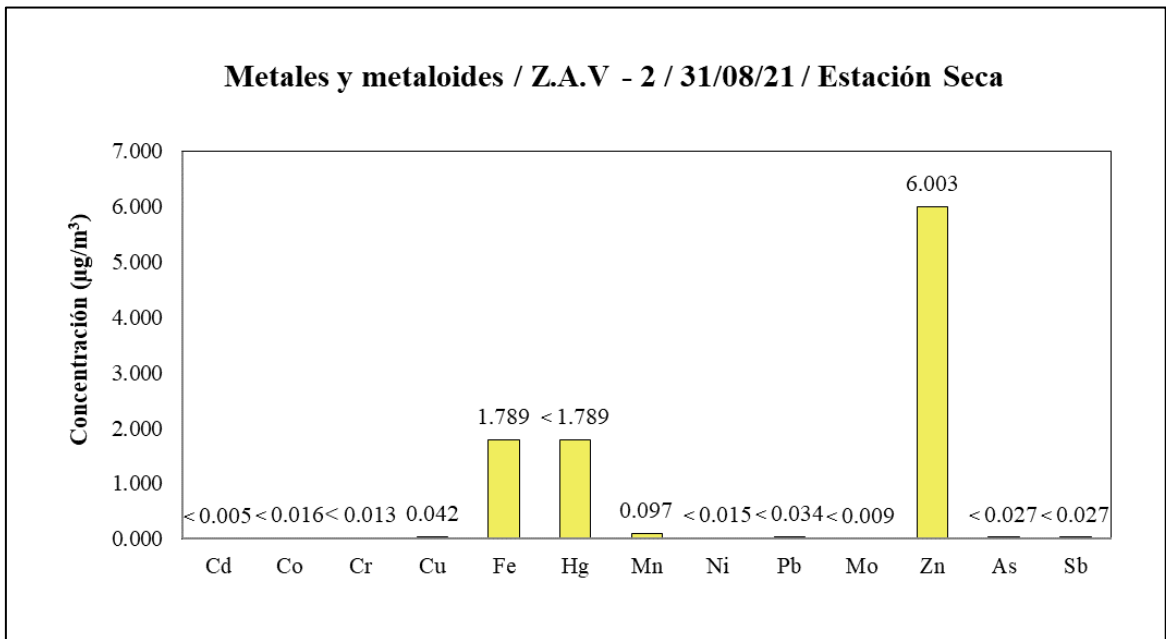


Figura 27. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 31/08/21 en estación seca

c. Av. Jorge Chávez N° 573

La concentración de metales y metaloides en la zona de alto tránsito vehicular N°3 en estación seca, muestra que, para el Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb se tienen valores menores que el límite de cuantificación, por otra parte, para el Cu, Fe, Mn y Zn se determinó concentraciones mayores del límite de cuantificación, en caso del Cr solo en el periodo de monitoreo del 26/08/21 al 27/08/21 superó el límite de cuantificación con 0.182 µg/m³. Todos los componentes químicos del PM₁₀ no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá para metales y metaloides en material particulado menor a 10 micras, como se aprecia en la Tabla 23 y Figuras 28 y 29.

Tabla 23.

Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°3 en estación seca

Orden	Elemento	Periodo de monitoreo		Unidad	**AAQC
		26/08/2021 al 27/08/2021	01/09/2021 al 02/09/2021		
	Cd	< 0.005	< 0.37		0.025
	Co	< 0.016	< 1.10		0.1
	Cr	0.182	< 0.013		0.5
	Cu	0.432	0.037		50
	Fe	2.459	1.582		4
Metal	Hg	< 0.059	< 0.059	µg/m ³	2
	Mn	0.104	0.083		0.2
	Ni	< 0.015	< 0.015		0.1
	Pb	< 0.034	< 0.034		0.5
	Mo	< 0.009	< 0.009		120
	Zn	12.474	5.645		120
Metales	As	< 0.027	< 0.027		0.3
	Sb	< 0.027	< 0.027	µg/m ³	25

Nota. Los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio

**Ambient Air Quality Criteria. Criterios de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá, mayo del 2020.

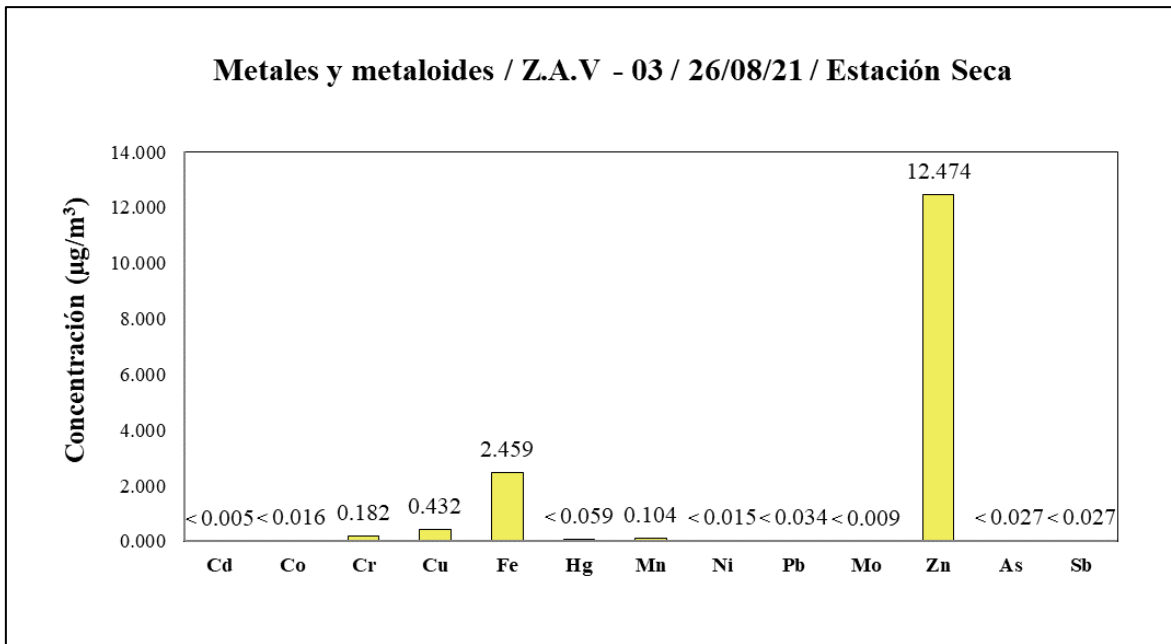


Figura 28. Concentración de metales y metaloides ZAV 3 - 26/08/21 en estación seca

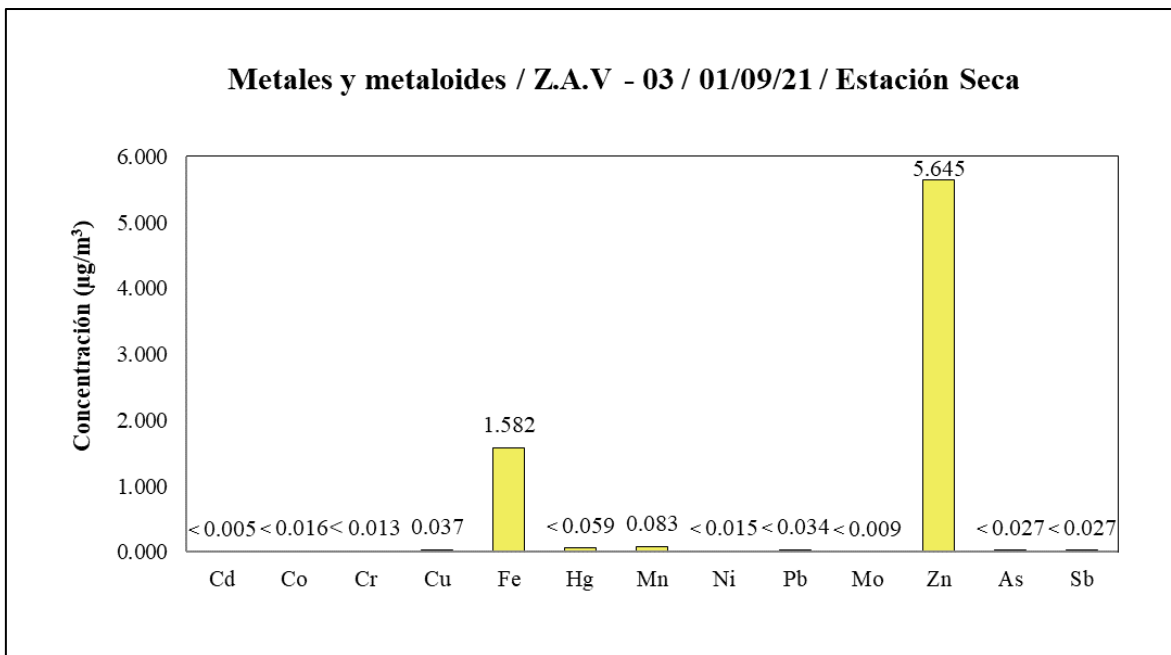


Figura 29. Concentración de metales y metaloides ZAV 3 - 01/09/21 en estación seca

4.2.2. Concentraciones de metales y metaloides en estación húmeda

a. Av. Manuel Núñez Butrón N° 466

La concentración de metales y metaloides en la zona de alto tránsito vehicular N° 1 en estación húmeda, muestra que, para el Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb se tienen valores menores que el límite de cuantificación, por otra parte, para el Cu, Fe y Mn se determinó concentraciones mayores del límite de cuantificación. Todos los componentes químicos del PM₁₀ no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá para metales y metaloides en material particulado menor a 10 micras, como se aprecia en la Tabla 24 y Figuras 30 y 31.

Tabla 24.

Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°1 en estación húmeda

Orden	Elemento	Periodo de monitoreo		Unidad	**AAQC
		14/12/2021 al 15/12/2021	20/12/2021 al 21/12/2021		
	Cd	< 0.005	< 0.005		0.025
	Co	< 0.016	< 0.016		0.1
	Cr	< 0.013	< 0.013		0.5
	Cu	0.075	0.055		50
	Fe	0.352	0.958		4
Metal	Hg	< 0.06	< 0.06	µg/m ³	2
	Mn	0.012	0.056		0.2
	Ni	< 0.015	< 0.015		0.1
	Pb	< 0.035	< 0.034		0.5
	Mo	< 0.009	< 0.009		120
	Zn	0.876	2.539		120
Metales	As	< 0.027	< 0.027		0.3
Metales	Sb	< 0.027	< 0.027	µg/m ³	25

Nota. Los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio

**Ambient Air Quality Criteria. Criterios de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá, mayo del 2020

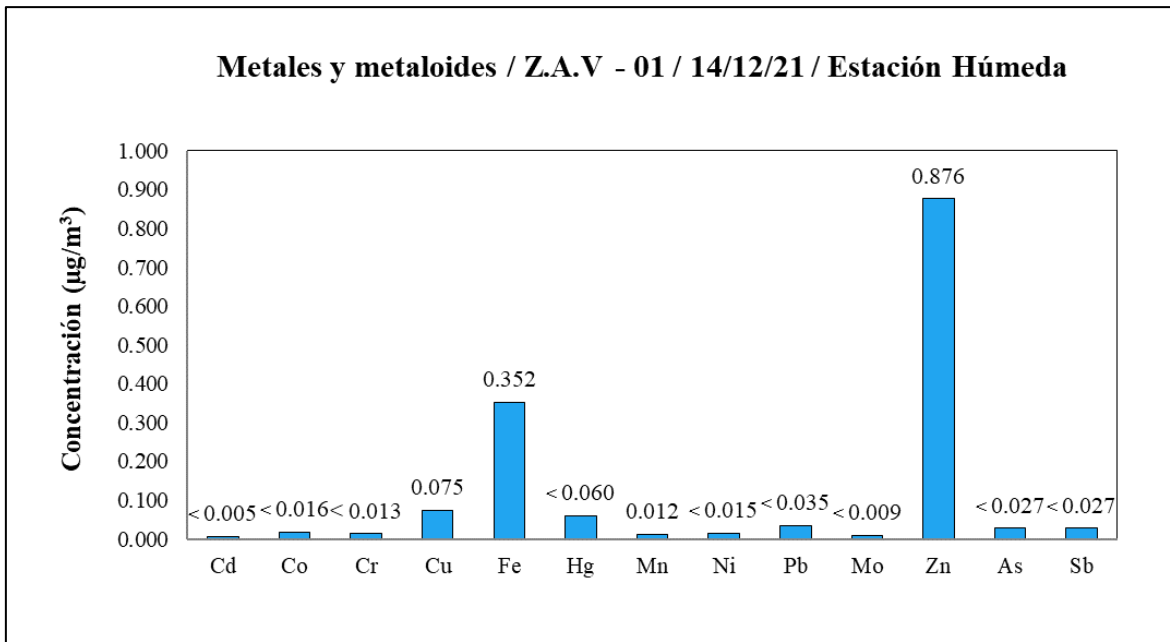


Figura 30. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 14/12/21 en estación húmeda

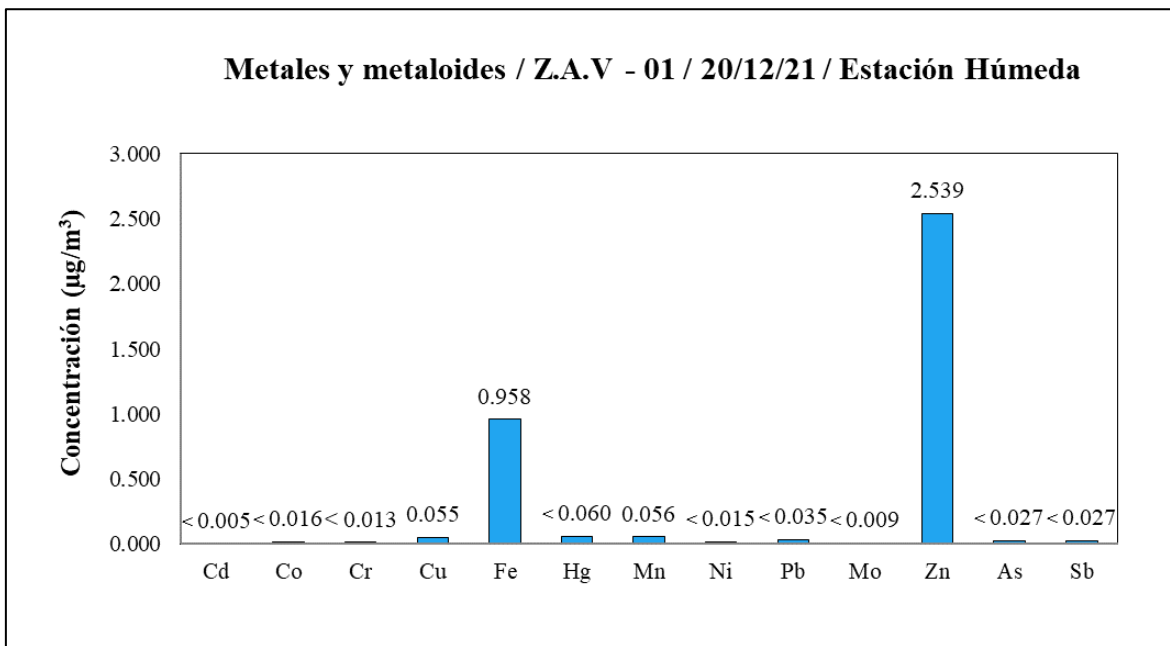


Figura 31. Concentración de metales y metaloides ZAV 1 - 20/12/21 en estación húmeda

b. Av. Huancané N° 123

La concentración de metales y metaloides en la zona de alto tránsito vehicular N° 2 en estación húmeda, muestra que, para el Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb se tienen valores menores que el límite de cuantificación, por otra parte, para el Cu, Fe, Mn y Zn se determinó concentraciones mayores del límite de cuantificación. Todos los componentes químicos del PM₁₀ no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá para metales y metaloides en material particulado menor a 10 micras, como se aprecia en la Tabla 25 y Figuras 32 y 33.

Tabla 25.

Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°2 en estación húmeda

Orden	Elemento	Periodo de monitoreo		Unidad	**AAQC
		15/12/2021 al	21/12/2021 al		
		16/12/2021	22/12/2021		
	Cd	< 0.005	< 0.005		0.025
	Co	< 0.016	< 0.016		0.1
	Cr	< 0.013	< 0.013		0.5
	Cu	0.02	0.04		50
	Fe	0.448	0.742		4
Metal	Hg	< 0.059	< 0.059	µg/m ³	2
	Mn	0.032	0.043		0.2
	Ni	< 0.015	< 0.015		0.1
	Pb	< 0.034	< 0.034		0.5
	Mo	< 0.009	< 0.009		120
	Zn	0.953	2.229		120
Metaloide	As	< 0.027	< 0.027	µg/m ³	0.3
	Sb	< 0.027	< 0.027		25

Nota. Los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio

**Ambient Air Quality Criteria. Criterios de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá, mayo del 2020.

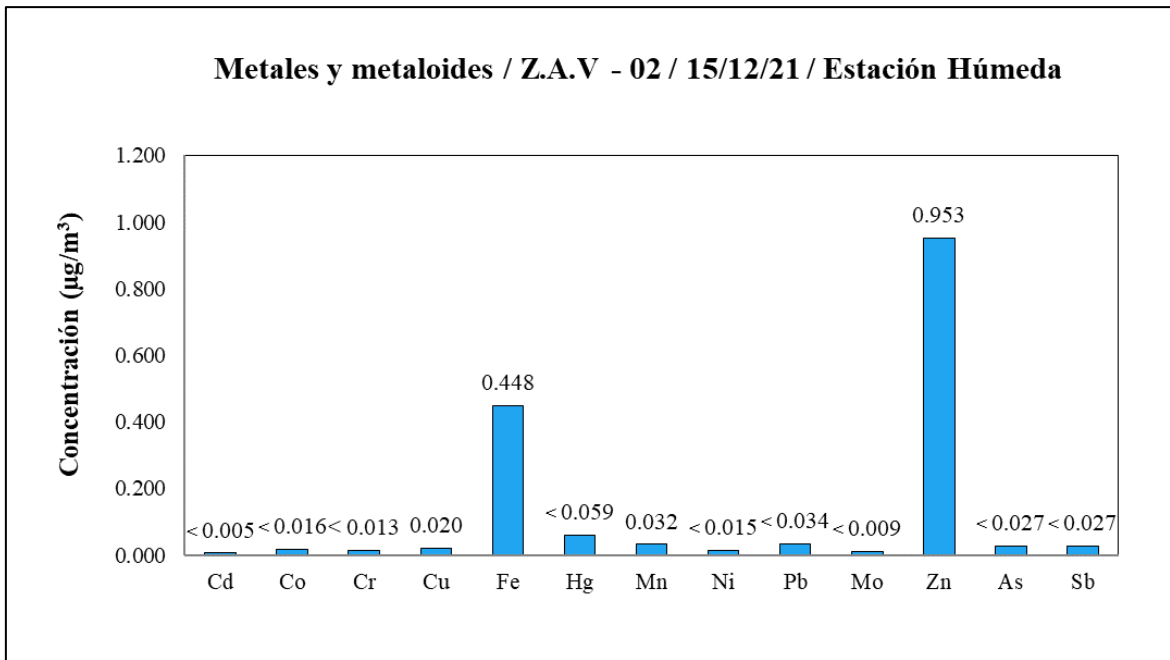


Figura 32. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 15/12/21 en estación húmeda

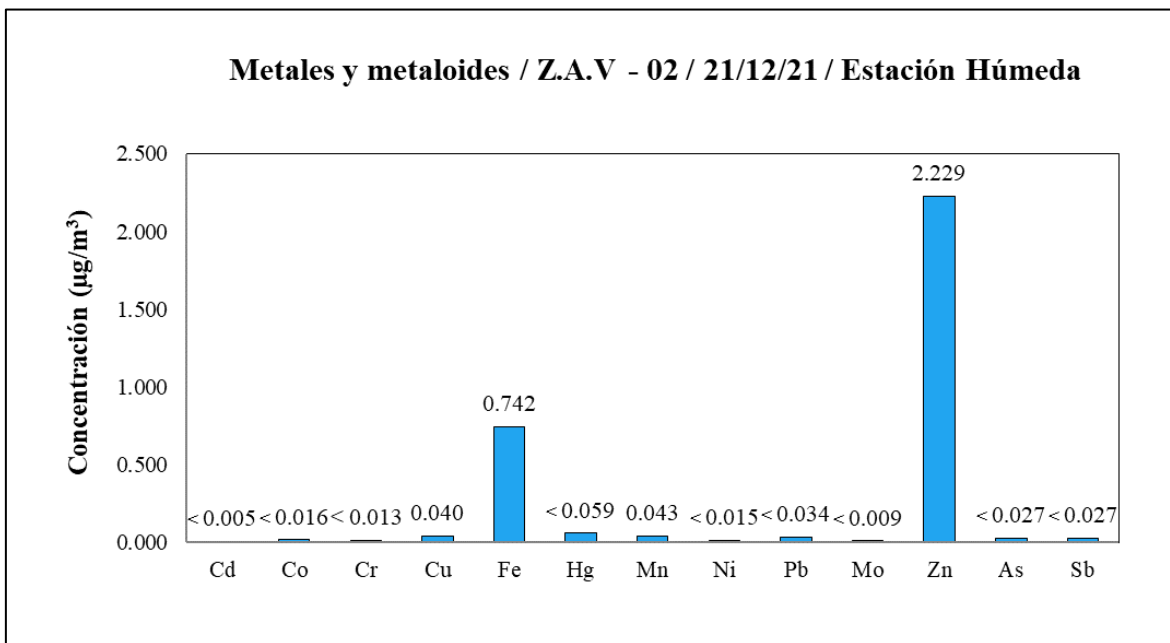


Figura 33. Concentración de metales y metaloides ZAV 2 - 21/12/21 en estación húmeda

c. Av. Jorge Chávez N° 573

La concentración de metales y metaloides en la zona de alto tránsito vehicular N°3 en estación húmeda, muestra que, para el Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Mo y As se tienen valores menores que el límite de cuantificación, en caso del Sb, en el segundo periodo sobrepasó el límite de cuantificación, por otra parte, para el Cu, Fe, Mn y Zn se determinó concentraciones mayores del límite de cuantificación. Todos los componentes químicos del PM₁₀ no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá para metales y metaloides en material particulado menor a 10 micras, como se aprecia en la Tabla 26 y Figuras 34 y 35.

Tabla 26

Concentración de metales y metaloides de la Z.A.V. N°3 en estación húmeda

Orden	Elemento	Periodo de monitoreo		Unidad	**AAQC
		16/12/2021 al 17/12/2021	22/12/2021 al 23/12/2021		
	Cd	< 0.005	< 0.005		0.025
	Co	< 0.016	< 0.016		0.1
	Cr	< 0.013	< 0.013		0.5
	Cu	0.046	0.069		50
	Fe	0.723	1.772		4
Metal	Hg	< 0.059	< 0.059	µg/m ³	2
	Mn	0.075	0.136		0.2
	Ni	< 0.015	< 0.015		0.1
	Pb	< 0.034	< 0.034		0.5
	Mo	< 0.009	< 0.009		120
	Zn	1.278	2.487		120
Metales	As	< 0.027	< 0.027	µg/m ³	0.3
	Sb	< 0.027	0.053		25

Nota. Los valores precedidos por el símbolo "<" (menor que), son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio

**Ambient Air Quality Criteria. Criterios de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá, mayo del 2020

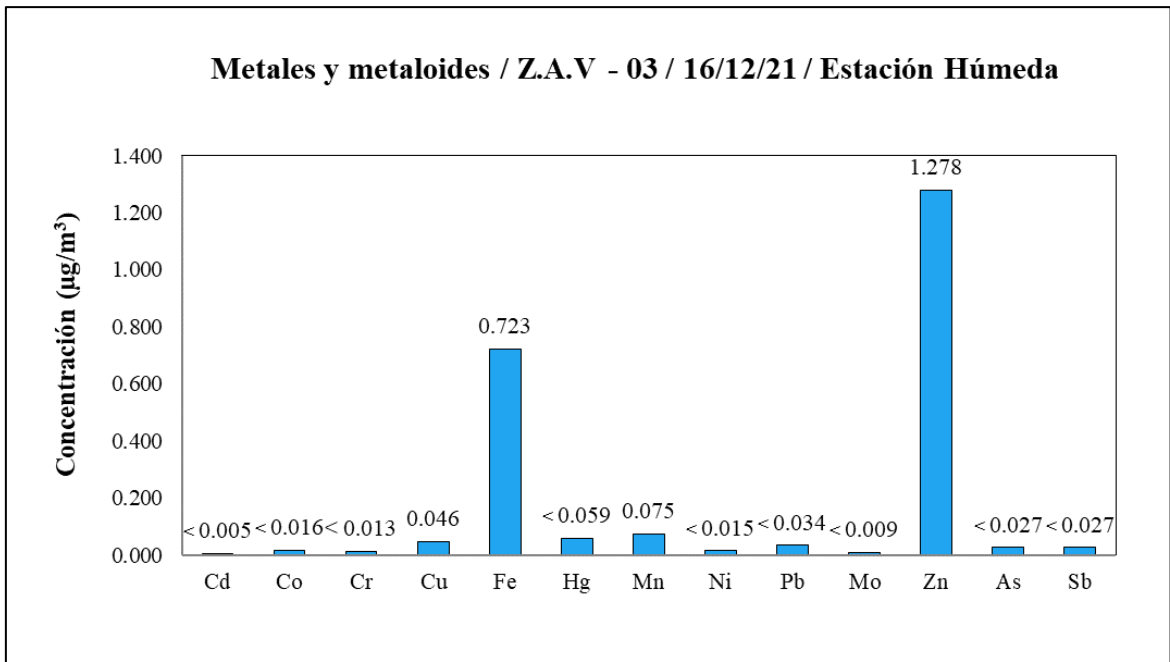


Figura 34. Concentración de metales y metaloides ZAV 3 - 16/12/21 en estación húmeda

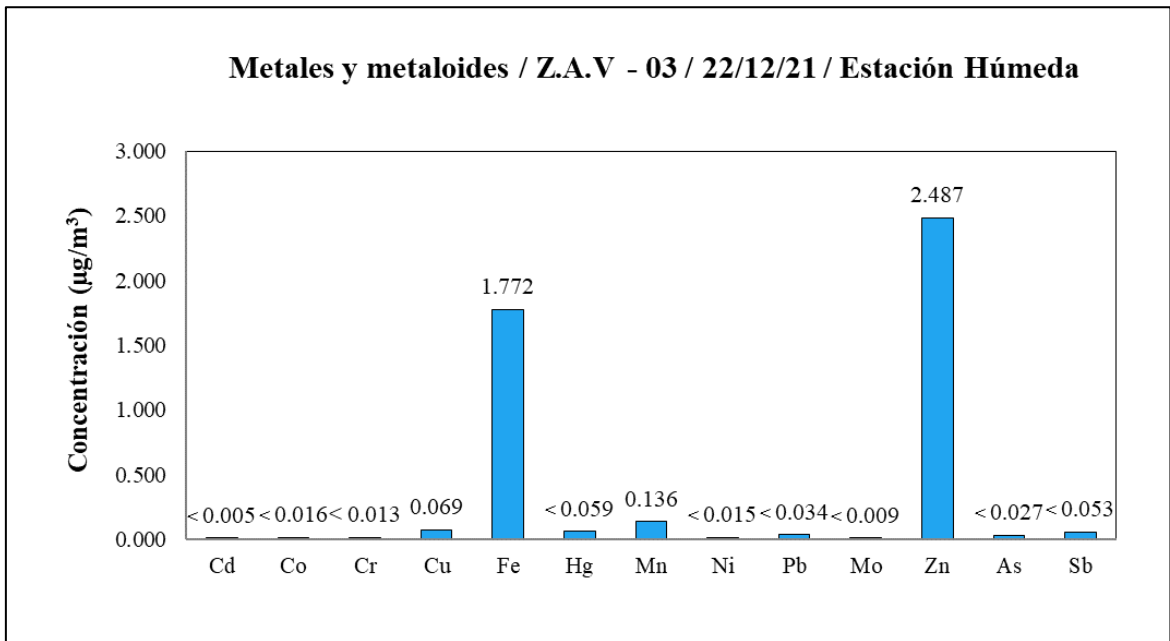


Figura 35. Concentración de metales y metaloides ZAV 3- 22/12/21 en estación húmeda

4.2.3. Concentraciones de metales y metaloides en estación seca – húmeda

En relación a las concentraciones de metales y metaloides, estos se encuentran en la superficie del material particulado, producto de la interacción de la atmosfera circundante (Manahan, 2007), la composición química varía de acuerdo con la zona geográfica y la estación del año (Jorquera Gonzáles, 2015). Según lo mencionado por Nriagu y Pacyna (1988), el Cu puede ser generado por fuentes móviles y plantas de generación de potencia, donde, las partículas viajan a grandes distancias. Por su parte Morales et al. (1996), menciona que Cu y Zn están principalmente relacionados con las emisiones de las actividades antropogénicas (industria y transporte) y biogénicas, obteniendo valores promedio de 0.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, para el caso de Fe está asociada a la corteza terrestre, que por la erosión del suelo se introduce a la atmosfera, alcanzando un valor promedio de 0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De acuerdo con Trujillo et al. (2020), indica que las concentraciones de Mn es producto de la actividad industrial presente en la zona y del comportamiento del viento, donde, encontró concentraciones. En cuanto a todos los componentes químicos del PM_{10} analizados, no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá para metales y metaloides en material particulado menor a 10 micras para el periodo de estudio de la presente investigación, de acuerdo con la Tabla 27.

Tabla 27.

Concentraciones de metales y metaloides que superaron el L.C.M. en zonas de alto tránsito vehicular

ZAV	Elemento	Concentración E. Seca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración E. Húmeda ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ZAV - 01	Cr	0.10	---
	Cu	0.49	0.065
	Fe	1.78	0.655
	Mn	0.08	0.034
	Zn	3.49	1.708

Tabla 27 (Continuación).

Concentraciones de metales y metaloides que superaron el L.C.M. en zonas de alto tránsito vehicular (Parte 2)

ZAV	Elemento	Concentración E. Seca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración E. Húmeda ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ZAV - 02	Cr	0.098	---
	Cu	0.383	0.030
	Fe	2.090	0.595
	Mn	0.099	0.037
	Zn	8.782	1.591
ZAV - 03	Cr	0.097	---
	Cu	0.235	0.058
	Fe	2.020	1.248
	Mn	0.094	0.105
	Zn	9.059	1.882

En la zona de alto tránsito vehicular N°1 ubicada en la Salida a Puno, durante la estación seca, se determinaron las concentraciones de metales y metaloides, donde, los valores promedio fueron para: Cu $0.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $1.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $3.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en caso del Cr en la primera campaña $0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la segunda fue menor al límite de cuantificación del método (L.C.M), a diferencia de: Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb que mostraron concentraciones menores al L.C.M. Correspondiente a la estación húmeda las concentraciones promedio de los elementos que superaron el L.C.M son Cu $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $0.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $1.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo contrario, Cr, Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb no superaron el límite de cuantificación del método. Se infiere que la presencia de los componentes químicos Cr, Cu, Fe, Mn y Zn se encuentran asociados a las emisiones de unidades vehiculares del paradero urbano el Dorado, partículas de las vías con pavimento deteriorado y a la vía férrea de la empresa Perurail S.A a 75 m del punto de monitoreo, los cuales aportan material particulado menor a 10 micras en la atmósfera.

La zona de alto tránsito vehicular N°2 ubicada en la Salida a Huancané, durante la estación seca, se determinaron las concentraciones de metales y metaloides, donde, los valores promedio fueron para: Cu $0.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $2.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $8.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para Cr en la primera campaña $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda campaña menor al límite de cuantificación del método (L.C.M), a diferencia de: Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb que mostraron concentraciones menores al L.C.M. Correspondiente a la estación húmeda las concentraciones promedio de los elementos que superaron el L.C.M son Cu $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $0.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $1.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo contrario, Cr, Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb no superaron el límite de cuantificación del método. En referencia a los componentes químicos Cr, Cu, Fe, Mn y Zn, se deben al alto flujo vehicular de la rotonda del Ovalo Pedro Vilcapaza, ya que, es uno de los accesos principales de circulación unidades vehiculares, además, de que en los alrededores se tienen vías colindantes sin pavimentación, pollerías, paraderos urbanos y áreas verdes descuidados, lo cual favorece al arrastre de PM_{10} por la acción del flujo del viento.

En la zona de alto tránsito vehicular N°3 ubicada en la Salida a Cusco, durante la estación seca, se determinaron las concentraciones de metales y metaloides, donde, los valores promedio fueron para Cu $0.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $2.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $9.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para Cr en la primera campaña $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la segunda menor al límite de cuantificación del método (L.C.M), a diferencia de: Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb que mostraron concentraciones menores al L.C.M. Correspondiente a la estación húmeda las concentraciones promedio de los elementos que superaron el L.C.M son Cu $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $1.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo contrario, Cr, Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Mo, As y Sb no superaron el límite de cuantificación del método. Agregando a lo anterior, los componentes químicos Cr, Cu, Fe, Mn y Zn, inferimos que están relacionados principalmente con las emisiones de unidades vehiculares, provenientes de empresas de transporte urbano, carga pesada y vías sin pavimentación.

4.3. Condiciones meteorológicas de zonas de alto tránsito vehicular

Las condiciones meteorológicas analizadas en el presente estudio son: temperatura, precipitación pluvial, humedad, velocidad y dirección del viento en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca.

4.3.1. Condiciones meteorológicas en estación seca

a. Temperatura

a.1. Campaña de monitoreo N°1

Los registros de temperatura obtenidos durante la campaña de monitoreo N°1 en estación seca del 24/08/21 al 27/08/21 muestran que el valor promedio de temperatura es de 10.47 °C. Asimismo, el valor más alto de temperatura registra un valor de 20.2 °C y el mínimo con 2 °C. El comportamiento de la temperatura para la campaña de monitoreo N°1 se presenta en la Figura 36.

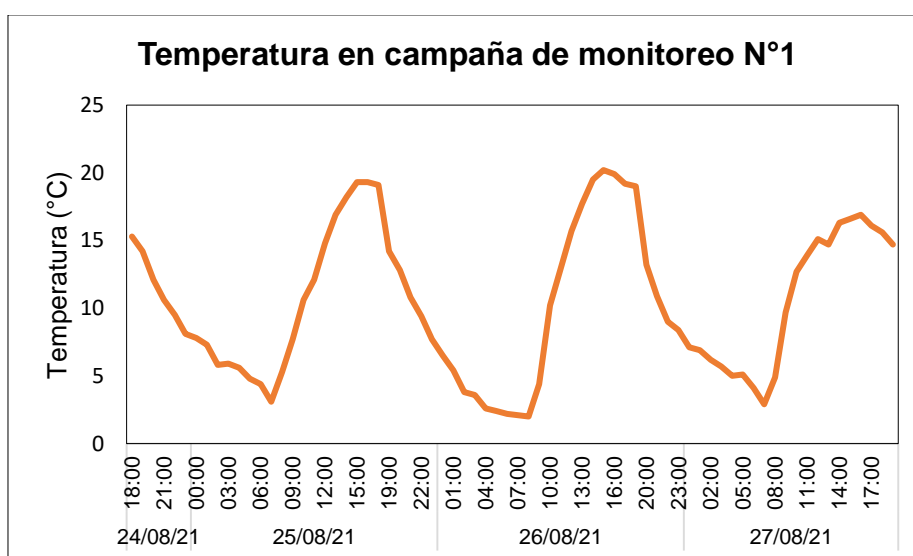


Figura 36. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°1

a.2. Campaña de monitoreo N°2

Los registros de temperatura obtenidos durante la campaña de monitoreo N°2 en estación seca del 30/08/21 al 02/09/21 muestran que el valor promedio de temperatura es de 10.63 °C. Asimismo, el valor más alto de temperatura registra un valor de 20.5 °C y el mínimo con 2.6 °C. El comportamiento de la temperatura para la campaña de monitoreo N°2 se presenta en la Figura 37.

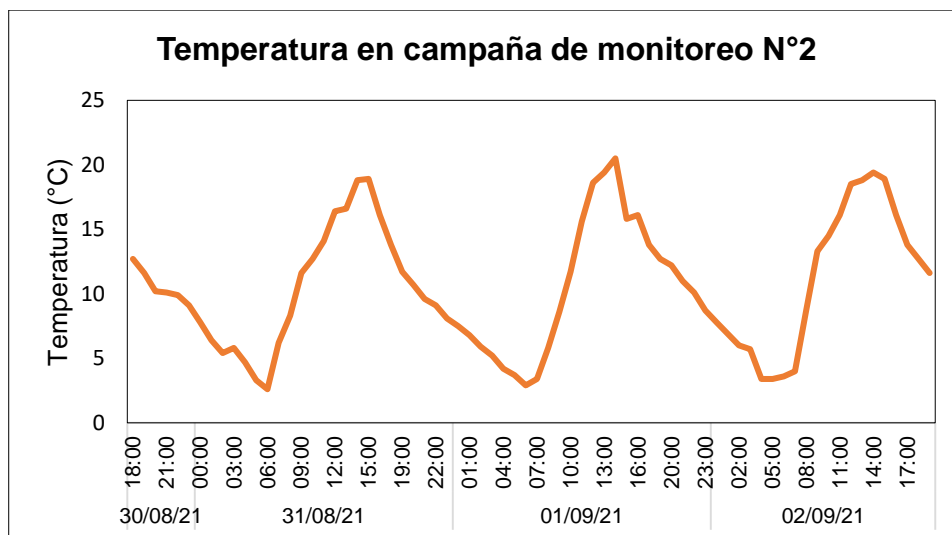


Figura 37. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°2

b. Humedad relativa

b.1. Campaña de monitoreo N°1

Los datos de humedad obtenidos durante la campaña de monitoreo N°01 en estación seca del 24/08/21 al 27/08/21 muestran que el valor promedio de humedad es de 27.9 %. Asimismo, el valor más alto de humedad registra un valor de 49 % y el mínimo con 4 %. El comportamiento de la humedad para la campaña de monitoreo N°1 se presenta en la Figura 38.

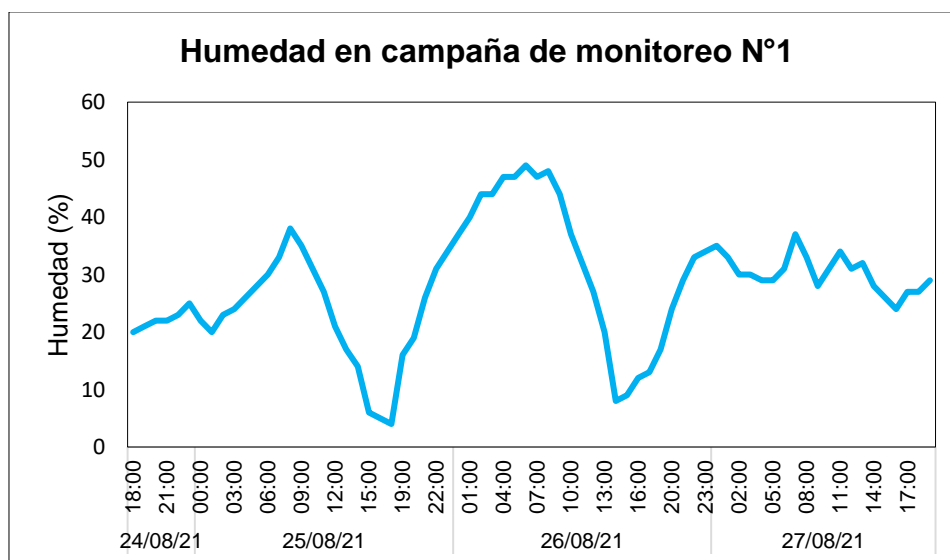


Figura 38. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°1

b.2. Campaña de monitoreo N°2

Los datos de humedad obtenidos durante la campaña de monitoreo N°2 en estación seca del 30/08/21 al 02/09/21 muestran que el valor promedio de humedad es de 39 %. Asimismo, el valor más alto de humedad registra un valor de 72 % y el mínimo con 13 %. El comportamiento de la humedad para la campaña de monitoreo N°2 se presenta en la Figura 39.

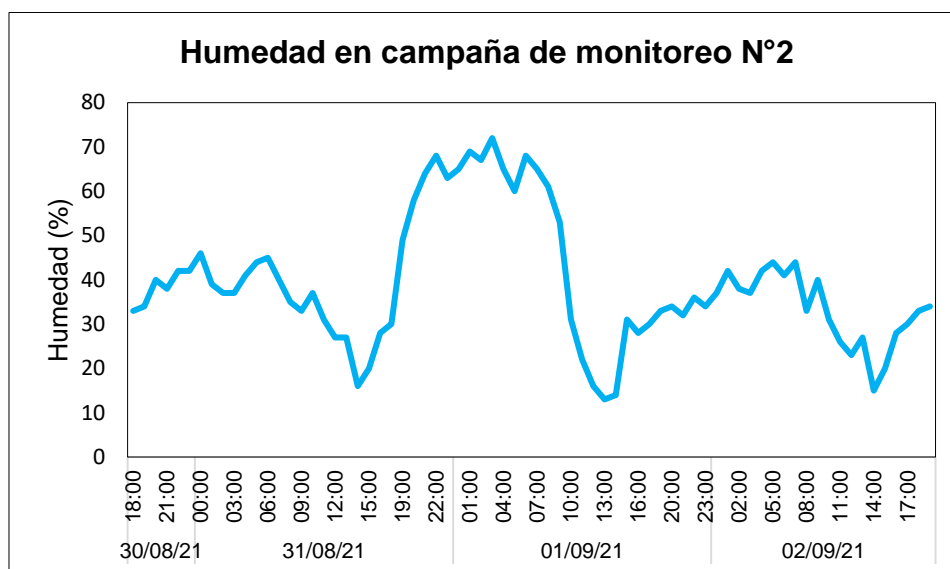


Figura 39. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°2

c. Velocidad y dirección del viento

c.1. Campaña de monitoreo N°1

La información de velocidad de viento obtenidos durante la campaña de monitoreo N°1 en estación seca del 24/08/21 al 27/08/21 muestran que el valor promedio de la velocidad del viento es de 1.73 m/s. Asimismo, el valor más alto de velocidad del viento registra un valor de 6.3 m/s y el mínimo con 0 m/s. El comportamiento de la velocidad del viento para la campaña de monitoreo N°1 se presenta en la Figura 40.

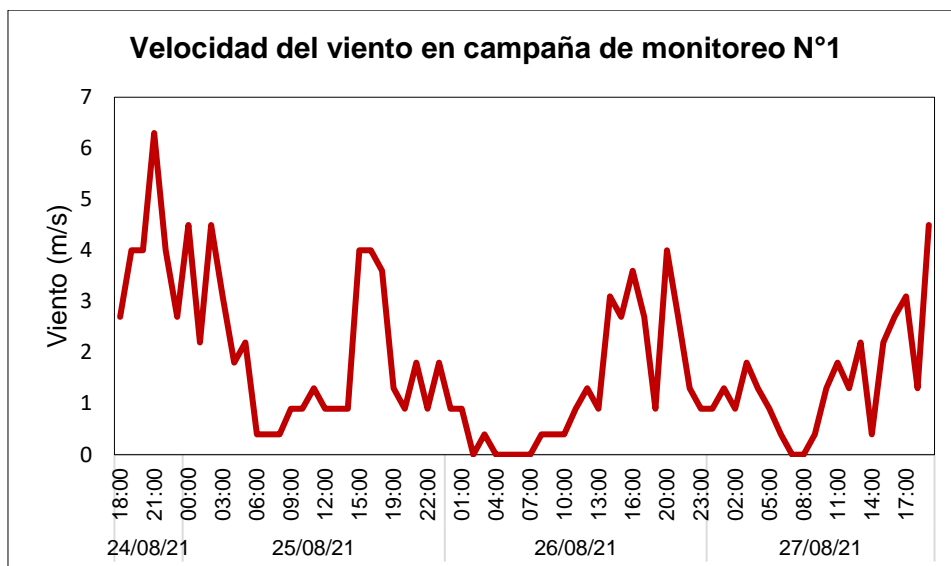


Figura 40. Comportamiento del viento en ZAVs de campaña de monitoreo N°1

El comportamiento de la dirección del viento en la campaña de monitoreo N°1, las direcciones predominantes del viento fueron las siguientes: Z.A.V. N°01 con 33.33 % en SSW, Z.A.V. N°2 con 16.67 % en N y en Z.A.V. N°3 con 20.83 % en W. La representación de las velocidades las podemos observar en la Tabla 28.

Tabla 28.

Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°1 en estación seca

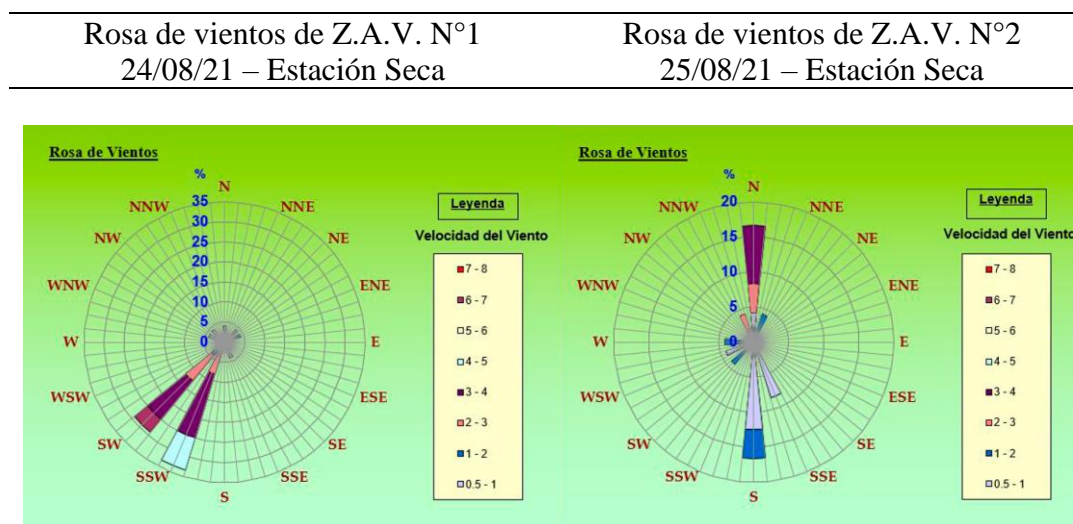
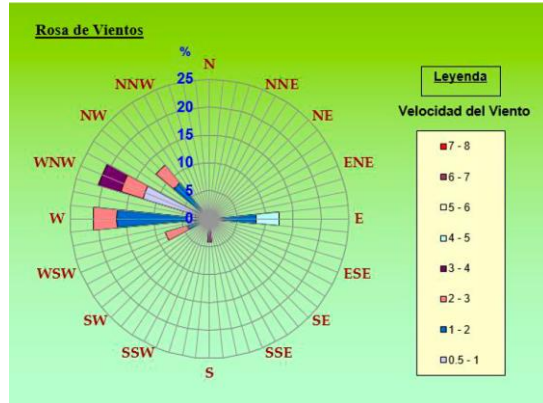


Tabla 28.

Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°1 en estación seca

Rosa de vientos de Z.A.V. N°3
26/08/21 – Estación Seca



c.2. Campaña de monitoreo N°2

La información de velocidad de viento obtenidos durante la campaña de monitoreo N°2 en estación seca del 30/08/21 al 02/09/21 muestran que el valor promedio de la velocidad del viento es de 0.85 m/s. Asimismo, el valor más alto de velocidad del viento registra un valor de 3.1 m/s y el mínimo con 0 m/s. Según la Figura 41.

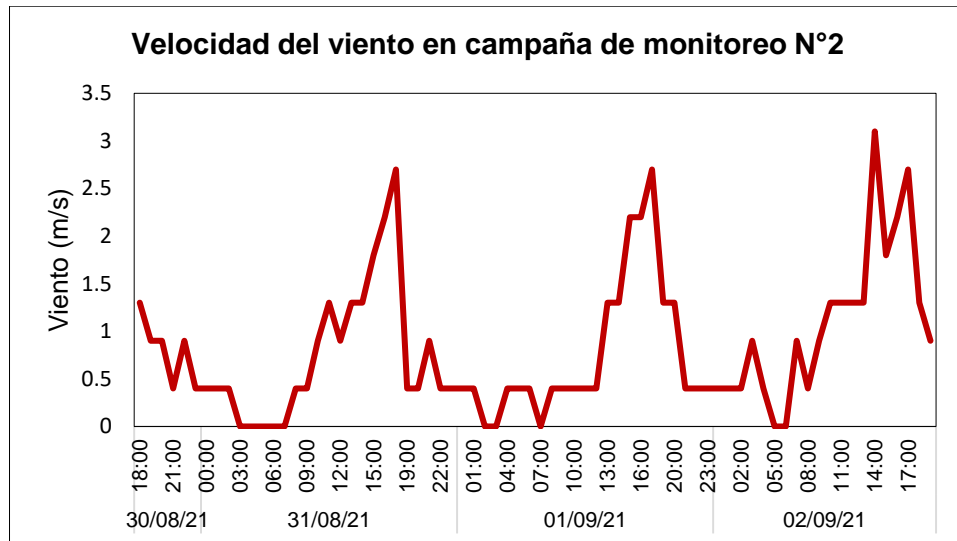


Figura 41. Comportamiento del viento en ZAVs de campaña de monitoreo N°2

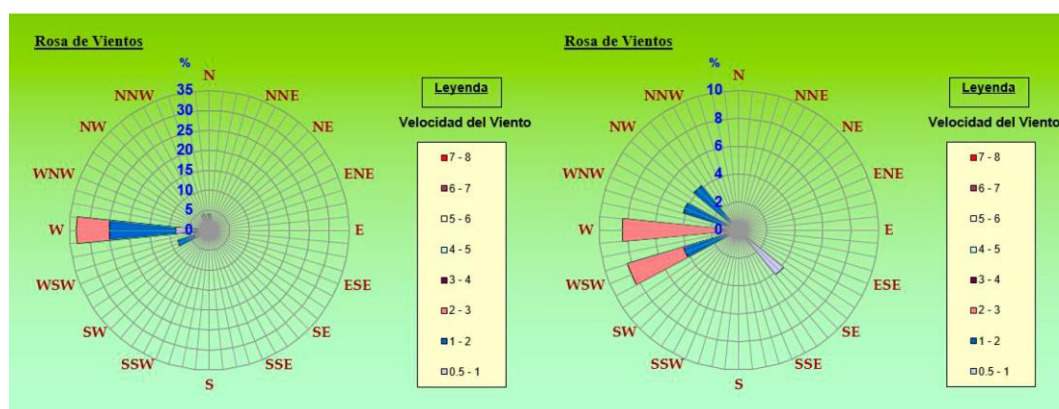
El comportamiento de la dirección del viento en la campaña de monitoreo N°2, las direcciones predominantes del viento fueron las siguientes: Z.A.V. N°1 con 33.33 % en W, Z.A.V. N°2 con 8.33 % en WSW y en Z.A.V. N°3 con 25.00 % en E. La representación de las velocidades las podemos observar en la Tabla 29.

Tabla 29.

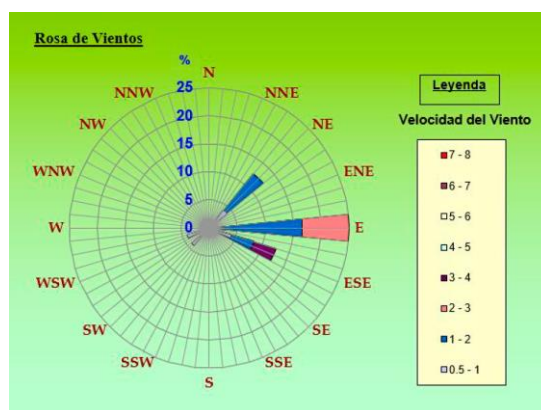
Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°2 en estación seca

Rosa de vientos de Z.A.V. N°1
30/08/21 – Estación Seca

Rosa de vientos de Z.A.V. N°2
31/08/21 – Estación Seca



Rosa de vientos de Z.A.V. N° 3
01/09/21 – Estación Seca



4.3.2. Condiciones meteorológicas en estación húmeda

a. Temperatura

a.1. Campaña de monitoreo N°3

Los registros de temperatura obtenidos durante la campaña de monitoreo N°3 en estación húmeda del 14/12/21 al 17/12/21 muestran que el valor promedio de temperatura es de 10 °C. Asimismo, el valor más alto de temperatura registra un valor de 19 °C y el mínimo con 4.9 °C Según la Figura 42.

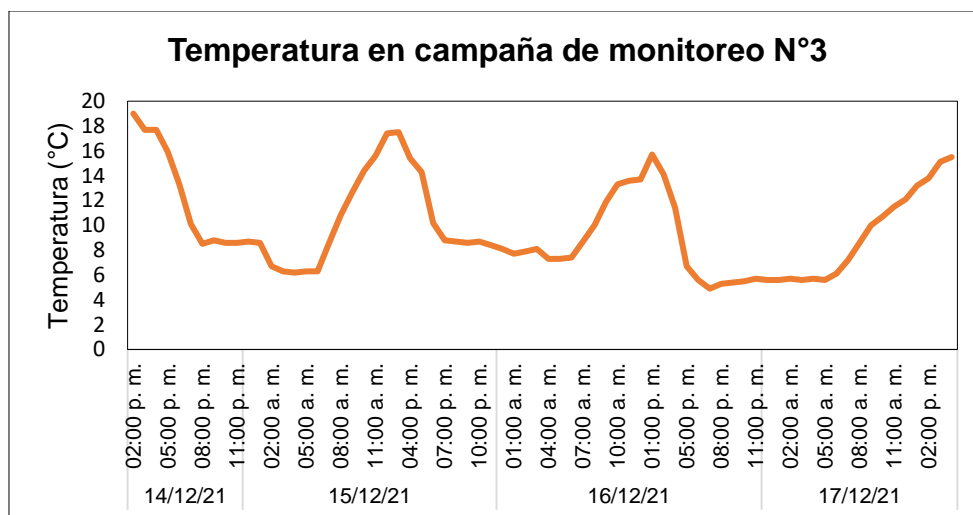


Figura 42. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°3

a.2. Campaña de monitoreo N° 4

Los registros de temperatura obtenidos durante la campaña de monitoreo N°4 en estación húmeda del 20/12/21 al 23/12/21 muestran que el valor promedio de temperatura es de 9.62 °C. Asimismo, el valor más alto de temperatura registra un valor de 16.2 °C y el mínimo con 4.9 °C. Según la Figura 43.

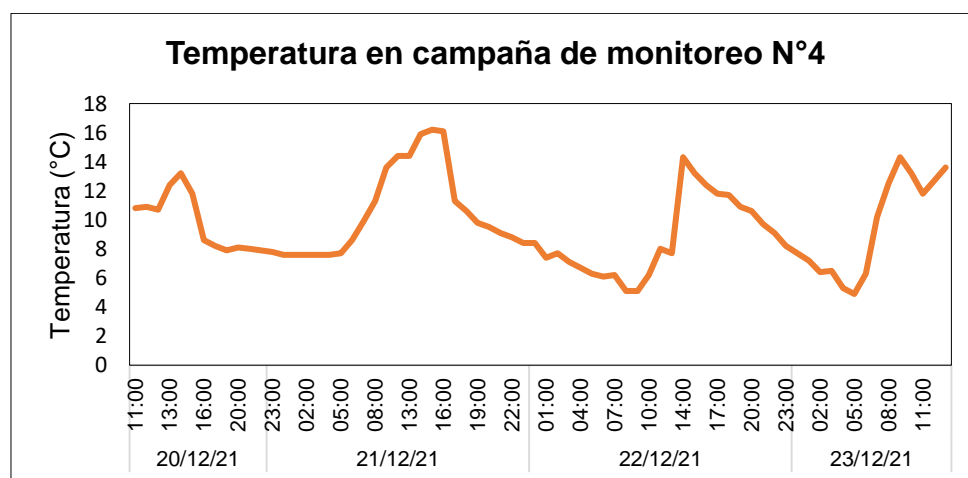


Figura 43. Comportamiento de la temperatura en campaña de monitoreo N°4

b. Humedad relativa

b.1. Campaña de monitoreo N°3

Los datos de humedad obtenidos durante la campaña de monitoreo N°3 en estación húmeda del 14/12/21 al 17/12/21 muestran que el valor promedio de humedad es de 74.83 %. Asimismo, el valor más alto de humedad registra un valor de 98 % y el mínimo con 33 %. El comportamiento de la humedad para la campaña de monitoreo N°3 se presenta en la Figura 44.

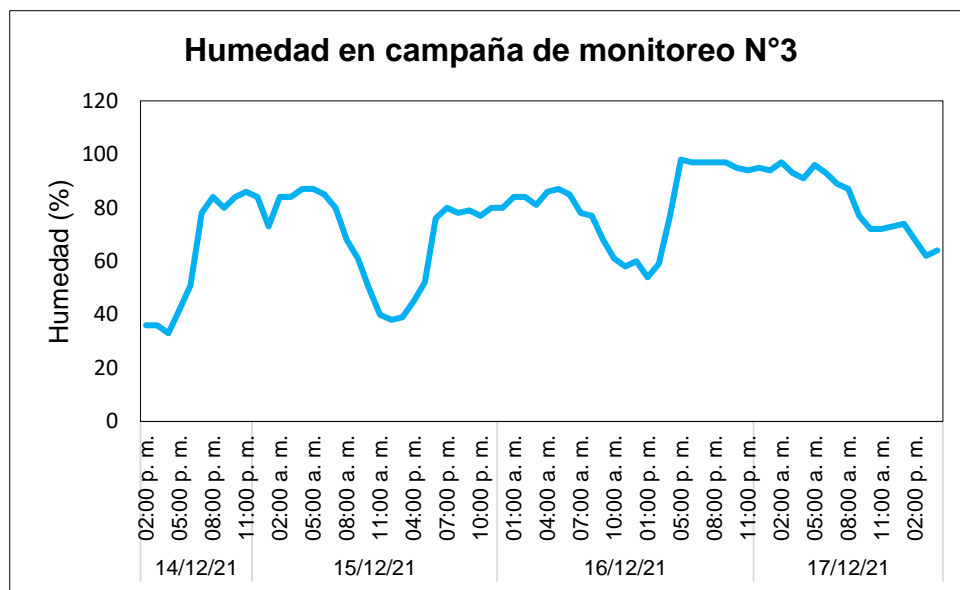


Figura 44. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°3

b.2. Campaña de monitoreo N°4

Los datos de humedad obtenidos durante la campaña de monitoreo N°4 en estación húmeda del 20/12/21 al 23/12/21 muestran que el valor promedio de humedad es de 73.44 %. Asimismo, el valor más alto de humedad registra un valor de 92 % y el mínimo con 47 %. El comportamiento de la humedad para la campaña de monitoreo N°4 se presenta en la Figura 45.

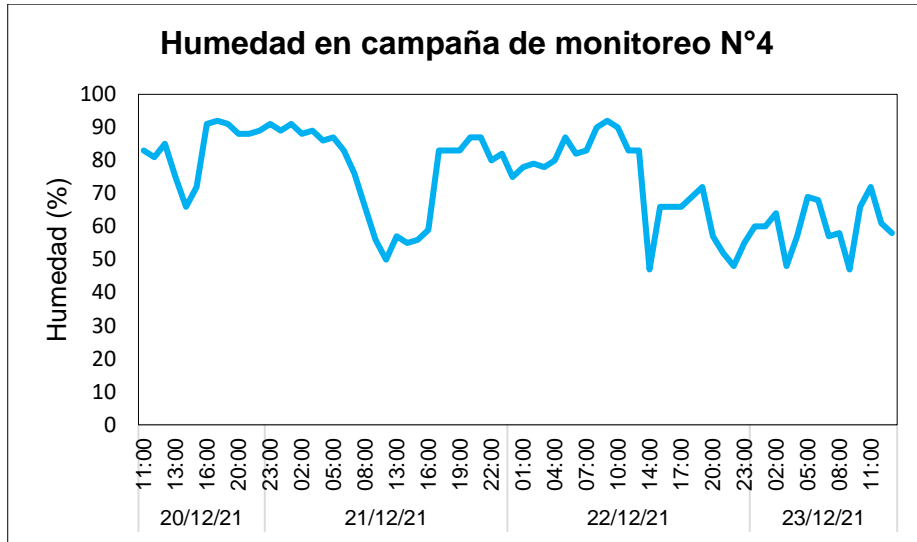


Figura 45. Comportamiento de la humedad en campaña de monitoreo N°4

c. Velocidad y dirección del viento

c.1. Campaña de monitoreo N°3

La información de velocidad de viento obtenidos durante la campaña de monitoreo N°3 en estación húmeda del 14/12/21 al 17/12/21 muestran que el valor promedio de la velocidad del viento es de 1.19 m/s. Asimismo, el valor más alto de velocidad del viento registra un valor de 4.5 m/s y el mínimo con 0 m/s. El comportamiento de la velocidad del viento para la campaña de monitoreo N°3 se presenta en la Figura 46.

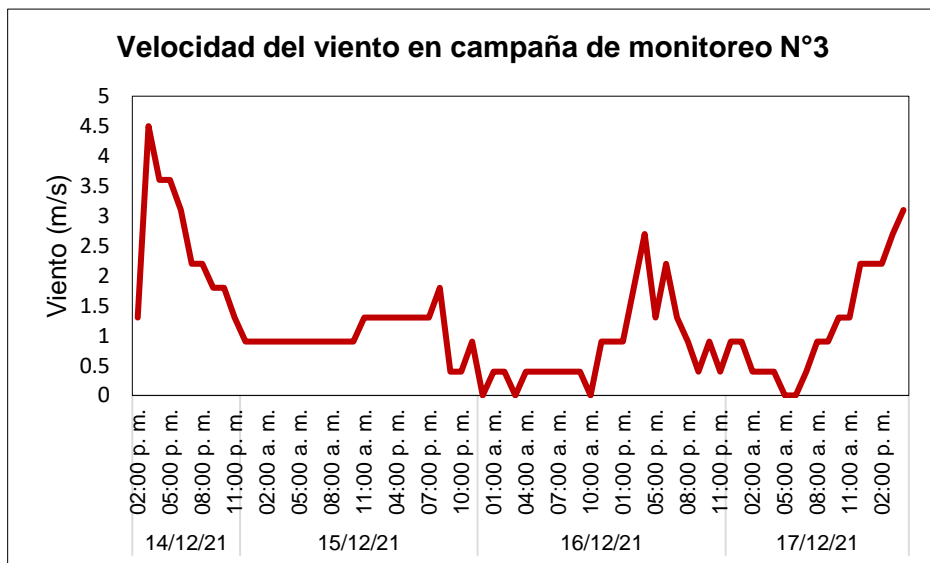


Figura 46. Comportamiento del viento en campaña de monitoreo N°3

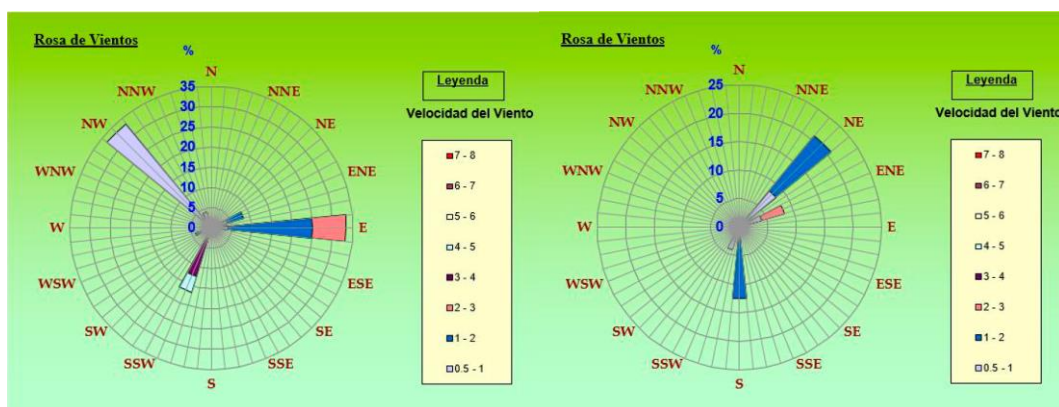
El comportamiento de la dirección del viento en la campaña de monitoreo N°03, las direcciones predominantes del viento fueron las siguientes: Z.A.V. N°1 con 33.33 % en NW, Z.A.V. N°2 con 20.83 % en NE y en Z.A.V. N°3 con 20.83 % en N. La representación de las velocidades las podemos observar en la Tabla 30.

Tabla 30.

Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°3 en estación húmeda

Rosa de vientos de Z.A.V. N°1
14/12/21 – Estación Húmeda

Rosa de vientos de Z.A.V. N°2
15/12/21 – Estación Húmeda



Rosa de vientos de Z.A.V. N°3
16/12/21 – Estación Húmeda



c.2. Campaña de monitoreo N°4

La información de velocidad de viento obtenidos durante la campaña de monitoreo N°4 en estación húmeda del 20/12/21 al 23/12/21 muestran que el valor promedio de la velocidad del viento es de 0.92 m/s. Asimismo, el valor más alto de velocidad del viento registra un valor de 2.2 m/s y el mínimo con 0 m/s. El comportamiento de la velocidad del viento para la campaña de monitoreo N°04 se presenta en la Figura 47.

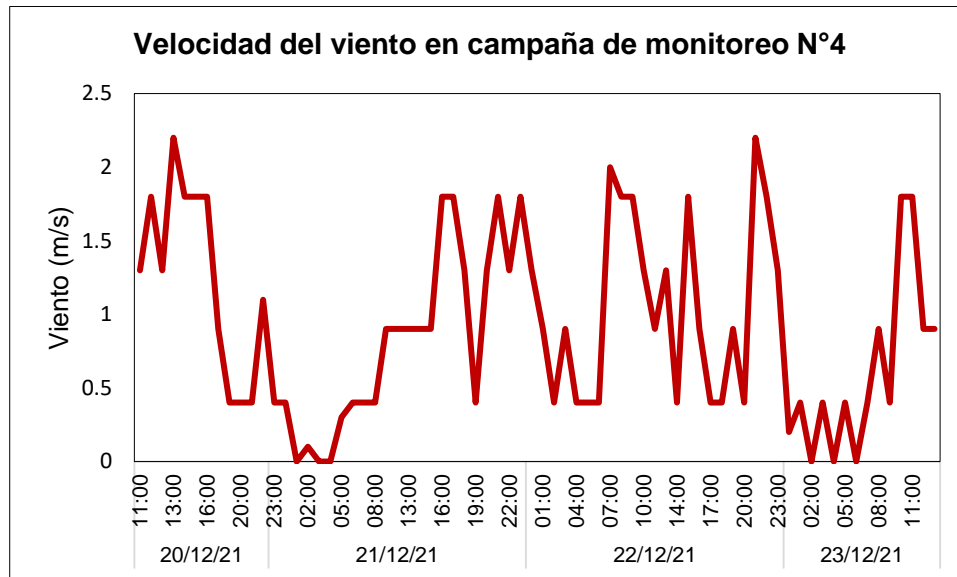


Figura 47. Comportamiento del viento en ZAVs de campaña de monitoreo N°4

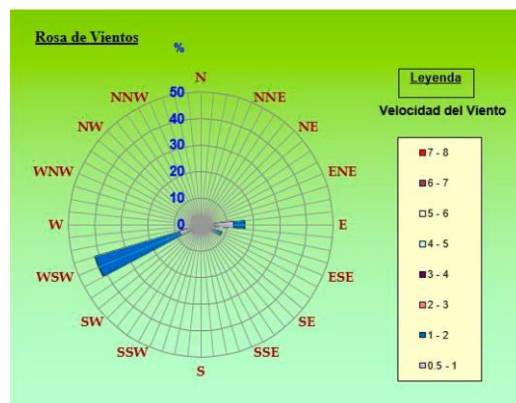
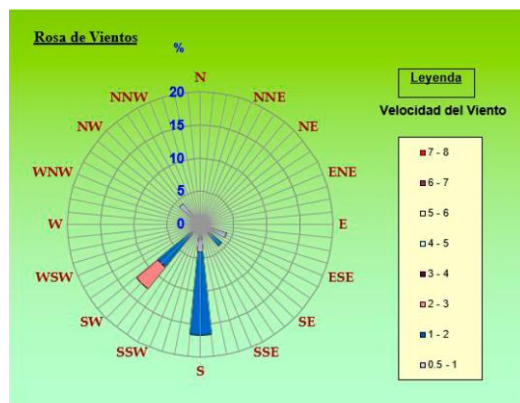
El comportamiento de la dirección del viento en la campaña de monitoreo N°4, las direcciones predominantes del viento fueron las siguientes: Z.A.V. N°1 con 16.67 % en S, Z.A.V. N°2 con 41.67 % en WSW y en Z.A.V. N°3 con 16.67 % en WSW. La representación de las velocidades las podemos observar en la Tabla 31.

Tabla 31.

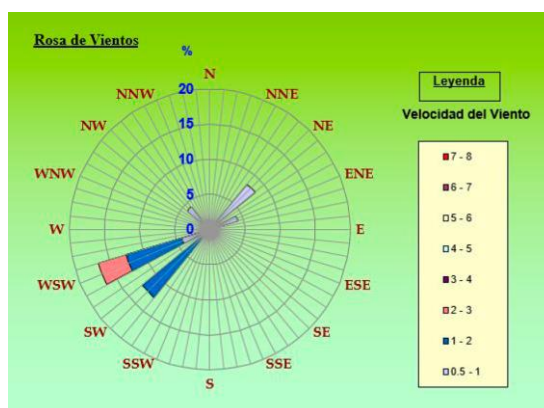
Rosas de vientos de campaña de monitoreo N°4 en estación húmeda

Rosa de vientos de Z.A.V. N°1
20/12/21 – Estación Húmeda

Rosa de vientos de Z.A.V. N°2
21/12/21 – Estación Húmeda



Rosa de vientos de Z.A.V. N°3
22/12/21 – Estación Húmeda



4.4. Desviación estándar y prueba paramétrica t de student

En el presente estudio se determinó la desviación estándar y se aplicó la prueba paramétrica numérica de t de Student para una muestra, correspondiente a los datos obtenidos de material particulado menor a 10 micras de las zonas de alto tránsito vehicular, con la finalidad de contrastar la hipótesis planteada en nivel de significación mayor y menor. Los softwares utilizados para los análisis estadísticos fueron el SPSS Statistics 22 y el Statgraphics Centurion XVI.

4.4.1. Desviación estándar y prueba t de student de PM₁₀ en estación seca

Para la prueba de hipótesis se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para estación seca, donde, la media es de 107.491 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, error estándar de 2.573, desviación estándar de 6.303, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de 102.448 y superior de 112.534, según se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32.

Estadísticos descriptivos para PM₁₀ en estación seca

Estadísticos	Valor
Media	107.491
Error estándar	2.573
Desviación estándar	6.303
IC 95% Límite inferior	102.448
IC 95% Límite superior	112.534

Las concentraciones de material particulado menor a 10 micras en estación seca, se dispersan respecto a la media aritmética de 107.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente 6.303 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, así mismo, los datos siguen una distribución normal según la representación gráfica de la Figura 48 y que son confirmados en la Tabla 33.

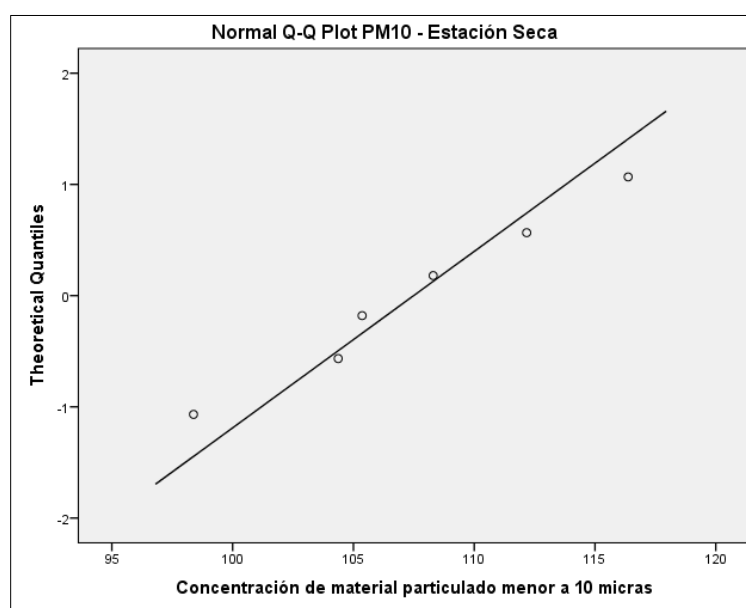


Figura 48. Gráfico Q-Q normal para concentración de PM₁₀ en estación seca

La prueba de normalidad que se aplicó para las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en estación seca, es la de Shapiro-Wilk, puesto que, nuestros datos son menor a 50. Se mostró que los datos de PM₁₀ según Tabla 33 tiene un nivel de significación de 0.986, por lo que, los datos tienen una distribución normal y es aplicable la prueba paramétrica de la t de student.

Tabla 33.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para PM₁₀ en estación seca

Componente	Valor
Estadístico	0.989
Grado de libertad (gl)	6
Nivel de significación	0.986

En la Tabla 34 se detalla el proceso estadístico de la t de student desde el planteamiento de la prueba de hipótesis hasta su interpretación.

Tabla 34.

Significancia estadística para PM₁₀ en estación seca

N	Descripción								
	Plantear Hipótesis								
1	<p>Ho: No existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras en estación seca en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca.</p> <p>H₁: Existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras en estación seca en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca.</p>								
2	<p>Establecer un nivel de significancia</p> <p>Nivel de Significancia (alfa) $\alpha = 5\% = 0,05$</p>								
	Estadístico de prueba								
	t de Student para una muestra								
3	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Concentración de PM₁₀</th> <th>t</th> <th>Grados de libertad</th> <th>Significación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valores</td> <td>2.91</td> <td>5</td> <td>0.033</td> </tr> </tbody> </table>	Concentración de PM ₁₀	t	Grados de libertad	Significación	Valores	2.91	5	0.033
Concentración de PM ₁₀	t	Grados de libertad	Significación						
Valores	2.91	5	0.033						
	Valor de P = 0.033 = 3.3%								
	Toma de decisión								
4	Con una probabilidad de error del 3.3% el cual es menor a 5%, por tanto, se acepta la hipótesis alterna (H ₁).								

Tabla 34 (Continuación).

Significancia estadística para PM₁₀ en estación seca (Parte 2)

N	Descripción
Interpretación	
5	Existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀), que indica que en estación seca es mayor al estándar de calidad ambiental de aire para PM ₁₀ (100 µg/m ³) en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca.

Dado un monitoreo de material particulado menor a 10 micras en estación seca, con una media de 107.491 y una desviación estándar de 6.303, el estadístico t calculado es igual a 2.911. Puesto que el valor-P para la prueba es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un 95.0% de nivel de confianza.

4.4.2. Desviación estándar y prueba t de student de PM₁₀ en estación húmeda

Para prueba de hipótesis se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para estación húmeda, donde, la media es de 63.135 µg/m³, error estándar de 5.730, desviación estándar de 14.036, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de 51.904 y superior de 74.366. según se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35.

Estadísticos descriptivos para PM₁₀ en estación húmeda

Estadísticos	Valor
Media	63.135
Error estándar	5.730
Desviación estándar	14.036
IC 95% Límite inferior	51.904
IC 95% Límite superior	74.366

Las concentraciones de material particulado menor a 10 micras en estación húmeda, se dispersan respecto a la media aritmética de 63.14 µg/m³ en aproximadamente 14.036 µg/m³, así mismo, los datos siguen una distribución normal según la representación gráfica de la Figura 49 y que son confirmados en la Tabla 36.

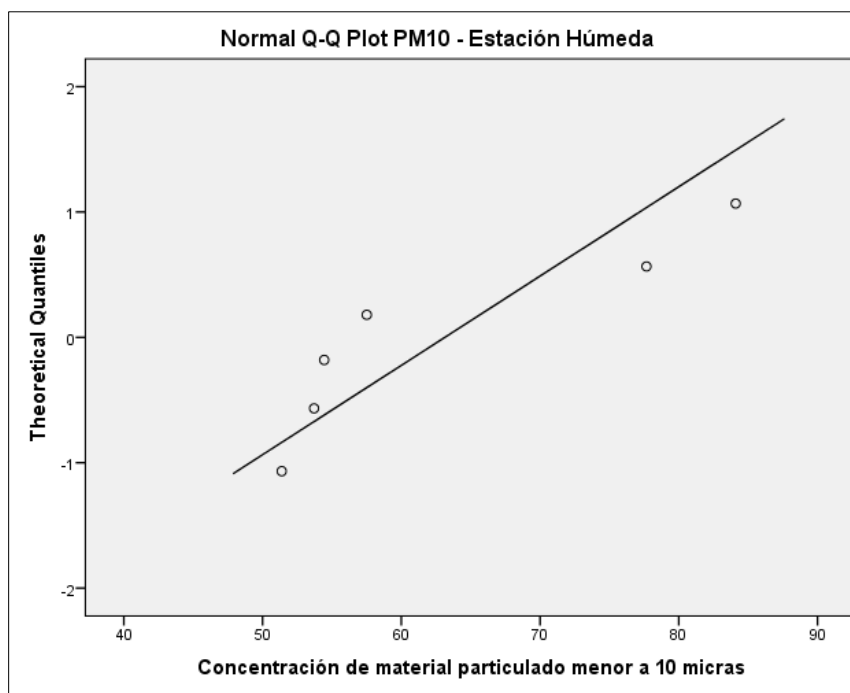


Figura 49. Gráfico Q-Q normal para concentración de PM_{10} en estación

La prueba de normalidad que se aplicó para las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) en estación húmeda, es la de Shapiro-Wilk, puesto que, nuestros datos son menor a 50. Se mostró que los datos de PM_{10} según Tabla 36 tiene un nivel de significación de 0.056, por lo que, los datos tienen una distribución normal y es aplicable la prueba paramétrica de la t de student.

Tabla 36.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para PM_{10} en estación húmeda

Componente	Valor
Estadístico	0.798
Grado de libertad (gl)	6
Nivel de significación	0.056

En la Tabla 37 se detalla el proceso estadístico de la t de student desde el planteamiento de la prueba de hipótesis hasta su interpretación.

Tabla 37.

Significancia estadística para PM₁₀ en estación húmeda

N	Descripción								
	Plantear Hipótesis								
1	<p>Ho: No existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras en estación húmeda en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca.</p> <p>H₁: Existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras en estación húmeda en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca.</p>								
2	<p>Establecer un nivel de significancia</p> <p>Nivel de Significancia (alfa) $\alpha = 5\% = 0,05$</p>								
	Estadístico de prueba								
	t de Student para una muestra								
3	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Concentración de PM₁₀</th> <th style="text-align: center;">t</th> <th style="text-align: center;">Grados de libertad</th> <th style="text-align: center;">Significación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Valores</td> <td style="text-align: center;">-6,433</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">0.001</td> </tr> </tbody> </table>	Concentración de PM ₁₀	t	Grados de libertad	Significación	Valores	-6,433	5	0.001
Concentración de PM ₁₀	t	Grados de libertad	Significación						
Valores	-6,433	5	0.001						
	Valor de P = 0.001 = 0.1%								
	Toma de decisión								
4	Con una probabilidad de error del 0.1 % el cual es menor a 5%, por tanto, se acepta la hipótesis alterna (H ₁).								
	Interpretación								
5	Existe diferencia de concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀), que indica que en estación húmeda es menor al estándar de calidad ambiental de aire para PM ₁₀ (100 µg/m ³) en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca.								

Dado un monitoreo de material particulado menor a 10 micras en estación húmeda, con una media de 63.135 y una desviación estándar de 14.036, el estadístico t calculado es igual a -6.433. Puesto que el valor-P para la prueba es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un 95.0% de nivel de confianza.

4.5. Desviación estándar de metales y metaloides

Correspondiente al análisis estadístico de metales y metaloides, se analizaron aquellas concentraciones que superaron el límite de cuantificación del método (LCM) por espectroscopia de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP OES), tanto, en estación seca y húmeda.

4.5.1. Desviación estándar de metales y metaloides en estación seca

Los metales y metaloides que superaron el límite de cuantificación del método en estación seca son: Cr, Cu, Fe, Mn y Zn, de los cuales realizamos el análisis de desviación estándar que se detalla en los siguientes apartados.

a. Cromo

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de cromo en estación seca, donde, en solo en la primera campaña de monitoreo superó el límite cuantificación del método, por lo que, se dispersan respecto a la media aritmética de $0.184 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 50, además, cuenta con un error estándar de 0.002, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $0.180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $0.188 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38.

Estadísticos descriptivos para cromo en estación seca

Estadísticos	Valor
Media	0.184
Error estándar	0.002
Desviación estándar	0.003
IC 95% Límite inferior	0.180
IC 95% Límite superior	0.188

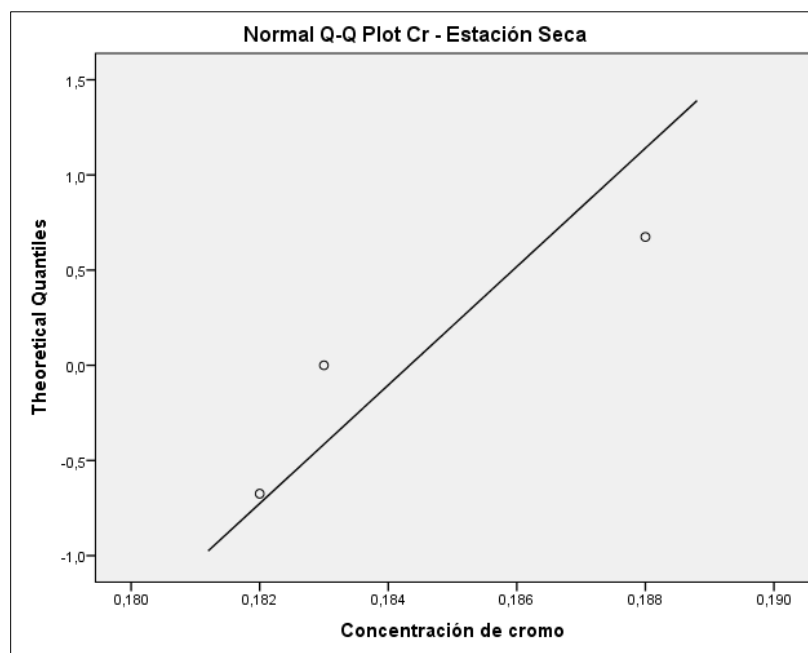


Figura 50. Gráfico Q-Q normal para concentración de Cr en estación seca

b. Cobre

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de cobre en estación seca, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de $0.369 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $0.384 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 51, además, cuenta con un error estándar de 0.157, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $0.061 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $0.677 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39.

Estadísticos descriptivos para cobre en estación seca

Estadísticos	Valor
Media	0.369
Error estándar	0.157
Desviación estándar	0.384
IC 95% Límite inferior	0.061
IC 95% Límite superior	0.677

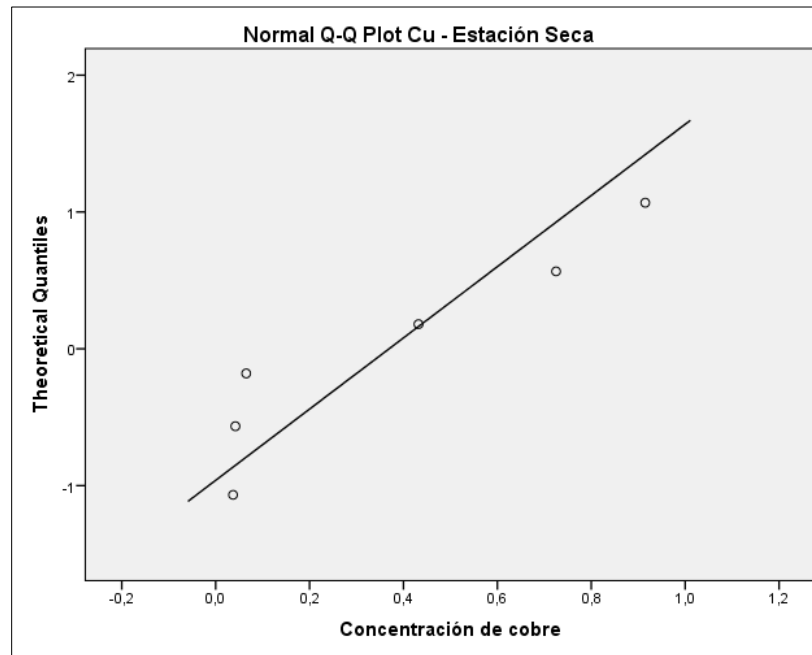


Figura 51. Gráfico Q-Q normal para concentración de Cu en estación seca

c. Hierro

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de hierro en estación seca, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de 1.964 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente 0.153 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 52, además, cuenta con un error estándar de 0.153, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de 1.664 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de 2.264 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. según se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40.

Estadísticos descriptivos para hierro en estación seca

Estadísticos	Valor
Media	1.964
Error estándar	0.153
Desviación estándar	0.375
IC 95% Límite inferior	1.664
IC 95% Límite superior	2.264

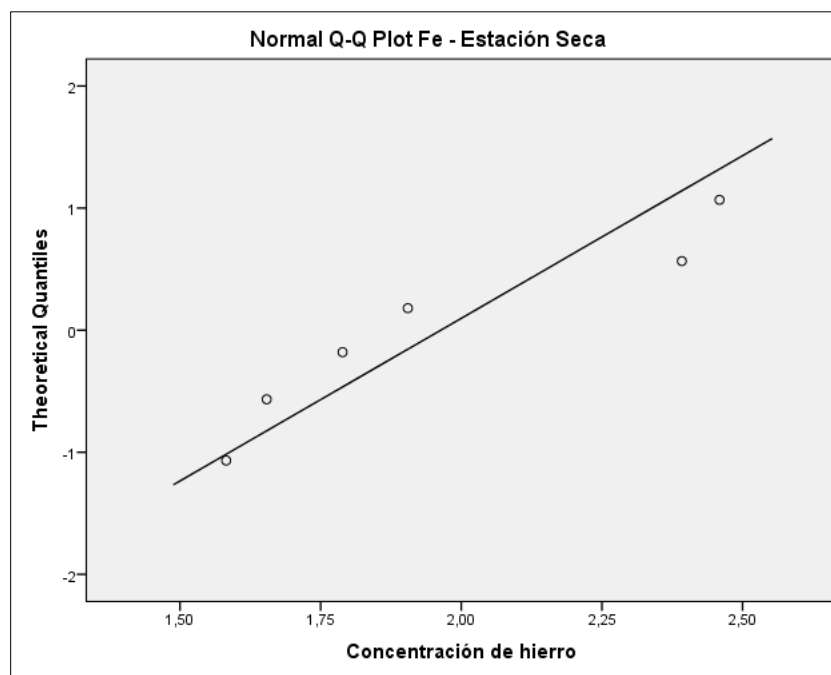


Figura 52. Gráfico Q-Q normal para concentración de Fe en estación seca

d. Manganeso

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de manganeso en estación seca, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de $0.907 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $0.116 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 53, además, cuenta con un error estándar de 0.005, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $0.897 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $0.917 \mu\text{g}/\text{m}^3$. según se muestra en la Tabla 41.

Tabla 41.

Estadísticos descriptivos para manganeso en estación seca

Estadísticos	Valor
Media	0.907
Error estándar	0.005
Desviación estándar	0.116
IC 95% Límite inferior	0.897
IC 95% Límite superior	0.917

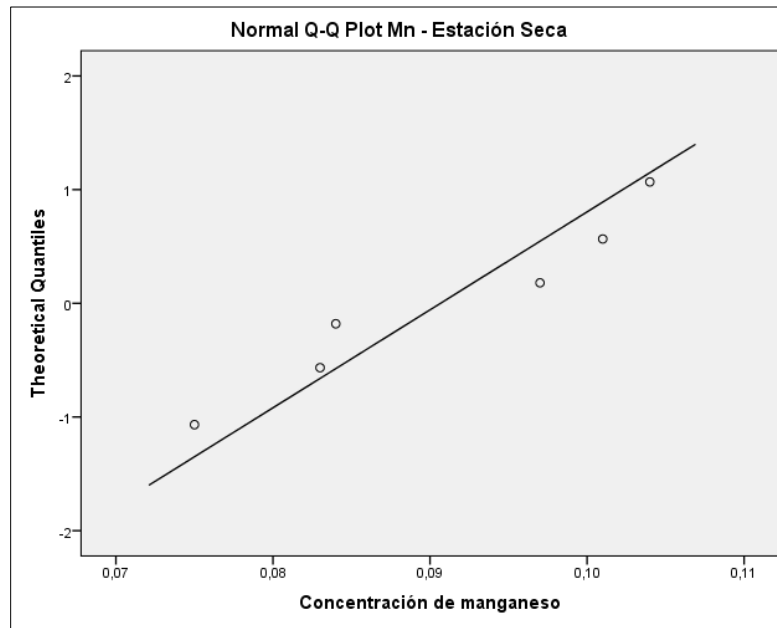


Figura 53. Gráfico *Q-Q* normal para concentración de Mn en estación seca

e. Zinc

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de zinc en estación seca, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de $7.110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $4.264 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 54, además, cuenta con un error estándar de 1.741, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $3.698 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $10.522 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42.

Estadísticos descriptivos para zinc en estación seca

Estadísticos	Valor
Media	7.110
Error estándar	1.741
Desviación estándar	4.264
IC 95% Límite inferior	3.698
IC 95% Límite superior	10.522

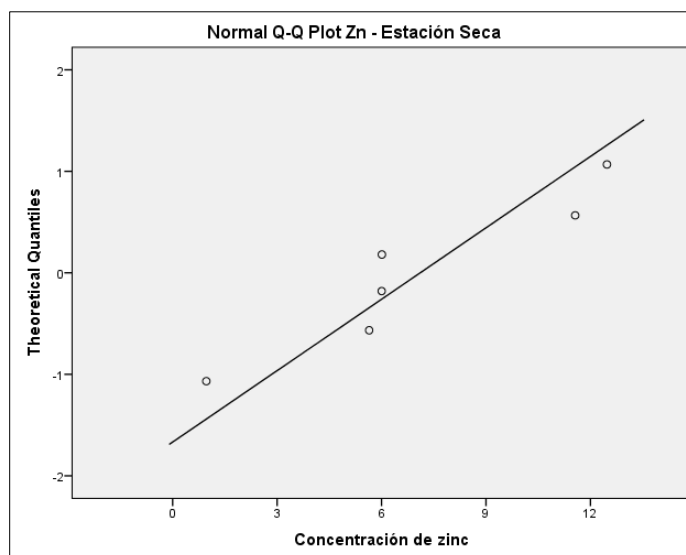


Figura 54. Gráfico Q-Q normal para concentración de Zn en estación seca

4.5.2. Desviación estándar de metales y metaloides en estación húmeda

Los metales y metaloides que superaron el límite de cuantificación del método en estación húmeda son: Cu, Fe, Mn y Zn, de los cuales realizamos el análisis de desviación estándar que se detalla en los siguientes apartados.

a. Cobre

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de cobre en estación húmeda, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de $0.508 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $0.201 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 55, además, cuenta con un error estándar de 0.008, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $0.492 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $0.524 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43.

Estadísticos descriptivos para cobre en estación húmeda

Estadísticos	Valor
Media	0.508
Error estándar	0.008
Desviación estándar	0.201
IC 95% Límite inferior	0.492
IC 95% Límite superior	0.524

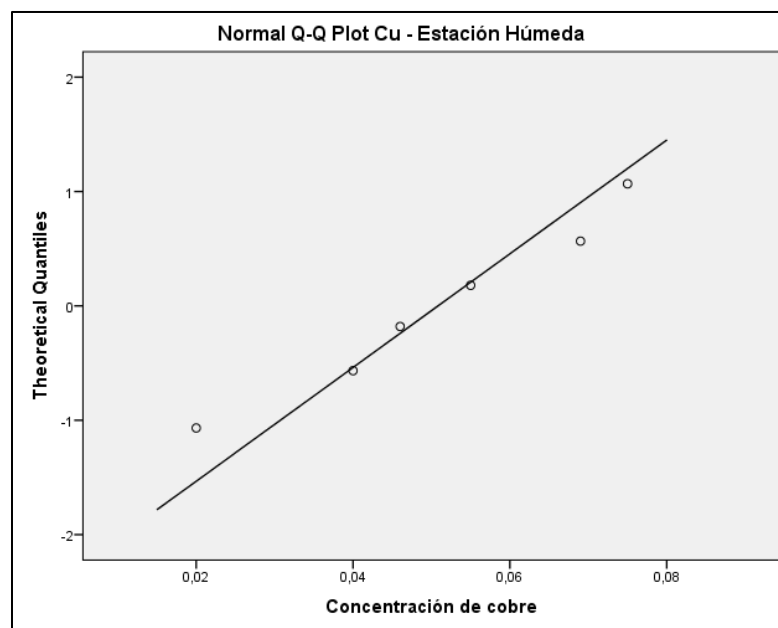


Figura 55. Gráfico Q-Q normal para concentración de Cu en estación húmeda

b. Hierro

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de hierro en estación húmeda, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de $0.833 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $0.509 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 56, además, cuenta con un error estándar de 0.208, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $0.425 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $1.241 \mu\text{g}/\text{m}^3$. según se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44

Estadísticos descriptivos para hierro en estación húmeda

Estadísticos	Valor
Media	0.833
Error estándar	0.208
Desviación estándar	0.509
IC 95% Límite inferior	0.425
IC 95% Límite superior	1.241

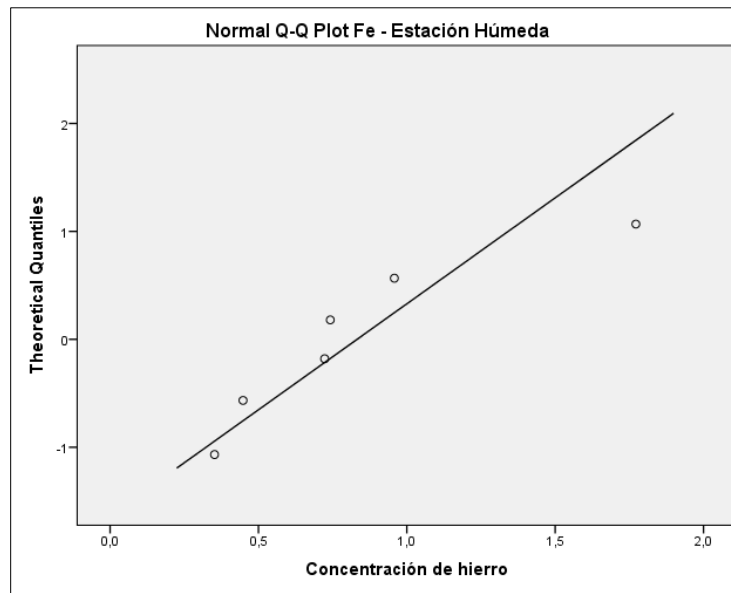


Figura 56. Gráfico Q-Q normal para concentración de Fe en estación húmeda

c. Manganeso

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de manganeso en estación húmeda, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de $0.059 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $0.043 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 57, además, cuenta con un error estándar de 0.018, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $0.024 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $0.094 \mu\text{g}/\text{m}^3$. según se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45

Estadísticos descriptivos para manganeso en estación húmeda

Estadísticos	Valor
Media	0.059
Error estándar	0.018
Desviación estándar	0.043
IC 95% Límite inferior	0.024
IC 95% Límite superior	0.094

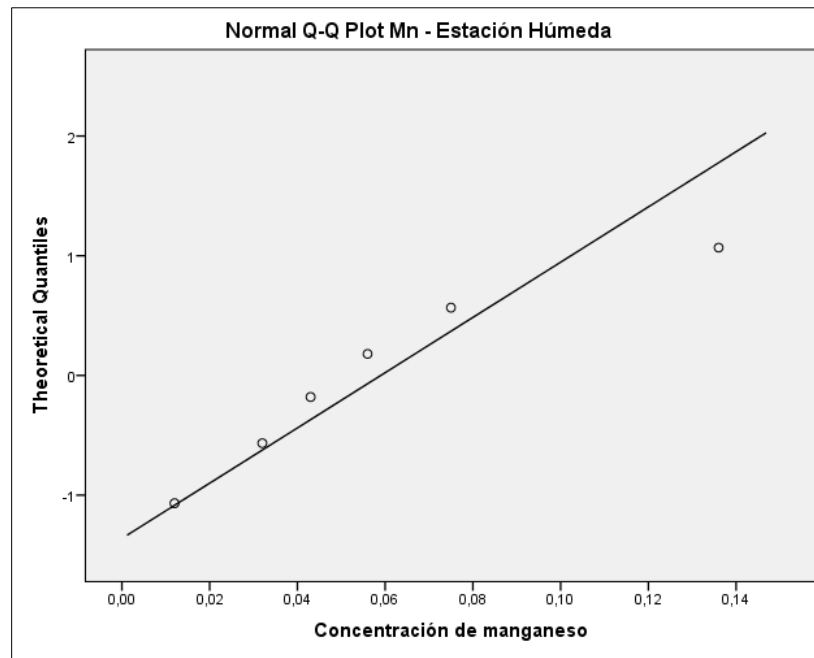


Figura 57. Gráfico Q-Q normal para concentración de Mn en estación húmeda

d. Zinc

Se realizó el análisis de los estadísticos descriptivos para las concentraciones de zinc en estación húmeda, donde, se dispersan respecto a la media aritmética de $1.727 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aproximadamente $0.776 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como, se encuentra representado en la Figura 58, además, cuenta con un error estándar de 0.317, intervalo de confianza de 95% en límite inferior de $1.106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y superior de $2.348 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46

Estadísticos descriptivos para zinc en estación húmeda

Estadísticos	Valor
Media	1.727
Error estándar	0.317
Desviación estándar	0.776
IC 95% Límite inferior	1.106
IC 95% Límite superior	2.348

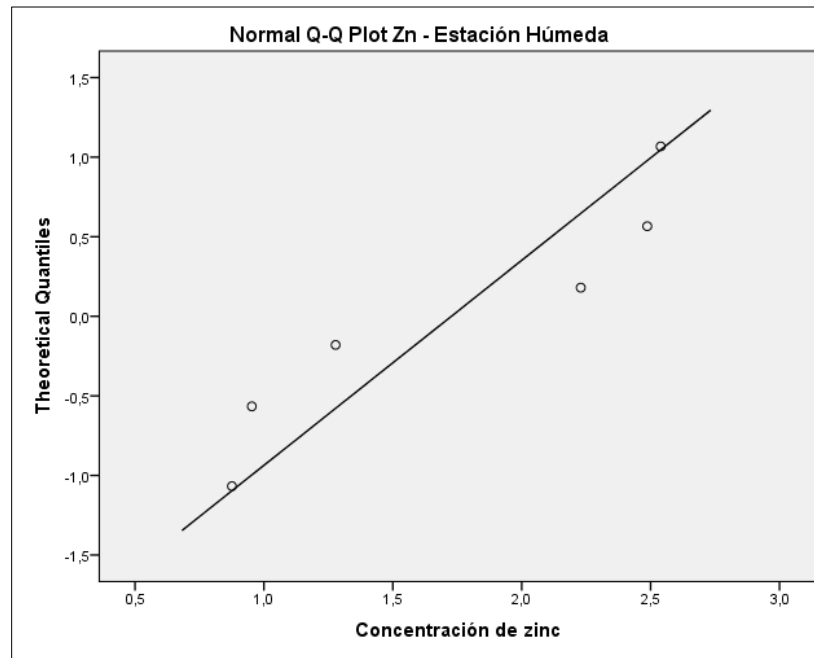


Figura 58. Gráfico Q-Q normal para concentración de Zn en estación húmeda

4.6. Correlación de Pearson de PM₁₀ y condiciones meteorológicas

En relación a los análisis de correlación de Pearson del PM₁₀ con las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación pluvial, humedad, velocidad y dirección del viento), se trabajó a un nivel de significancia de 5% (0.05), en base a las siguientes hipótesis:

H₀: No existe correlación

H₁: Existe correlación

4.6.1. Temperatura

Para la condición meteorológica de temperatura, se evidenció que con una probabilidad de error de 19 %, no existe correlación directa con las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca. Lo detallado anteriormente se muestra en la Tabla 47 y Figura 59.

Tabla 47

Correlación de Pearson entre concentración de PM₁₀ y temperatura

		Concentración de PM ₁₀	Temperatura
Concentración de PM₁₀	Correlación de Pearson	1	0.41
	Valor probabilístico	---	0.19
	N	12	12
Temperatura	Correlación de Pearson	0.41	1
	Valor probabilístico	0.19	---
	N	12	12

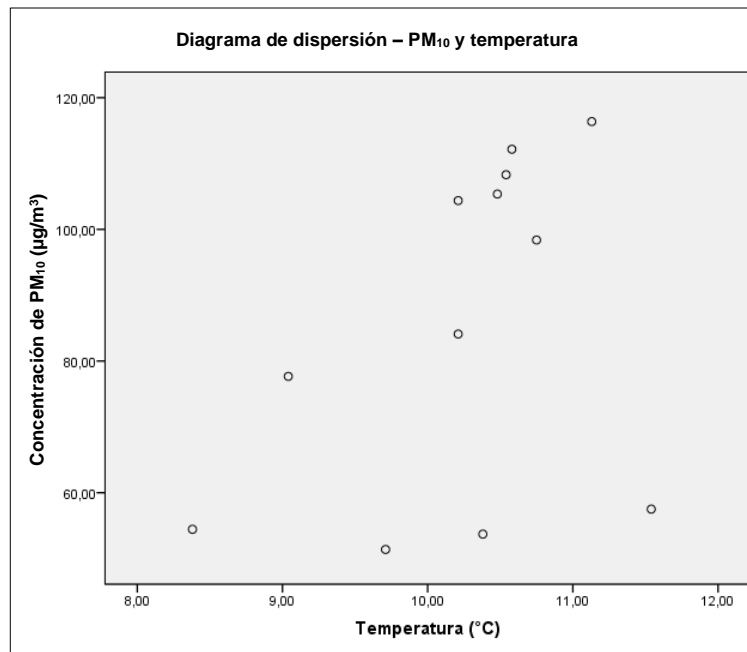


Figura 59. Gráfico de dispersión entre PM₁₀ y temperatura

4.6.2. Precipitación pluvial

Para la condición meteorológica de precipitación pluvial, con una probabilidad de error de 4.6 %, existe correlación inversa con las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca. Lo detallado anteriormente se muestra en la Tabla 48 y Figura 60.

Tabla 48

Correlación de Pearson entre concentración de PM₁₀ y precipitación pluvial

		Concentración de PM₁₀	Velocidad del viento
Concentración de PM₁₀	Correlación de Pearson	1	-0.59
	Valor probabilístico	---	0.046
	N	12	12
Velocidad del viento	Correlación de Pearson	-0.59	1
	Valor probabilístico	0.046	---
	N	12	12

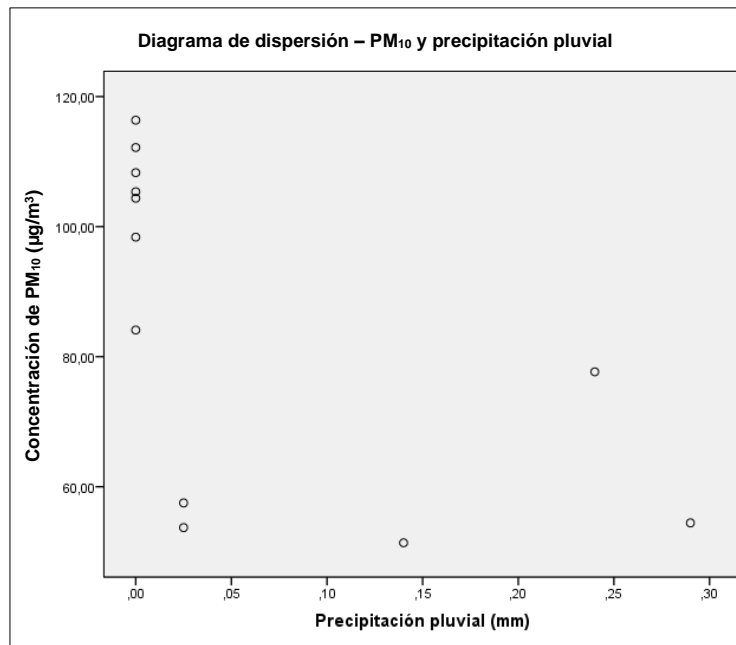


Figura 60. Gráfico de dispersión entre PM₁₀ y precipitación pluvial

4.6.3. Humedad

Para la condición meteorológica de humedad, con una probabilidad de error de 0 %, existe correlación inversa con las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca. Lo detallado anteriormente se muestra en la Tabla 49 y Figura 61.

Tabla 49

Correlación de Pearson entre concentración de PM₁₀ y humedad

		Concentración de PM ₁₀	Velocidad del viento
Concentración de PM₁₀	Correlación de Pearson	1	-0.89
	Valor probabilístico	---	0
	N	12	12
Velocidad del viento	Correlación de Pearson	-0.89	1
	Valor probabilístico	0	---
	N	12	12

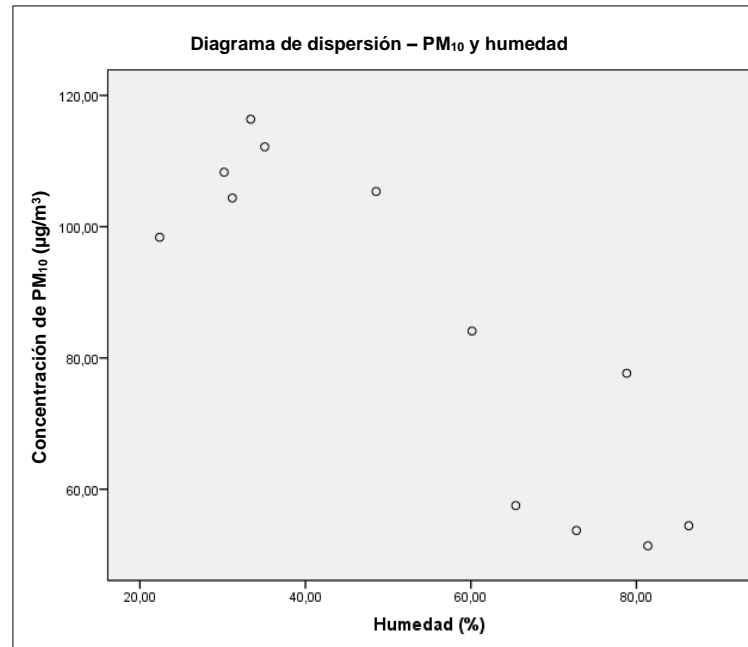


Figura 61. Gráfico de dispersión entre PM₁₀ y humedad

4.6.4. Velocidad del viento

Para la condición meteorológica de velocidad del viento, se evidenció que con una probabilidad de error de 82 %, no existe correlación directa con las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca. Lo detallado anteriormente se muestra en la Tabla 50 y Figura 62.

Tabla 50

Correlación de Pearson entre concentración de PM₁₀ y velocidad del viento

		Concentración de PM ₁₀	Velocidad del viento
Concentración de PM₁₀	Correlación de Pearson	1	0.08
	Valor probabilístico	---	0.82
	N	12	12
Velocidad del viento	Correlación de Pearson	0.08	1
	Valor probabilístico	0.82	---
	N	12	12

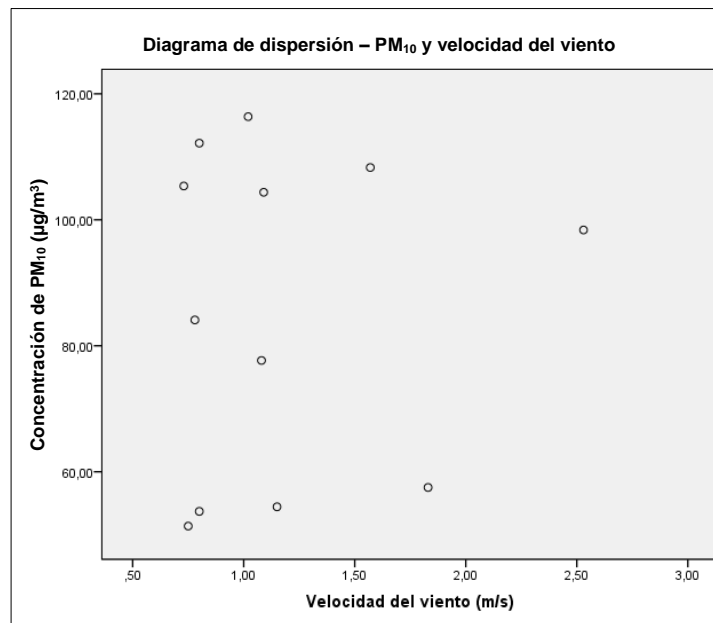


Figura 62. Gráfico de dispersión entre PM₁₀ y velocidad del viento

4.6.5. Dirección del viento

Para la condición meteorológica de dirección del viento, se evidenció que con una probabilidad de error de 66 %, no existe correlación directa con las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en las zonas de alto tránsito vehicular en el distrito de Juliaca. Lo detallado anteriormente se muestra en la Tabla 51 y Figura 63.

Tabla 51.

Correlación de Pearson entre concentración de PM₁₀ y dirección del viento

		Concentración de PM ₁₀	Dirección del viento
Concentración de PM₁₀	Correlación de Pearson	1	0.14
	Valor probabilístico	---	0.66
	N	12	12
Dirección del viento	Correlación de Pearson	0.14	1
	Valor probabilístico	0.66	---
	N	12	12

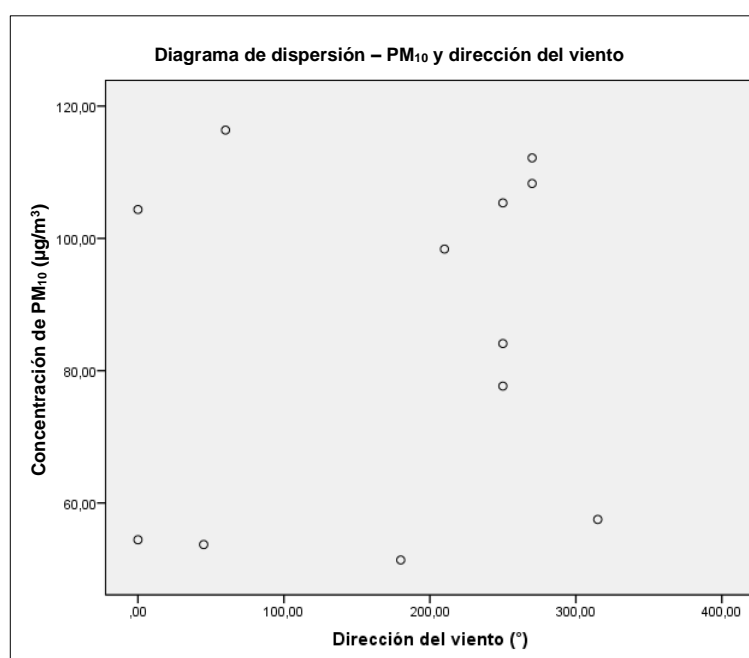


Figura 63. Gráfico de dispersión entre PM₁₀ y dirección del viento

4.6.6. Condiciones meteorológicas en estación seca – húmeda

Correspondiente al comportamiento de las variables meteorológicas, los valores alcanzados en la prueba de relación estadística de Correlación de Pearson con las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀), donde, se determinó un valor probabilístico para precipitación pluvial de 0.046 y humedad con 0, los cuales poseen correlación inversa con el PM₁₀, así mismo, para temperatura con 0.19, velocidad del viento con 0.82 y dirección del viento con 0.66, los cuales no poseen correlación con el PM₁₀. De lo anterior, según Huaman Escalante (2018), con

un valor probabilístico de 0 muestra que existe correlación directa de PM_{10} con temperatura y velocidad del viento, sin embargo, inversamente proporcional para humedad relativa. Se observa que los datos meteorológicos del anterior autor fueron tomados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), el cual se encuentra alejado del punto de monitoreo de PM_{10} , a diferencia nuestra fueron tomadas in situ, del cual obtener un valor probabilístico de 0 no representa el comportamiento real de estas variables, debido a, que el contorno puede generar islas de calor y generar cambios en velocidad y dirección del viento, por otro lado, en humedad relativa se coincide con el autor con un valor p de 0, del cual deducimos que el entorno urbano no tiene efecto sobre el comportamiento de la humedad. De modo similar, (Buitrago & Tejeiro, 2019) con un valor probabilístico de 0.318 indica que no existe correlación inversa entre PM_{10} y precipitación pluvial. Lo anterior es contrario a nuestro valor determinado de un valor p de 0.046, esta diferencia se debe a que nuestro estudio consideró trabajar en estación húmeda y seca, en cambio, el autor solo trabajó en época húmeda. Análogamente, observamos inexistencia de correlación de PM_{10} y velocidad del viento, esto difiere con Camacho Correa y Villegas Díaz (2017), que nos indica que la relación entre la velocidad del viento y las concentraciones de material particulado menor a 10 micras es inversamente proporcional, es decir, a menor velocidad del viento es mayor la concentración de PM_{10} en la atmósfera, esta diferencia según Bustamante et al. (2014), se debe a la colisión con obstáculos edificados que modifican el régimen laminar del viento, incrementando su velocidad en la parte superior y disminuyendo en la parte inferior, de igual forma, Duval et al. (2020) menciona que el arbolado urbano reduce la velocidad del viento en la parte baja del árbol; por lo anteriormente descrito, en los puntos de muestreo del presente estudio, se realizó en edificios de multiuso de dos pisos lo cual en sus alrededores se tuvo presencia de construcciones de mayor altitud, modificando el régimen laminar y dirección del viento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.6. Conclusiones

Se determinó que existen diferencias de concentración de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) en estación seca con un valor probabilístico de 0.033 y húmeda con 0.001, donde, los valores son mayores al estándar internacional establecido por la Organización Mundial de la Salud ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sin embargo, solo en estación húmeda las concentraciones de PM_{10} no superan el estándar de la legislación nacional ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), así mismo, en metales y metaloides poseen diferencia de concentraciones los cuales no excedieron los criterios internacionales de calidad de aire ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ontario/Canadá.

Las concentraciones de material particulado menor a 10 micras en la ciudad de Juliaca en las zonas de alto tránsito vehicular, no tiene una buena calidad del aire, debido a que en la estación seca se obtuvo un valor promedio en la Z.A.V – 1 $105.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Z.A.V – 2 $104.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la Z.A.V – 3 $112.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, excediendo el estándar internacional de la OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el estándar nacional de calidad ambiental ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a diferencia de, la estación húmeda que se registró concentraciones en la Z.A.V – 1 ($55.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Z.A.V – 02 ($52.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y en la Z.A.V – 3 ($80.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que solo sobrepasa el estándar internacional de la OMS. Por lo tanto, la población de estas zonas de alto tránsito vehicular, se encuentran en riesgo, debido a la exposición que tienen al PM_{10} , siendo la estación seca la más crítica.

Los niveles de metales y metaloides que superaron el límite de cuantificación del método en las zonas de alto tránsito vehicular durante la estación seca poseen un valor promedio en Cr $0.184 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Cu $0.691 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $2.252 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.093 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $8.334 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así mismo, en estación húmeda, se tiene Cu $0.047 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Fe $0.508 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn $0.040 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Zn $1.036 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estos compuestos químicos no superaron los estándares referenciales de calidad ambiental del aire de Ontario Canadá para un periodo de 24 horas, concebidos para proteger la salud pública, por lo que, la calidad del aire en relación a estos elementos químicos se encuentra dentro de los parámetros

del estándar internacional y no representan un riesgo alto para la población de la ciudad de Juliaca.

Las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) muestran una correlación inversa de PM_{10} con precipitación pluvial con valor probabilístico de 0.046 y humedad de 0, por otro lado, para temperatura con 0.19, velocidad del viento con 0.82 y dirección del viento con 0.66, lo cuales no poseen correlación con el PM_{10} . Se atribuye una mayor influencia en la variación de las concentraciones de PM_{10} principalmente a las emisiones encontradas de fuentes fijas (pollerías, panaderías, grifos, tornerías y construcciones civiles) y móviles (combis, minibuses, taxis, carrocería pesada y moto taxis), las cuales se encuentran en el entorno de las zonas de alto tránsito vehicular. Mediante la rosa de vientos se evidenció que se presentan vientos provenientes del oeste-noroeste (ONO) dispersando los contaminantes al este-sureste (ESE), arrastrando partículas del suelo e impactando principalmente en la Z.A.V – 3, debido a una falta de pavimentación de las vías urbanas.

4.7. Recomendaciones

Para las futuras investigaciones, se sugiere evaluar las concentraciones de PM_{10} mediante estaciones de monitoreo fija en puntos críticos de la ciudad de Juliaca, para poder tener una más amplia data diaria y fortalecer la gestión de la calidad del aire en la ciudad.

Generar investigaciones en modelamiento de dispersión de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) de fuentes fijas como: industrias ladrilleras, pollerías, cal y cemento, para identificar zonas potencialmente afectadas por actividades antropogénicas en el distrito de Juliaca.

Se recomienda realizar un estudio de metales y metaloides en suelos sin pavimentar de las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca, debido a, que producto de la precipitación pluvial y los contaminantes atmosféricos, se produce la lluvia ácida que afecta la calidad de los suelos.

Realizar un monitoreo meteorológico mediante un globo sonda para obtener información más precisa de la condición de la atmósfera de la presión atmosférica, temperatura y humedad en el distrito de Juliaca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afzali, A., Rashid, M., Afzali, M., & Younesi, V. (2017). Prediction of air pollutants concentrations from multiple sources using AERMOD coupled with WRF prognostic model. *Journal of Cleaner Production*, *166*, 1216–1225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.196>
- Agirre, I. (2006). Estudio De Los Niveles De PM₁₀ Y PM_{2.5} En Un Área Urbana Con Influencia Industrial Siderometalúrgica (*Beasain, Guipúzcoa*). 2003–2004.
- Aldunate, P., Paz, O., & Halvorsen, K. (2006). Los efectos de la contaminación atmosférica por PM₁₀ sobre la salud ciudad de La Paz - Bolivia (3650 m.s.n.m.). *Acta Nova*, *3*(2), 422–442.
- Alfaro, S. ., Gaudichet, A., Gomes, L., & Maille, M. (1998). Aerosol, Mineral Binding, production by wind erosion: Aerosol particle sizes and energies. <https://doi.org/10.1029/98GL00502>
- Allen, D. T. (2002). Particulate Matter Concentrations, Compositions, and Sources in Southeast Texas: State of the Science and Critical Research Needs. Retrieved from Report to the Texas Environmental Research Consortium 93 pp.
- Amoatey, P., Omidvarborna, H., Baawain, M. S., & Al-Mamun, A. (2019). Emissions and exposure assessments of SOX, NOX, PM_{10/2.5} and trace metals from oil industries: A review study (2000–2018). *Process Safety and Environmental Protection*, *123*(2), 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.01.014>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales Y Fracción Respirable Pm₁₀. *Luna Azul*, *34*, 195–213. <https://doi.org/10.17151/luaz.2012.34.12>
- Arpita, R., Bhattacharya, T., & Kumari, M. (2020). Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. *Science of the Total Environment*, *722*, 137622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137622>

- Bai, H., Wang, Y., Wu, P., & Wang, Z. (2022). Ambient particulate matter (PM₁₀)-induced injury in feline lung cells and nutritional intervention. *Heliyon*, 8(5), e09550. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E09550>
- Buitrago, A., & Tejeiro, J. (2019). Influencia de las condiciones meteorológicas en La concentración de PST Y PM10 en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda. *Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás*, 53(9), 1689–1699.
- Bustamante, C., Jans, M., & Higuera, E. (2014). *El comportamiento del viento en la morfología urbana y su incidencia en el uso estancial del espacio público, Punta Arenas, Chile*. <https://doi.org/10.4206/aus.2014.n15-06>
- CAFE, W. G. on P. M. (2004). Second Position Paper on Particulate Matter. *CAFE Working Group on Particulate Matter*, 231.
- Camacho Correa, M., & Villegas Díaz, J. E. (2017). Análisis de la relación entre el comportamiento del viento y la concentración de material particulado PM10 del año 2012 al 2015 en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca. *Ucv*, 358. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10669>
- CARB, C. A. R. (2015). *Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter*. <https://www.arb.ca.gov/research/aaqs/pm/pm.htm>
- Castillo, F. E., & Castellvi Sentis, F. (2001). *Agrometeorología*.
- CEOHATS, C. of the E. and O. H. A. of the A. T. S. (1996). *Health effects of outdoor air pollution*. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.153.1.8542133>
- Chan, J. K. Y., & Wong, M. H. (2013). A review of environmental fate, body burdens, and human health risk assessment of PCDD/Fs at two typical electronic waste recycling sites in China. *Science of The Total Environment*, 463–464, 1111–1123. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2012.07.098>
- Chen, J., Wang, B., Huang, S., & Song, M. (2020). The influence of increased population density in China on air pollution. *Science of the Total Environment*, 735, 139456. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139456>

- Chura, R. (2017). *Caracterización de las variables climáticas para la cuenca del río Ilave aplicando el SIG*. 1–14.
- Cruz, M. E., Gómez, Á. A., Quintero, N. M., & Varela, S. J. (2013). Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales pesados (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante un periodo anual. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 29(4), 269–283.
- Curto, A., Ranzani, O., Milà, C., Sanchez, M., Marshall, J. D., Kulkarni, B., Bhogadi, S., Kinra, S., Wellenius, G. A., & Tonne, C. (2019). Lack of association between particulate air pollution and blood glucose levels and diabetic status in peri-urban India. *Environment International*, 131(February), 105033. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105033>
- D'Amato, G., & Holgate, S. (2002). *The Impact of air pollution on respiratory health*.
- Díaz, R. (2013). Estudio de caracterización climática de la precipitación pluvial y temperatura de aire para las cuencas de los ríos Coata e Ilave. *Senamhi*, 1(1), 45.
- Duval, V. S., Benedetti, G. M., & Baudis, K. (2020). *El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17664443008>
- EPA, A. de P. A. de los E. U. (n.d.). *Estandares de Calidad del Aire, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos* (pp. 1–8). http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTe%0Acnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_607.pdf
- EPA, A. de P. A. de los E. U. (2004). *Distribucion de modas segun el tamaño de particula µg/m3*.
- EPA, A. de P. A. de los E. U. (2017). Conceptos básicos sobre el material particulado. In *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos* (pp. 1–3). <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

- Espinosa, A., Rodriguez, T., Barragán de la Rosa, F., & Sanchez, J. (2001). *Size distribution of metals in urban aerosols in Seville (Spain)*. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00403-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00403-9)
- European Commission. (2008). *Additional tools Air Quality Standards*. <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- Fernández, A. J., Ternero, M., Barragán, F. J., & Jiménez, J. C. (2000). An approach to characterization of sources of urban airborne particles through heavy metal speciation. *Chemosphere - Global Change Science*, 2(2), 123–136. [https://doi.org/10.1016/S1465-9972\(00\)00002-7](https://doi.org/10.1016/S1465-9972(00)00002-7)
- Finlayson, P. B., & Pitts, J. N. (2000). *CHAPTER 1 - Overview of the Chemistry of Polluted and Remote Atmospheres*.
- Fischer, P. H., Marra, M., Ameling, C. B., Velders, G. J. M., Hoogerbrugge, R., de Vries, W., Wesseling, J., Janssen, N. A. H., & Houthuijs, D. (2020). Particulate air pollution from different sources and mortality in 7.5 million adults — The Dutch Environmental Longitudinal Study (DUELS). *Science of the Total Environment*, 705, 135778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135778>
- Fujita, T. T. (1981). Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38(8), 1511–1534. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<1511:TADITC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<1511:TADITC>2.0.CO;2)
- Garcia, A., Ferreira, M. I., Penalba, O., & Stone, R. (2010). Climate and Weather Risk Assessment for Agricultural Planning. In *Guide to agricultural meteorological practices*. https://www.researchgate.net/publication/242118862_Climate_and_Weather_Risk_Assessment_for_Agricultural_Planning
- Hanco, A. M. (2017). *Concentración de material particulado menores a 10 micrómetros y gestión ambiental con áreas verdes en la ciudad de Juliaca*. 163.
- Harrison, R., & Grieken, R. (1998). *Atmospheric particles, The IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems: J. Wiley*.

- Huaman Escalante, C. I. (2018). *Relación de las variables meteorológicas y la concentración de PM10 y PM2.5 en el distrito de Puente Piedra en el mes de diciembre 2017*. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/157>
- Imperato, M., Adamo, P., Naimo, D., Arienzo, M., Stanzione, D., & Violante, P. (2003). Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution*, 124(2), 247–256. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00478-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00478-5)
- INEI, I. N. de E. e I. (2017). Peru: Crecimiento y distribución de la población total, 2017. Población censada más población omitida. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Jaimés Monsalve, C. A. (2020). Evaluación del contenido de metales disueltos (Cd, Co, Cu, Mn, Pb y Zn) en aguas de la Bahía de Santa Marta, empleando un ICP-OES previa concentración y limpieza con resina NOBIAS Chelate-PA1. *Molecules*, 2(1), 1–12. <http://clik.dva.gov.au/rehabilitation-library/1-introduction-rehabilitation%0Ahttp://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/as.2017.81005%0Ahttp://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/as.2012.34066%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.201>
- Jimenez Garcia, E., & Massagues Vidal, L. (2007). *Estudio, diseño y gestión de sistemas medición de la contaminación atmosférica en Taragona*. <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1130pub.pdf>
- Jorquera Gonzáles, H. (2015). *Introducción a la contaminación atmosférica. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile*.
- Kanawade, V. P., Srivastava, A. K., Ram, K., Asmi, E., Vakkari, V., Soni, V. K., Varaprasad, V., & Sarangi, C. (2020). What caused severe air pollution episode of November 2016 in New Delhi? *Atmospheric Environment*, 222(November 2016), 117125. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117125>

- Lin, C., Huang, K., Hwangm, W., Chan-Chien, G., & Lin, W. (2005). *Characteristics of Metals in Nano/Ultrafine/Fine/Coarse Particles Collected Beside a Heavily Trafficked Road. Environmental Science & Technology.* <https://doi.org/0.1021/es048182a>
- Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., Giraldoth, D., & Velásquez, H. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Archives of Iranian Medicine*, *11*(2), 166–172. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992008000400003
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la Química Ambiental.*
- Mészáros, E. (1999). Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry. Budapest: Akadémiai Kiadó. *C&EN Global Enterprise*, *97*(37), 34–34. <https://doi.org/10.1021/cen-09737-obits10>
- Miguel, J., Blasco, I., Rodriguez, C., Bedate, P., Lopez, R., Fernandez, C., Garcia, S., Lobo, J. L., Garcia, A., Quezada, C. A., Murga, I., Garcia, A., Rodríguez-, M. A., Marin, L., Otero, R., Praena, J. M., & Jara, L. (2020). Correlation between short-term air pollution exposure and unprovoked lung embolism. Prospective observational (Contamina-TEP Group). *Thrombosis Research*, *192*(April), 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2020.04.033>
- Millán-Martínez, M., Sánchez-Rodas, D., Sánchez de la Campa, A. M., & de la Rosa, J. (2022). Impact of the SARS-CoV-2 lockdown measures in Southern Spain on PM10 trace element and gaseous pollutant concentrations. *Chemosphere*, *303*. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134853>
- MINAM, M. del A. (2015). *Plan de acción para la mejora de la calidad del aire en la zona de atención prioritaria de la cuenca atmosférica de San Román.*
- MINAM, M. del A. (2017). Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. In *Normas Legales El Peruano* (pp. 6–9). <https://doi.org/10.3354/meps08245>

- MINAM, M. del ambiente. (2019). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire* (p. 102). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad>
- Morales, J. A., Pirela, D., & Durán, J. (1996). Determination of the levels of Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Cu in aerosols of the western Venezuelan savannah region. *Science of The Total Environment*, 180(2), 155–164. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04941-X](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04941-X)
- MPSR, M. P. de S. R. (2016). *Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Juliaca 2016 - 2025*. 90–152.
- Nevers, N. De. (1998). Ingeniería de control de la contaminación del aire. In *Mcgraw-Hill*.
- Nriagu, J. O., & Pacyna, J. M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333(6169), 134–139. <https://doi.org/10.1038/333134A0>
- Omidvarborna, H., Baawain, M., & Al-Mamun, A. (2018). Ambient air quality and exposure assessment study of the Gulf Cooperation Council countries: A critical review. *Science of the Total Environment*, 636, 437–448. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.296>
- OMS, O. M. de la S. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- OMS, O. M. de la S. (2021). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ontario. (2012). Standars Development Branch. *Экономика Региона*, April, 32.
- Orlanski, I. (1975). A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56(5), 527.

- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 26(1), 16–25. <https://doi.org/10.4067/s0717-73482010000100004>
- Paccosonco, L. (2019). *Determinación de la concentración del material particulado menora a 10 micras en el entorno de los centros de educación del distrito de Ilo 2017 - 201. 052*, 1–18.
- Pallarés, S., Vicente, A., Jordán, M., & Sanfeliu, T. (2007). *Study of the Levels of Concentration of As, Cd and Ni in a Ceramic Cluster*. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9249-0>
- Peters, A., von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hörmann, A., Wichmann, H. E., & Löwel, H. (2004). Exposure to Traffic and the Onset of Myocardial Infarction. *New England Journal of Medicine*, 351(17), 1721–1730. <https://doi.org/10.1056/nejmoa040203>
- Porta, A., Sanchez, Y., & Colman, L. (2014). *Calidad Del Aire - Monitoreo y modelado de contaminantes atmosféricos. Efectos en la salud pública*. 1.
- Prospero, J. (1999). *Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the southeastern United States: Implications for regional air quality*. <https://doi.org/10.1029/1999JD900072>
- Puigcerver, Z., & Carrascal, T. (2008). *Medio atmosférico, El. Meteorología y contaminación*.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. *Epidemiology*, 19(6), 800–807. <https://doi.org/10.1097/EDE.0B013E31818131CF>
- Ramiro, H., Apac, G., Lino, G., Mejía, M., Paul, C., Jahn, O., María, R., & Cáceres, B. (2015). Instrumentos Básicos. PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. *Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental*, 29.
- Rodriguez, M. A., & Múñez Leon, C. (2012). *Fundamentos de climatología*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267903>

- Rojas, R., & Huaman, P. (2017). Determinación de Material Particulado en Fracción Respirable en Construcciones del Distrito de Jesus Maria, 2015. *Facultad de Ciencias Farmaceuticas y Bioquímica*, 511, 185.
- Sasmita, S., Kumar, D. B., & Priyadharshini, B. (2022). Assessment of sources and health impacts of PM10 in an urban environment over eastern coastal plain of India. *Environmental Challenges*, 7, 100457. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2022.100457>
- SEMARNAT, S. de M. A. y R. N., & INECC, I. N. de E. y C. C. (2013). Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas. In *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
- SENAMHI, S. N. de M. e H. (2011). *Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011*.
- Sharma, S., Zhang, M., Anshika, Gao, J., Zhang, H., & Kota, S. H. (2020). Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. *Science of the Total Environment*, 728, 138878. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138878>
- Sneddon, J., & Vincent, M. D. (2008). ICP-OES and ICP-MS for the Determination of Metals: Application to Oysters. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00032710802013991*, 41(8), 1291–1303. <https://doi.org/10.1080/00032710802013991>
- Suárez-Salas, L., Álvarez Tolentino, D., Bendezú, Y., & Pomalaya, J. (2017). Caracterización Química Del Material Particulado Atmosférico Del Centro Urbano De Huancayo, Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 83(2), 187–199. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i2.197>
- Talbi, A., Kerchich, Y., Kerbachi, R., & Boughedaoui, M. (2018). Assessment of annual air pollution levels with PM1, PM2.5, PM10 and associated heavy metals in Algiers, Algeria. *Environmental Pollution*, 232, 252–263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.041>

- Timmermans, R., van Pinxteren, D., Kranenburg, R., Hendriks, C., Fomba, K. W., Herrmann, H., & Schaap, M. (2022). Evaluation of modelled LOTOS-EUROS with observational based PM₁₀ source attribution. *Atmospheric Environment: X*, 14, 100173. <https://doi.org/10.1016/J.AEAOA.2022.100173>
- Trujillo, J. ., Caballero, J. ., & Ramón, J. . (2020). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM₁₀ del municipio de San José de Cúcuta, norte de Santander. <https://doi.org/10.24054/19009178.V1.N1.2019.3957>
- Tu, M., & Olofsson, U. (2021). PM₁₀ in underground stations from different types of trains. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95, 102867. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102867>
- Vara, M. (2017). *Contaminación atmosférica con material particulado en la ciudad del Cusco - y su comportamiento - 2016*.
- Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., & Rodriguez, S. (2002). *Characteristics of the Gobi desert and their significance for dust emissions in the Ala Shan Plateau (Central Asia): An experimental study (Vol. 81)*.
- Wang, X., Lang, L., Hua, T., Wang, H., Zhang, C., & Wang, Z. (n.d.). *Characteristics of the Gobi desert and their significance for dust emissions in the Ala Shan Plateau (Central Asia): An experimental study (Vol. 81)*.
- Wark, K., & Warner, C. (1994). *Contaminación del aire: origen y control. México. Editorial Limusa*. 4–6.
- Yousaf, H. S., Abbas, M., Ghani, N., Chaudhary, H., Fatima, A., Ahmad, Z., & Yasin, S. A. (2021). A comparative assessment of air pollutants of smog in wagah border and other sites in Lahore, Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*, 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.252471>
- Zhou, Y., Luo, B., Li, J., Hao, Y., Yang, W., Shi, F., Chen, Y., Simayi, M., & Xie, S. (2019). Characteristics of six criteria air pollutants before, during, and after a severe air pollution episode caused by biomass burning in the southern Sichuan Basin, China. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116840>

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Objetivos	Variables	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Determinar la concentración de material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca	Variable dependiente (Contaminación atmosférica por PM ₁₀)	Concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀)	C: PM ₁₀	Muestreador de alto volumen (High Vol)
Cuantificar las concentraciones de metales y metaloides del material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca	Variable dependiente (Contaminación por metales y metaloides)	Concentraciones de metales y metaloides	C: As C: Cd C: Co C: Cr C: Cu C: Fe C: Hg C: Mn C: Ni C: Pb C: Sb C: Mo C: Zn	ASTM D 7035-10 Método de ensayo estándar para la determinación de metales y metaloides en material particulado por ICP/OES

Nota. C: concentración

Anexo 1 (Continuación). Operacionalización de variables (Parte 2)

Objetivos	Variables	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Establecer la correlación de las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación pluvial, velocidad y dirección del viento) con las concentraciones material particulado menor a 10 micras en las zonas de alto tránsito vehicular del distrito de Juliaca	Variable independiente (Meteorología)	Condiciones meteorológicas	Temperatura	Estación meteorológica
			Precipitación pluvial	
			Velocidad del viento	
			Dirección del viento	

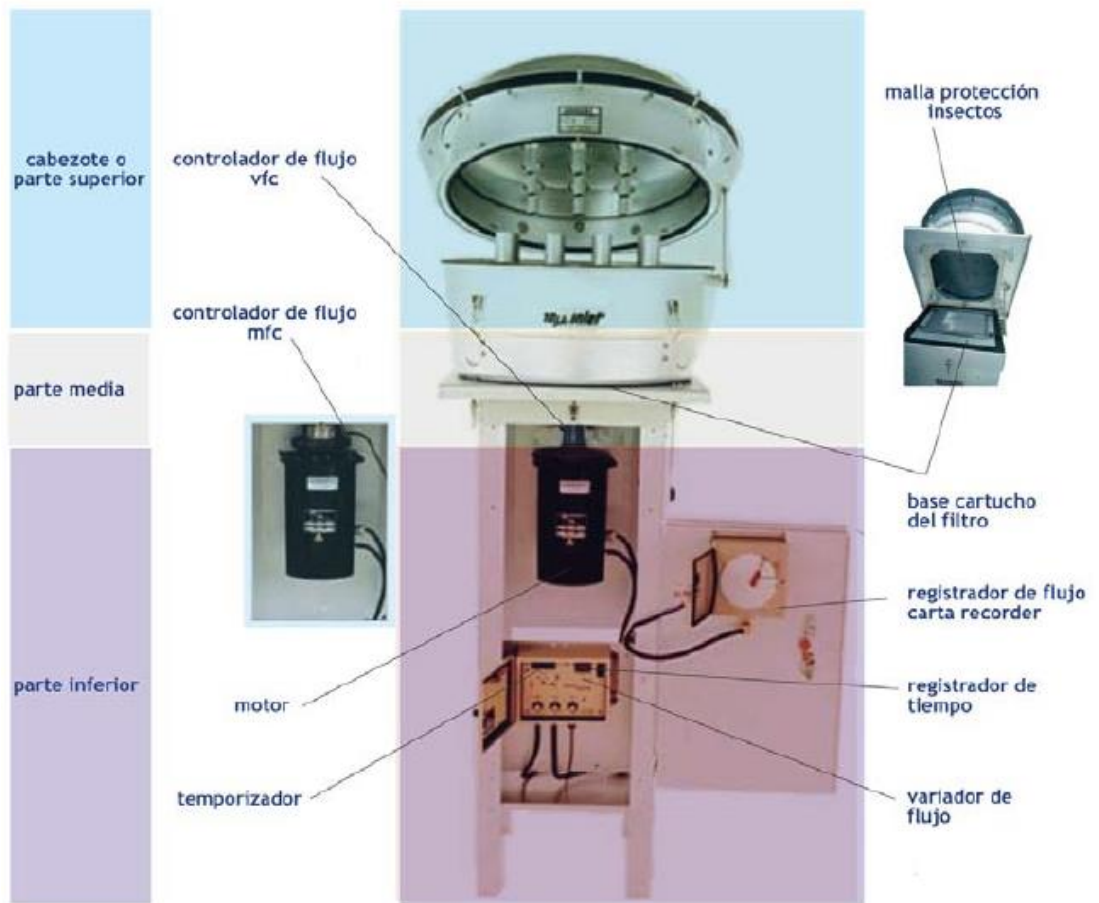
Nota. C: concentración

Anexo 2. Criterios técnicos para la instalación para los equipos de monitoreo

Características	Criterios técnicos	Otros aspectos a considerar
Altura de la entrada de la muestra (sobre el suelo)	Mínimo 1.5 m y máximo 15m	De 1.5m a 4m se considera lo más adecuado, considerando que la medición está orientada
Distancia horizontal con respecto a obstáculos más altos que el equipo de monitoreo	Mayor o igual a 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 emisión cercanas	Mayor o igual a 20m; o después los	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	La estación de monitoreo debe estar ubicada de tal manera que los obstáculos no eviten el ingreso de flujos de aire en 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 la estación de monitoreo

Nota. Aspectos técnicos y criterios para monitoreo de material particulado (MINAM, 2019).

Anexo 3. Muestreador de alto volumen de PM₁₀



Fuente: MAVDT, 2008

Anexo 4. Fotografías de monitoreos de PM₁₀ en zonas de alto tránsito vehicular



Imagen N° 01.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 1, en dirección Av. Manuel Núñez Butrón N° 522 – Juliaca (Salida Puno), de fecha 24/08/2021.



Imagen N° 02.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 2, en dirección Av. Huancané N° 123– Juliaca (Salida Huancané), de fecha 25/08/2021.



Imagen N° 03.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 3, en dirección Av. Jorge Chávez N° 573– Juliaca (Salida Cusco), de fecha 26/08/2021.



Imagen N° 04.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 1, en dirección Av. Manuel Núñez Butrón N° 522 (Salida Puno), de fecha 30/08/2021.



Imagen N° 05.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 2, en dirección Av. Huancané N° 123– Juliaca (Salida Huancané), de fecha 31/08/2021.



Imagen N° 06.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 3, en dirección Av. Jorge Chávez N° 573– Juliaca (Salida Cusco), de fecha 26/08/2021.



Imagen N° 07.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 1, en dirección Av. Manuel Núñez Butrón N° 522 (Salida Puno), de fecha 14/12/2021.



Imagen N° 08.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 2, en dirección Av. Huancané N° 144 – Juliaca (Salida Huancané), de fecha 15/12/2021.



Imagen N° 09.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 3, en dirección Av. Jorge Chávez N° 573– Juliaca (Salida Cusco), de fecha 16/12/2021.



Imagen N° 10.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 1, en dirección Av. Manuel Núñez Butrón N° 522 (Salida Puno), de fecha 20/12/2021.



Imagen N° 11.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 2, en dirección Av. Huancané N° 144 – Juliaca (Salida Huancané), de fecha 21/12/2021.



Imagen N° 12.- Monitoreo de material particulado menor a 10 micras y condiciones meteorológicas en la zona de alto tránsito vehicular – ZAV – 3, en dirección Av. Jorge Chávez N° 573– Juliaca (Salida Cusco), de fecha 22/12/2021.



Imagen N° 13.- Muestreador de alto volumen (High Vol) de la empresa Moneco S.A.C, para el monitoreo del material particulado menor a 10 micras PM₁₀



Imagen N° 14.- Manómetro de flujo de la empresa Moneco S.A.C, para el registro de flujo del equipo High Vol..



Imagen N°15.- Estación meteorológica de la empresa Moneco S.A.C, para el monitoreo de componentes meteorológicos.



Imagen N°16.- Brújula de la empresa Moneco S.A.C, para realizar la orientación adecuada de la estación meteorológica.



Imagen N° 17.- Extensión eléctrica para el abastecimiento de electricidad al muestreador de alto volumen High Vol.



Imagen N° 18.- Kit de filtro de cuarzo para monitoreo de material particulado menor a 10 micras.

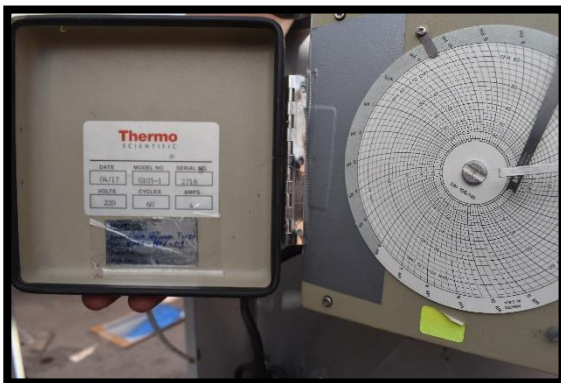


Imagen N° 19.- Registrador de flujo y chart recorder de muestreador de alto volumen High Vol.



Imagen N° 20.- Datalogger de estación meteorológica.



Imagen N° 21.- Temporizador de muestreador de alto volumen High Vol.



Imagen N° 22.- Kit de filtro de cuarzo para monitoreo de material particulado menor a 10 micras.



Imagen N° 23.- Malla de protección de insectos de muestreador de alto volumen High Vol.



Imagen N° 24.- Pizarra informativo de puntos de monitoreo de material particulado y condiciones meteorológicas

Anexo 5. Cadena de custodia de primera campaña de monitoreo

ALAB		CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AIRE										L: F-096-1.1 R: 06 LV: 2019-04-19																						
Datos del cliente: KEVIN FIDEL QUISPE MONROY Razón Social: KEVIN FIDEL QUISPE MONROY Persona de contacto: JOSE LIN LLAMOSAS Correo / Teléfono: 920 465 618 Nombre del proyecto: EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS METALES Y METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRAFICO VEHICULAR - JULIACA 2021												Orden de servicio: 21-4290 Plan de Monitoreo: Cadena de custodia: CC-21-10462 Pág. 1 de 1 Informe de ensayo: IE-21-10539 Procedencia o lugar de muestreo: JULIACA - PUNO																						
Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Inicio	Final	Coordenadas UTM		Condiciones Ambientales			ΔH (pulg. H ₂ O)		PM 10 HV	PM 2.5 HV	PM 2.5 LV	SO ₂	H ₂ S	CO	O ₃	NO ₂	Plomo	HT	HCNM	Benceno	Hg Gasoso	Molibdeno	Levaduras	Aerobios mesófilos	METALES	METEOROLOGICA	Observaciones				
					E	N	T °C	P (mmHg)	PTS	PM10	PM2.5																							
1	ZAV-01	37135	24/08/21 8:00 PM	25/08/21 3:00 PM	378940	828510	10.6	482.1		13.65	15.56	X																				A 10m de la rotonda de la Av. PABLO NUÑEZ BOUTEREAU SE EVIDENCIA POLVOS, PANAFES		
2	ZAV-02	37136	25/08/21 5:42 PM	26/08/21 3:42 PM	379351	828725	14.2	482.4		11.36	14.38	X																				CERCA AL DUNO VALCADA SE EVIDENCIA POLVOS DE POLVOS, PANAFES, PASTO MUY LIGERO Y COQUESTOS, VERDUGAS		
3	ZAV-03	37137	26/08/21 6:23 PM	27/08/21 6:23 PM	378108	828804	10.4	482.63		10.80	12.32	X																				EN LA AV. JORGE CHAVEZ SE EVIDENCIA LA CUSTODIA DE UN PASANTE, PANAFES ETC		
4																																		
5																																		
6																																		
7																																		
8																																		

Para los parámetros que involucran filtros registrar el número de filtro y para otros parámetros marcar con aspa (x) o check según corresponda

Descripción de equipos utilizados:		Leyenda:		Muestreado por:		Recepción de muestra:		
Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo	PM 10	Materia particulada menor a 10 micras	PM 2.5	Materia particulada menor a 2.5 micras	PM 2.5	Materia particulada menor a 2.5 micras
1	EMA-HIV-02	H1 - Vol	PTS	Partículas totales en suspensión	SO ₂	Dióxido de azufre	CO	Monóxido de carbono
2	EMA-EST-01	ESTACION METEOROLOGICA	HGB	Sulfato de hidrogeno	OS	Ozono	HT	Hidrocarburos totales expresados como hexano
3			HNM	Hidrocarburos no metano	Hg	Mercurio gaseoso total	HV	Higié Vol (Auto Volumen)
4			LV	Low Vol (Bajo Volumen)	T	Temperatura	P	Presión
5			I	Índice	F	Fuente	T amb.	Temperatura ambiente
6			T ref.	Temperatura de refrigeración	E	Esta	N	Noche
7			C	Conforme	NC	No conforme		
8								

Muestreado por: ALAB Cliente

Condiciones de conservación:			
Temperatura de conservación	T amb. (°C)	T ref. (°C)	C NC
Filtros / Tubo hopcalita			
Sol. Absorbentes / Tubo Orto			
Placas petri o medio de cultivo			
Otros:			
Código de equipo de verificación:			C NC

Nombre: MONECO S.A.C. KEVIN QUISPE MONROY
 Fecha / Hora: 27/08/21 6:23 27/08/21 6:23
 Firma: *[Firma]* *[Firma]*

RECEPCIÓN DE MUESTRA
 31 ABR 2021
 13:00
 G.P.

Anexo 9. Informe de ensayo de primera campaña de monitoreo



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: Kevin Fidel Quispe Monroy
2.-DIRECCIÓN	: Psj. Libertad N°344 - Juliaca
3.-PROYECTO	: EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA POR MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS METALES Y METALOIDES EN LAS ZONAS DE ANTO TRANSITO VEHICULAR - JULIACA 2021
4.-PROCEDENCIA	: JULIACA - PUNO
5.-SOLICITANTE	: MONECO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000004290-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-09-21

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 3
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-08-31
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-08-31 al 2021-09-21

Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207

Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen ^(*)	EPA CFR 40. Appendix J to part 50, 7-1-11 Edition (VALIDADO-Modificado). 2015□	Reference method for the determination of particulate matter as PM10 in the atmosphere.
Mediciones Metereologicas ^(**) (°)	ASTM D 5741-96(2017)	Standar Practice for Characterizing Surface Wind Using a Wind Vane and Rotating Anenometer
Metales Totales - Filtros HV icp-oes ²	EPA Compendium Method IO-3.4 1999	Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy

ASTM: American Society for Testing Materials

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

^(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

^(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

[°] Ensayo realizado en campo (medido in situ)

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-37135	M-21-37136	M-21-37137			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ZAV-01	ZAV-02	ZAV-03			
COORDENADAS:	E:0378940	E:0379351	E:0378108			
UTM WGS 84:	N:8285710	N:8287725	N:8288044			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	24-08-2021 17:00	25-08-2021 17:42	26-08-2021 18:23			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	25-08-2021 17:00	26-08-2021 17:42	27-08-2021 18:23			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen (*)	g	NA	0,0001	0,1067	0,1143	0,1193
Metales Totales - Filtros HV icp-oes ²						
Antimonio	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	<29,50
Arsénico	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	<29,50
Cadmio	µg/muestra	1,80	5,90	<5,90	<5,90	<5,90
Cobre	µg/muestra	3,60	11,80	992,21	793,85	476,33
Cobalto	µg/muestra	5,40	17,70	<17,70	<17,70	<17,70
Cromo	µg/muestra	4,20	14,00	203,81	200,93	200,08
Hierro	µg/muestra	12,20	40,30	2 066,22	2 619,14	2 708,57
Manganeso	µg/muestra	1,50	4,80	80,82	110,86	114,23
Mercurio	µg/muestra	19,70	65,00	<65,00	<65,00	<65,00
Molibdeno	µg/muestra	3,10	10,20	<10,20	<10,20	<10,20
Niquel	µg/muestra	5,00	16,60	<16,60	<16,60	<16,60
Plomo	µg/muestra	11,40	37,60	<37,60	<37,60	<37,60
Zinc	µg/muestra	43,00	141,80	1 048,51	12 662,59	13 740,64

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-01				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0378940				
			N:8285710				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-08-30	18:00	13	33	2.70	WSW	483.20	0.00
2021-08-30	19:00	12	34	4.00	WSW	483.70	0.00
2021-08-30	20:00	10	40	4.00	N	484.30	0.00
2021-08-30	21:00	10	38	6.30	N	484.40	0.00
2021-08-30	22:00	10	42	4.00	NNW	484.50	0.00
2021-08-30	23:00	9	42	2.70	NW	484.40	0.00
2021-08-31	00:00	8	46	4.50	WSW	484.30	0.00
2021-08-31	01:00	6	39	2.20	NW	483.90	0.00
2021-08-31	02:00	5	37	4.50	NNW	483.90	0.00
2021-08-31	03:00	6	37	3.10	NNW	483.70	0.00
2021-08-31	04:00	5	41	1.80	NNE	483.80	0.00
2021-08-31	05:00	3	44	2.20	NNE	484.10	0.00
2021-08-31	06:00	3	45	0.40	ESE	484.60	0.00
2021-08-31	07:00	6	40	0.40	ESE	485.00	0.00
2021-08-31	08:00	8	35	0.40	SE	485.40	0.00
2021-08-31	09:00	12	33	0.90	SE	485.60	0.00
2021-08-31	10:00	13	37	0.90	W	485.60	0.00
2021-08-31	11:00	14	31	1.30	W	485.30	0.00
2021-08-31	12:00	16	27	0.90	W	484.90	0.00
2021-08-31	13:00	17	27	0.90	W	484.30	0.00
2021-08-31	14:00	19	16	0.90	W	483.70	0.00
2021-08-31	15:00	19	20	4.00	W	483.60	0.00
2021-08-31	16:00	16	28	4.00	W	482.70	0.00
2021-08-31	17:00	14	30	3.60	W	482.90	0.00
Promedio		10.58	35.08	2.53	W	484.24	0.00

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-02				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0379351				
			N:8287725				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-08-31	19:00	12	49	1.30	S	484.20	0.00
2021-08-31	20:00	11	58	0.90	SSE	484.40	0.00
2021-08-31	21:00	10	64	1.80	SE	484.70	0.00
2021-08-31	22:00	9	68	0.90	ESE	484.90	0.00
2021-08-31	23:00	8	63	1.80	WSW	484.90	0.00
2021-09-01	00:00	8	65	0.90	WSW	484.70	0.00
2021-09-01	01:00	7	69	0.90	WSW	484.70	0.00
2021-09-01	02:00	6	67	0.00	WSW	484.60	0.00
2021-09-01	03:00	5	72	0.40	W	484.20	0.00
2021-09-01	04:00	4	65	0.00	W	484.40	0.00
2021-09-01	05:00	4	60	0.00	W	484.60	0.00
2021-09-01	06:00	3	68	0.00	W	485.00	0.00
2021-09-01	07:00	3	65	0.00	SW	485.40	0.00
2021-09-01	08:00	6	61	0.40	WSW	485.70	0.00
2021-09-01	09:00	9	53	0.40	S	486.10	0.00
2021-09-01	10:00	12	31	0.40	W	485.90	0.00
2021-09-01	11:00	16	22	0.90	S	485.50	0.00
2021-09-01	12:00	19	16	1.30	WNW	485.30	0.00
2021-09-01	13:00	19	13	0.90	NW	484.90	0.00
2021-09-01	14:00	21	14	3.10	WNW	484.20	0.00
2021-09-01	15:00	16	31	2.70	WSW	482.70	0.00
2021-09-01	16:00	16	28	3.60	W	482.70	0.00
2021-09-01	17:00	14	30	2.70	W	482.90	0.00
2021-09-01	18:00	13	33	0.90	WSW	483.20	0.00
Promedio		10.46	48.54	1.00	WSW	484.58	0.00

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-03				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E.0378108				
			N.8288044				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-09-01	20:00	12	34	4.00	E	483.80	0.00
2021-09-01	21:00	11	32	2.70	E	484.30	0.00
2021-09-01	22:00	10	36	1.30	SW	484.50	0.00
2021-09-01	23:00	9	34	0.90	SW	484.60	0.00
2021-09-02	00:00	8	37	0.90	WSW	484.30	0.00
2021-09-02	01:00	7	42	1.30	WSW	484.10	0.00
2021-09-02	02:00	6	38	0.90	SW	483.80	0.00
2021-09-02	03:00	6	37	1.80	SW	484.00	0.00
2021-09-02	04:00	3	42	1.30	N	484.10	0.00
2021-09-02	05:00	3	44	0.90	N	484.60	0.00
2021-09-02	06:00	4	41	0.40	SW	484.80	0.00
2021-09-02	07:00	4	44	0.00	WSW	485.10	0.00
2021-09-02	08:00	9	33	0.00	WSW	485.50	0.00
2021-09-02	09:00	13	40	0.40	NE	485.90	0.00
2021-09-02	10:00	15	31	1.30	E	485.90	0.00
2021-09-02	11:00	16	26	1.80	NE	485.50	0.00
2021-09-02	12:00	19	23	1.30	NE	485.00	0.00
2021-09-02	13:00	19	27	2.20	E	484.50	0.00
2021-09-02	14:00	19	15	0.40	ESE	483.90	0.00
2021-09-02	15:00	19	20	2.20	E	483.60	0.00
2021-09-02	16:00	16	28	2.70	E	482.70	0.00
2021-09-02	17:00	14	30	3.10	E	482.90	0.00
2021-09-02	18:00	13	33	1.30	ESE	483.20	0.00
2021-09-02	19:00	12	34	4.50	ESE	483.70	0.00
Promedio		11.13	33.38	1.57	E	484.35	0.00

Anexo 10. Informe de ensayo de segunda campaña de monitoreo



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10663

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
2.-DIRECCIÓN	: AV. NUEVA ZELANDIA 631
3.-PROYECTO	: EVALUACIÓN DE LA CONTAMIANCIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS , METALES Y METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRANSITO VEHICULAR -JULIACA , 2021
4.-PROCEDENCIA	: JULIACA - PUNO
5.-SOLICITANTE	: EL CLIENTE
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000004134-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-09-22

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 3
3.-FECHA DE RÉCEP. DE MUESTRA	: 2021-09-03
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-09-03 al 2021-09-22

Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207

Marco Valencia Huerta
Ingeniero Químico
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10663
III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen ⁽¹⁾	EPA CFR 40. Appendix J to part 50, 7-1-11 Edition (VALIDADO-Modificado). 2015 □	Reference method for the determination of particulate matter as PM10 in the atmosphere.
Mediciones Metereologicas ^{(1*) (e)}	ASTM D 5741-96(2017)	Standar Practice for Characterizing Surface Wind Using a Wind Vane and Rotating Anenometer
Metales Totales - Filtros HV icp-oes ²	EPA Compendium Method IO-3.4 1999	Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy

⁽¹⁾"ASTM": American Society for Testing Materials

⁽¹⁾"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

^(1*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

^e Ensayo realizado en campo (medido in situ)

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10663

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-37596	M-21-37597	M-21-37598			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ZAV-01	ZAV-02	ZAV-03			
COORDENADAS:	E:0378940	E:0379351	E:0378108			
UTM WGS 84:	N:8285710	N:8287725	N:8288044			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	30-08-2021 17:15	31-08-2021 17:50	01-09-2021 18:31			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	31-08-2021 17:15	01-09-2021 17:50	02-09-2021 18:31			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen (*)	g	NA	0,0001	0,1223	0,1159	0,1285
Metales Totales - Filtros HV icp-oes ²						
Antimonio	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	<29,50
Arsénico	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	<29,50
Cadmio	µg/muestra	1,80	5,90	<5,90	<5,90	<5,90
Cobalto	µg/muestra	5,40	17,70	<17,70	<17,70	<17,70
Cobre	µg/muestra	3,60	11,80	70,61	46,27	41,36
Cromo	µg/muestra	4,20	14,00	<14,00	<14,00	<14,00
Hierro	µg/muestra	12,20	40,30	1 803,12	1 967,73	1 747,12
Manganeso	µg/muestra	1,50	4,80	91,08	106,20	92,01
Mercurio	µg/muestra	19,70	65,00	<65,00	<65,00	<65,00
Molibdeno	µg/muestra	3,10	10,20	<10,20	<10,20	<10,20
Níquel	µg/muestra	5,00	16,60	<16,60	<16,60	<16,60
Plomo	µg/muestra	11,40	37,60	<37,60	<37,60	<37,60
Zinc	µg/muestra	43,00	141,80	6 553,49	6 603,64	6 233,47

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-01				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0378940				
			N:8285710				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-08-30	18:00	13	33	1.30	WSW	483.20	0.00
2021-08-30	19:00	12	34	0.90	WSW	483.70	0.00
2021-08-30	20:00	10	40	0.90	N	484.30	0.00
2021-08-30	21:00	10	38	0.40	N	484.40	0.00
2021-08-30	22:00	10	42	0.90	NNW	484.50	0.00
2021-08-30	23:00	9	42	0.40	NW	484.40	0.00
2021-08-31	00:00	8	46	0.40	WSW	484.30	0.00
2021-08-31	01:00	6	39	0.40	NW	483.90	0.00
2021-08-31	02:00	5	37	0.40	NNW	483.90	0.00
2021-08-31	03:00	6	37	0.00	NNW	483.70	0.00
2021-08-31	04:00	5	41	0.00	NNE	483.80	0.00
2021-08-31	05:00	3	44	0.00	NNE	484.10	0.00
2021-08-31	06:00	3	45	0.00	ESE	484.60	0.00
2021-08-31	07:00	6	40	0.00	ESE	485.00	0.00
2021-08-31	08:00	8	35	0.40	SE	485.40	0.00
2021-08-31	09:00	12	33	0.40	SE	485.60	0.00
2021-08-31	10:00	13	37	0.90	W	485.60	0.00
2021-08-31	11:00	14	31	1.30	W	485.30	0.00
2021-08-31	12:00	16	27	0.90	W	484.90	0.00
2021-08-31	13:00	17	27	1.30	W	484.30	0.00
2021-08-31	14:00	19	16	1.30	W	483.70	0.00
2021-08-31	15:00	19	20	1.80	W	483.60	0.00
2021-08-31	16:00	16	28	2.20	W	482.70	0.00
2021-08-31	17:00	14	30	2.70	W	482.90	0.00
Promedio		10.58	35.08	0.8	W	484.24	0.00

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-02				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0379351				
			N:8287725				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-08-31	19:00	12	49	0.40	S	484.20	0.00
2021-08-31	20:00	11	58	0.40	SSE	484.40	0.00
2021-08-31	21:00	10	64	0.90	SE	484.70	0.00
2021-08-31	22:00	9	68	0.40	ESE	484.90	0.00
2021-08-31	23:00	8	63	0.40	WSW	484.90	0.00
2021-09-01	00:00	8	65	0.40	WSW	484.70	0.00
2021-09-01	01:00	7	69	0.40	WSW	484.70	0.00
2021-09-01	02:00	6	67	0.00	WSW	484.60	0.00
2021-09-01	03:00	5	72	0.00	W	484.20	0.00
2021-09-01	04:00	4	65	0.40	W	484.40	0.00
2021-09-01	05:00	4	60	0.40	W	484.60	0.00
2021-09-01	06:00	3	68	0.40	W	485.00	0.00
2021-09-01	07:00	3	65	0.00	SW	485.40	0.00
2021-09-01	08:00	6	61	0.40	WSW	485.70	0.00
2021-09-01	09:00	9	53	0.40	S	486.10	0.00
2021-09-01	10:00	12	31	0.40	W	485.90	0.00
2021-09-01	11:00	16	22	0.40	S	485.50	0.00
2021-09-01	12:00	19	16	0.40	WNW	485.30	0.00
2021-09-01	13:00	19	13	1.30	NW	484.90	0.00
2021-09-01	14:00	21	14	1.30	WNW	484.20	0.00
2021-09-01	15:00	16	31	2.20	WSW	482.70	0.00
2021-09-01	16:00	16	28	2.20	W	482.70	0.00
2021-09-01	17:00	14	30	2.70	W	482.90	0.00
2021-09-01	18:00	13	33	1.30	WSW	483.20	0.00
Promedio		10.46	48.54	0.73	WSW	484.58	0.00

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-10539
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-03				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0378108				
			N:8288044				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-09-01	20:00	12	34	1.30	E	483.80	0.00
2021-09-01	21:00	11	32	0.40	E	484.30	0.00
2021-09-01	22:00	10	36	0.40	SW	484.50	0.00
2021-09-01	23:00	9	34	0.40	SW	484.60	0.00
2021-09-02	00:00	8	37	0.40	WSW	484.30	0.00
2021-09-02	01:00	7	42	0.40	WSW	484.10	0.00
2021-09-02	02:00	6	38	0.40	SW	483.80	0.00
2021-09-02	03:00	6	37	0.90	SW	484.00	0.00
2021-09-02	04:00	3	42	0.40	N	484.10	0.00
2021-09-02	05:00	3	44	0.00	N	484.60	0.00
2021-09-02	06:00	4	41	0.00	SW	484.80	0.00
2021-09-02	07:00	4	44	0.90	WSW	485.10	0.00
2021-09-02	08:00	9	33	0.40	WSW	485.50	0.00
2021-09-02	09:00	13	40	0.90	NE	485.90	0.00
2021-09-02	10:00	15	31	1.30	E	485.90	0.00
2021-09-02	11:00	16	26	1.30	NE	485.50	0.00
2021-09-02	12:00	19	23	1.30	NE	485.00	0.00
2021-09-02	13:00	19	27	1.30	E	484.50	0.00
2021-09-02	14:00	19	15	3.10	ESE	483.90	0.00
2021-09-02	15:00	19	20	1.80	E	483.60	0.00
2021-09-02	16:00	16	28	2.20	E	482.70	0.00
2021-09-02	17:00	14	30	2.70	E	482.90	0.00
2021-09-02	18:00	13	33	1.30	ESE	483.20	0.00
2021-09-02	19:00	12	34	0.90	ESE	483.70	0.00
Promedio		11.13	33.38	1.02	E	484.35	0.00

Anexo 11. Informe de ensayo de tercera campaña de monitoreo



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
2.-DIRECCIÓN : AV. NUEVA ZELANDIA 631
3.-PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS METALES Y METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRÁNSITO VEHICULAR - JULIACA 2021"
4.-PROCEDENCIA : JULIACA - PUNO
5.-SOLICITANTE : MONECO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
6.-ORDEN DE SERVICIO : OS-21-6307
7.- PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2022-01-07

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 3
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-12-20
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-12-20 al 2022-01-07

Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516
III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen (*)	EPA CFR 40. Appendix J to part 50, 7-1-11 Edition (VALIDADO-Modificado). 2015 □	Reference method for the determination of particulate matter as PM10 in the atmosphere.
Mediciones Meteorológicas ^(*) ⁽⁶⁾	ASTM D 5741-96(2017)	Standar Practice for Characterizing Surface Wind Using a Wind Vane and Rotating Anemometer
Metales Totales - Filtros HV icp-oes ²	EPA Compendium Method IO-3.4 1999	Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy

"ASTM": American Society for Testing Materials

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

^(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

⁶ Ensayo realizado en campo (medido in situ)

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516
IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-66360	M-21-66361	M-21-66362			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ZAV-01	ZAV-02	ZAV-03			
COORDENADAS:	E:0378940	E:0379440	E:0378108			
UTM WGS 84:	N:8285710	N:8287766	N:8288044			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	14-12-2021 13:00	15-12-2021 14:54	16-12-2021 17:51			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	15-12-2021 13:00	16-12-2021 14:54	17-12-2021 17:34			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen (*)	g	NA	0,0001	0,0618	0,0595	0,0854
Metales Totales - Filtros HV icp-oes						
Aluminio ²	µg/muestra	22,00	72,50	295,42	284,15	373,46
Antimonio ²	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	<29,50
Arsénico ²	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	<29,50
Bario ²	µg/muestra	1,10	3,80	17,80	12,67	20,84
Berilio ²	µg/muestra	0,65	2,15	<2,15	<2,15	<2,15
Boro ²	µg/muestra	10,70	35,40	<35,40	<35,40	<35,40
Cadmio ²	µg/muestra	1,80	5,90	<5,90	<5,90	<5,90
Calcio ²	µg/muestra	36,90	121,90	1 538,87	1 672,94	1 857,38
Cerio ²	µg/muestra	17,20	56,90	<56,90	<56,90	<56,90
Cobalto ²	µg/muestra	5,40	17,70	<17,70	<17,70	<17,70

^(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

^(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-66360	M-21-66361	M-21-66362			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ZAV-01	ZAV-02	ZAV-03			
COORDENADAS:	E:0378940	E:0379440	E:0378108			
UTM WGS 84:	N:8285710	N:8287766	N:8288044			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	14-12-2021 13:00	15-12-2021 14:54	16-12-2021 17:51			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	15-12-2021 13:00	16-12-2021 14:54	17-12-2021 17:34			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Cobre ²	µg/muestra	3,60	11,80	80,23	21,89	51,10
Cromo ²	µg/muestra	4,20	14,00	<14,00	<14,00	<14,00
Estaño ²	µg/muestra	15,00	49,40	<49,40	<49,40	<49,40
Estroncio ²	µg/muestra	0,33	1,07	8,12	5,80	7,96
Fosforo ²	µg/muestra	37,30	123,00	<123,00	<123,00	<123,00
Hierro ²	µg/muestra	12,20	40,30	378,65	489,85	795,15
Litio ²	µg/muestra	1,10	3,80	<3,80	<3,80	<3,80
Magnesio ²	µg/muestra	8,60	28,50	225,97	172,75	187,42
Manganeso ²	µg/muestra	1,50	4,80	13,30	34,63	82,49
Mercurio ²	µg/muestra	19,70	65,00	<65,00	<65,00	<65,00
Molibdeno ²	µg/muestra	3,10	10,20	<10,20	<10,20	<10,20
Niquel ²	µg/muestra	5,00	16,60	<16,60	<16,60	<16,60
Plomo ²	µg/muestra	11,40	37,60	<37,60	<37,60	<37,60
Potasio ²	µg/muestra	73,40	242,20	333,81	<242,20	299,97
Selenio ²	µg/muestra	55,80	184,20	<184,20	<184,20	<184,20
Silice ²	µg/muestra	131,80	435,00	1 518,354	1 444,788	1 648,062
Talio ²	µg/muestra	54,30	179,30	<179,30	<179,30	<179,30
Titanio ²	µg/muestra	1,10	3,80	16,38	10,73	17,73
Vanadio ²	µg/muestra	2,40	8,10	<8,10	<8,10	<8,10

(¹) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516

ITEM	1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-66360	M-21-66361	M-21-66362
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ZAV-01	ZAV-02	ZAV-03
COORDENADAS:	E:0378940	E:0379440	E:0378108
UTM WGS 84:	N:8285710	N:8287766	N:8288044
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA		
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	14-12-2021 13:00	15-12-2021 14:54	16-12-2021 17:51
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	15-12-2021 13:00	16-12-2021 14:54	17-12-2021 17:34
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.
Zinc ²	µg/muestra	43,00	141,80
RESULTADOS			
		941,45	1041,23
			1405,15

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-01				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0378940				
			N:8285710				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-12-14	14:00	19	36	1.30	WSW	481.30	0.00
2021-12-14	15:00	18	36	4.50	SSW	480.90	0.00
2021-12-14	16:00	18	33	3.60	SSW	480.90	0.00
2021-12-14	17:00	16	42	3.60	SSW	481.20	0.00
2021-12-14	18:00	13	51	3.10	SSW	481.70	0.00
2021-12-14	19:00	10	78	2.20	E	482.70	0.4
2021-12-14	20:00	9	84	2.20	E	483.40	0.2
2021-12-14	21:00	9	80	1.80	E	483.60	0.00
2021-12-14	22:00	9	84	1.80	E	483.90	0.00
2021-12-14	23:00	9	86	1.30	E	483.90	0.00
2021-12-15	00:00	9	84	0.90	E	483.60	0.00
2021-12-15	01:00	9	73	0.90	ENE	483.30	0.00
2021-12-15	02:00	7	84	0.90	NNW	483.30	0.00
2021-12-15	03:00	6	84	0.90	NW	483.10	0.00
2021-12-15	04:00	6	87	0.90	NW	483.20	0.00
2021-12-15	05:00	6	87	0.90	NW	483.30	0.00
2021-12-15	06:00	6	85	0.90	NW	483.50	0.00
2021-12-15	07:00	9	80	0.90	NW	483.70	0.00
2021-12-15	08:00	11	68	0.90	NW	483.90	0.00
2021-12-15	09:00	13	61	0.90	NW	483.90	0.00
2021-12-15	10:00	14	50	0.90	NW	483.80	0.00
2021-12-15	11:00	16	40	1.30	E	483.60	0.00
2021-12-15	12:00	17	38	1.30	ENE	483.10	0.00
2021-12-15	13:00	18	39	1.30	E	482.70	0.00
Promedio		11.54	65.42	1.63	NW	482.98	0.025

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-02				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0379440				
			N:8287766				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-12-15	16:00	15	45	1.30	NE	481.10	0.00
2021-12-15	17:00	14	52	1.30	NE	481.70	0.00
2021-12-15	18:00	10	76	1.30	S	482.70	0.6
2021-12-15	19:00	9	80	1.30	S	483.00	0.00
2021-12-15	20:00	9	78	1.80	S	483.30	0.00
2021-12-15	21:00	9	79	0.40	S	483.70	0.00
2021-12-15	22:00	9	77	0.40	SW	483.70	0.00
2021-12-15	23:00	8	80	0.90	SSW	483.50	0.00
2021-12-16	00:00	8	80	0.00	SSW	483.20	0.00
2021-12-16	01:00	8	84	0.40	WSW	482.90	0.00
2021-12-16	02:00	8	84	0.40	WSW	482.50	0.00
2021-12-16	03:00	8	81	0.00	WSW	482.40	0.00
2021-12-16	04:00	7	86	0.40	ENE	482.50	0.00
2021-12-16	05:00	7	87	0.40	ENE	482.70	0.00
2021-12-16	06:00	7	85	0.40	ENE	483.10	0.00
2021-12-16	07:00	9	78	0.40	ENE	483.60	0.00
2021-12-16	08:00	10	77	0.40	NNE	483.90	0.00
2021-12-16	09:00	12	68	0.40	NE	484.20	0.00
2021-12-16	10:00	13	61	0.00	NE	484.10	0.00
2021-12-16	11:00	14	58	0.90	ENE	483.80	0.00
2021-12-16	12:00	14	60	0.90	NE	483.40	0.00
2021-12-16	13:00	16	54	0.90	NE	482.80	0.00
2021-12-16	14:00	14	59	1.80	NE	482.40	0.00
2021-12-16	15:00	11	77	2.70	ENE	482.50	0.00
Promedio		10.38	72.75	0.8	NE	483.03	0.025

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17516
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-03				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0378108				
			N:8288044				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-12-16	18:00	7	98	1.30	W	482.40	1.52
2021-12-16	19:00	6	97	2.20	W	483.10	1.78
2021-12-16	20:00	5	97	1.30	NNW	483.20	1.27
2021-12-16	21:00	5	97	0.90	N	483.40	0.51
2021-12-16	22:00	5	97	0.40	N	483.60	0.51
2021-12-16	23:00	6	95	0.90	N	484.00	0.00
2021-12-17	00:00	6	94	0.40	N	483.80	0.50
2021-12-17	01:00	6	95	0.90	N	483.40	0.51
2021-12-17	02:00	6	94	0.90	N	482.90	0.00
2021-12-17	03:00	6	97	0.40	N	482.90	0.25
2021-12-17	04:00	6	93	0.40	N	482.60	0.00
2021-12-17	05:00	6	91	0.40	N	482.60	0.00
2021-12-17	06:00	6	96	0.00	N	483.20	0.00
2021-12-17	07:00	6	93	0.00	N	483.50	0.00
2021-12-17	08:00	7	89	0.40	N	483.60	0.00
2021-12-17	09:00	9	87	0.90	N	483.70	0.00
2021-12-17	10:00	10	77	0.90	W	483.60	0.00
2021-12-17	11:00	11	72	1.30	WNW	483.60	0.00
2021-12-17	12:00	12	72	1.30	SW	483.20	0.00
2021-12-17	13:00	12	73	2.20	SW	483.10	0.00
2021-12-17	14:00	13	74	2.20	SSW	482.30	0.00
2021-12-17	15:00	14	68	2.20	WNW	481.70	0.00
2021-12-17	16:00	15	62	2.70	NW	481.10	0.00
2021-12-17	17:00	16	64	3.10	W	481.10	0.00
Promedio		8.38	86.33	1.15	N	482.98	0.20

Anexo 12. Informe de ensayo de cuarta campaña de monitoreo



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17877

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
2.-DIRECCIÓN : AV. NUEVA ZELANDIA 631
3.-PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS METALES Y METALOIDES EN LAS ZONAS DE ALTO TRÁNSITO VEHICULAR - JULIACA 2021
4.-PROCEDENCIA : JULIACA - PUNO
5.-SOLICITANTE : MONECO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : OS-21-6380
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA
8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2022-01-07

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 3
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-12-24
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-12-24 al 2022-01-07

Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP N° 191207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17877
III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen (*)	EPA CFR 40. Appendix J to part 50, 7-1-11 Edition (VALIDADO-Modificado). 2015 □	Reference method for the determination of particulate matter as PM10 in the atmosphere.
Mediciones Metereologicas (**) (°)	ASTM D 5741-96(2017)	Standar Practice for Characterizing Surface Wind Using a Wind Vane and Rotating Anenometer
Metales Totales - Filtros HV icp-oes ²	EPA Compendium Method IO-3.4 1999	Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy

ASTM: American Society for Testing Materials

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

(°) Ensayo realizado en campo (medido in situ)

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17877
IV. RESULTADOS

ITEM	1		2		3	
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-67588		M-21-67589		M-21-67590	
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ZAV-01		ZAV-02		ZAV-03	
COORDENADAS:	E:0378940		E:0379440		E:0378108	
UTM WGS 84:	N:8285710		N:8287766		N:8288044	
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	20-12-2021 10:24		21-12-2021 12:04		22-12-2021 13:21	
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	21-12-2021 10:42		22-12-2021 12:04		23-12-2021 13:21	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Determinación de peso. Filtros PM 10 Alto volumen (*)	g	NA	0,0001	0,0579	0,0562	0,0921
Metales Totales - Filtros HV icp-oes						
Aluminio ²	µg/muestra	22,00	72,50	1 499,18	1 155,98	1 985,17
Antimonio ²	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	57,51
Arsénico ²	µg/muestra	8,90	29,50	<29,50	<29,50	<29,50
Bario ²	µg/muestra	1,10	3,80	3 893,00	3 607,03	3 695,72
Berilio ²	µg/muestra	0,65	2,15	<2,15	<2,15	<2,15
Boro ²	µg/muestra	10,70	35,40	2 755,09	2 355,04	2 527,82
Cadmio ²	µg/muestra	1,80	5,90	<5,90	<5,90	<5,90
Calcio ²	µg/muestra	36,90	121,90	4 242,21	2 707,23	4 926,14
Cerio ²	µg/muestra	17,20	56,90	<56,90	<56,90	<56,90
Cobalto ²	µg/muestra	5,40	17,70	<17,70	<17,70	<17,70
Cobre ²	µg/muestra	3,60	11,80	58,85	44,11	75,86
Cromo ²	µg/muestra	4,20	14,00	<14,00	<14,00	<14,00
Estaño ²	µg/muestra	15,00	49,40	<49,40	<49,40	<49,40
Estroncio ²	µg/muestra	0,33	1,07	62,01	54,51	65,87
Fosforo ²	µg/muestra	37,30	123,00	<123,00	<123,00	184,35
Hierro ²	µg/muestra	12,20	40,30	1 032,56	811,25	1 941,01

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17877

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-67588	M-21-67589	M-21-67590			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ZAV-01	ZAV-02	ZAV-03			
COORDENADAS:	E:0378940	E:0379440	E:0378108			
UTM WGS 84:	N:8285710	N:8287766	N:8288044			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	20-12-2021 10:24	21-12-2021 12:04	22-12-2021 13:21			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	21-12-2021 10:42	22-12-2021 12:04	23-12-2021 13:21			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Litio ²	µg/muestra	1,10	3,80	<3,80	<3,80	<3,80
Magnesio ²	µg/muestra	8,60	28,50	450,84	223,89	546,06
Manganeso ²	µg/muestra	1,50	4,80	59,93	47,13	148,50
Mercurio ²	µg/muestra	19,70	65,00	<65,00	<65,00	<65,00
Molibdeno ²	µg/muestra	3,10	10,20	<10,20	<10,20	<10,20
Níquel ²	µg/muestra	5,00	16,60	<16,60	<16,60	<16,60
Plomo ²	µg/muestra	11,40	37,60	<37,60	<37,60	<37,60
Potasio ²	µg/muestra	73,40	242,20	3 029,44	2 836,22	3 298,30
Selenio ²	µg/muestra	55,80	184,20	<184,20	<184,20	<184,20
Sílice ²	µg/muestra	131,80	435,00	2 546,325	1 934,919	3 517,355
Talio ²	µg/muestra	54,30	179,30	<179,30	<179,30	<179,30
Titanio ²	µg/muestra	1,10	3,80	7,44	<3,80	29,33
Vanadio ²	µg/muestra	2,40	8,10	<8,10	<8,10	<8,10
Zinc ²	µg/muestra	43,00	141,80	2 737,55	2 438,44	2 723,24

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17877
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-01				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0378940				
			N:8285710				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-12-20	11:00	11	83	1.30	S	481.00	0.00
2021-12-20	12:00	11	81	1.80	S	480.90	0.00
2021-12-20	12:00	11	85	1.30	S	480.60	0.00
2021-12-20	13:00	12	75	2.20	SW	481.90	0.00
2021-12-20	14:00	13	66	1.80	SW	481.80	0.00
2021-12-20	15:00	12	72	1.80	SW	482.20	0.00
2021-12-20	16:00	9	91	1.80	SE	483.10	1.00
2021-12-20	18:00	8	92	0.90	S	483.40	2.00
2021-12-20	19:00	8	91	0.40	SSW	483.60	0.40
2021-12-20	20:00	8	88	0.40	ESE	483.70	0.00
2021-12-20	21:00	8	88	0.40	SE	483.70	0.00
2021-12-20	22:00	8	89	0.00	ESE	483.60	0.00
2021-12-20	23:00	8	91	0.40	NNW	483.20	0.00
2021-12-21	00:00	8	89	0.40	NNW	482.90	0.00
2021-12-21	01:00	8	91	0.00	N	482.40	0.00
2021-12-21	02:00	8	88	0.00	N	482.00	0.00
2021-12-21	03:00	8	89	0.00	N	482.10	0.00
2021-12-21	04:00	8	86	0.00	N	482.30	0.00
2021-12-21	05:00	8	87	0.00	N	482.70	0.00
2021-12-21	06:00	9	83	0.40	NW	482.90	0.00
2021-12-21	07:00	10	76	0.40	W	483.20	0.00
2021-12-21	08:00	11	66	0.40	NNW	483.30	0.00
2021-12-21	09:00	14	56	0.90	ESE	483.20	0.00
2021-12-21	10:00	14	50	0.90	NW	483.80	0.00
Promedio		9.71	81.38	0.75	S	482.65	0.14

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17877
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-02				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0379440				
			N:8287766				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-12-21	13:00	14	57	0.90	E	481.80	0.00
2021-12-21	14:00	16	55	0.90	E	481.20	0.00
2021-12-21	15:00	16	56	0.90	E	480.80	0.00
2021-12-21	16:00	16	59	1.80	E	480.30	0.00
2021-12-21	17:00	11	83	1.80	ESE	480.70	0.00
2021-12-21	18:00	11	83	1.30	ESE	481.50	1.00
2021-12-21	19:00	10	83	0.40	ESE	481.70	1.20
2021-12-21	20:00	10	87	1.30	WSW	482.30	0.20
2021-12-21	21:00	9	87	1.80	WSW	482.60	0.20
2021-12-21	22:00	9	80	1.30	WSW	482.70	0.40
2021-12-21	23:00	8	82	1.80	WSW	482.50	0.20
2021-12-22	00:00	8	75	1.30	WSW	482.40	0.20
2021-12-22	01:00	7	78	0.90	SW	482.20	0.40
2021-12-22	02:00	8	79	0.40	SW	481.80	0.00
2021-12-22	03:00	7	78	0.90	WSW	481.90	0.00
2021-12-22	04:00	7	80	0.40	WSW	481.80	0.00
2021-12-22	05:00	6	87	0.40	E	482.10	0.20
2021-12-22	06:00	6	82	0.40	SSE	482.40	0.00
2021-12-22	07:00	6	83	0.00	SW	483.10	0.20
2021-12-22	08:00	5	90	1.80	NW	483.60	0.60
2021-12-22	09:00	5	92	1.80	WSW	483.70	0.80
2021-12-22	10:00	6	90	1.30	WSW	483.40	0.20
2021-12-22	11:00	8	83	0.90	WSW	483.10	0.00
2021-12-22	12:00	8	83	1.30	WSW	482.90	0.00
Promedio		9.04	78.83	1.08	WSW	482.19	0.24

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-17877
METEREOLÓGICOS

ESTACIÓN DE MUESTREO			ZAV-03				
COORDENADAS - UTM WGS 84			E:0378108				
			N:8288044				
Fecha	Hora de Registro	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del Viento (puntos cardinales)	Presión (mmHg)	Precipitación
2021-12-22	14:00	14	47	0.40	WNW	484.10	0.00
2021-12-22	15:00	13	66	1.80	SW	481.80	0.00
2021-12-22	16:00	12	66	0.90	WSW	481.80	0.00
2021-12-22	17:00	12	66	0.40	WNW	481.80	0.00
2021-12-22	18:00	12	69	0.40	ENE	482.10	0.00
2021-12-22	19:00	11	72	0.90	NE	482.60	0.00
2021-12-22	20:00	11	57	0.40	NE	482.90	0.00
2021-12-22	21:00	10	52	2.20	WSW	483.30	0.00
2021-12-22	22:00	9	48	1.80	WSW	483.60	0.00
2021-12-22	23:00	8	55	1.30	WSW	483.50	0.00
2021-12-23	00:00	8	60	0.00	W	483.20	0.00
2021-12-23	01:00	7	60	0.40	W	482.90	0.00
2021-12-23	02:00	6	64	0.00	WSW	482.50	0.00
2021-12-23	03:00	7	48	0.40	WSW	482.40	0.00
2021-12-23	04:00	5	57	0.00	WSW	482.70	0.00
2021-12-23	05:00	5	69	0.40	WSW	483.00	0.00
2021-12-23	06:00	6	68	0.00	WSW	483.40	0.00
2021-12-23	07:00	10	57	0.40	NNE	483.70	0.00
2021-12-23	08:00	13	58	0.90	NE	483.90	0.00
2021-12-23	09:00	14	47	0.40	WNW	484.10	0.00
2021-12-23	10:00	13	66	1.80	SW	481.80	0.00
2021-12-23	11:00	12	72	1.80	SW	482.20	0.00
2021-12-23	12:00	13	61	0.90	NW	483.90	0.00
2021-12-23	13:00	14	58	0.90	ENE	483.80	0.00
Promedio		10.21	60.13	0.78	WSW	482.96	0.00

Anexo 13. Certificados de calibración de estación meteorológica en estación seca



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LDV-0007-2021

Expediente	: 00557	Página 1 de 2
Fecha de emisión	: 2021-11-29	
1. Solicitante	: MONECO S.A.C.	<p>Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.</p> <p>El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.</p> <p>Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.</p> <p>ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.</p> <p>El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.</p>
Dirección	: Mz. D - Lote 8 - Urb. Villa El Conquistador II - Alto Selva Alegre - Arequipa - Arequipa	
2. Instrumento calibrado	: ESTACION METEOROLOGICA	
Marca	: DAVIS INSTRUMENTS	
Modelo	: VANTAGE PRO2	
N° de serie	: BC180712002	
Código	: EMA-EST-01	
Alcance	: 0° a 360°	
Resolución	: 1°	
Procedencia	: U.S.A.	
3. Lugar de calibración	: En el laboratorio de velocidad de ALAB	
4. Fecha de calibración	: 2021-11-25	
5. Método de calibración	: La calibración se realizó por comparación directa usando patrones calibrados	
6. Trazabilidad :	Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)	

Código	Descripción	Trazabilidad
EM-OPE-854	Brújula	MT-1265-2021 / METRINDUST
EM-OPE-892	Medidor de campo Electromagnético	CCP-0359-002-20 / ELICROM
MT's-0034	Cronómetro	T's-0167-2020 / METROIL S.A.C.

Randy C. Santiago Jurado
Responsable del Laboratorio de
Velocidad y Dimensional

7. Condiciones de Calibración :

	INICIO	FINAL
Temperatura ambiental	21,3 °C	22,6 °C
Humedad relativa	62,1 % h.r.	62,3 % h.r.

8. Resultados de la Calibración :

Valor nominal (°)	Patrón (°)	Instrumento (°)	Corrección (°)	Incertidumbre (°)
0	90	90	0	0,8
90	180	180	0	1,2
180	270	270	0	1,2
360	360	360	0	1,2

Dirección de viento convencionalmente verdadera (DVCV) resulta de la relación:

$$DVCV = \text{Indicación del instrumento} + \text{corrección}$$

Tiempo de Estabilización segundos
15,15

Sensibilidad a variaciones de campo magnetico μT	Resultados
2	Conforme
4	Conforme
6	Conforme

9. Observaciones :

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" con el N° 000894.
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

FIN DEL DOCUMENTO

Anexo 14. Certificados de calibración de estación meteorológica en estación húmeda



ESTACIONES METEOROLÓGICAS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

176 -20

SOLICITANTE : MONECO S.A.C	DATOS PATRÓN
MODELO DE ESTACION : VANTAGE PRO 2	
MARCA : DAVIS INSTRUMENTS CORPORATION	MARCA DAVIS
SERIE UNIDAD ISS : BC180712002	SERIE UNIDAD ISS BF201015012
SERIE UNIDAD CONSOLA : BC180712002	SERIE UNIDAD CONSOLA BF201015012
UBICACIÓN : AREQUIPA	
FECHA DE CALIBRACIÓN : 04/12/2020	
FECHA DE EXPIRACIÓN : 05/12/2021	

SENSOR DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA	RANGOS DE EXACTITUD GENERAL	PROMEDIO CLIENTE	MAX./MIN. CLIENTE	ERROR PROMEDIO CLIENTE	CORRELACION CLIENTE	REFERENCIA ESTACION PATRON-DAVIS (NIST)
TEMPERATURA-6162	± 0.5 °C	19.96 °C	22.9 / 19.1 °C	0.0 °C	1.00	201019N04
HUMEDAD RELATIVA-6162	± 3%	80.34 %	84 / 69 %	- 0.1 %	0.99	201019N04
VELOCIDAD DE VIENTO-6410	±2 m/s ó 5%	1.35 m/s	8.5 / 0.0 m/s	0.0 m/s	1.00	201019N06
PRECIPITACIÓN-6162	±4% + 1 cuenta de lluvia	0.03 mm	2.2 / 0.0 mm	0.0 mm	1.00	201019N05
PRESIÓN BAROMÉTRICA-6162	± 1.0 mb	994.89 mb	996.8 / 993.1 mb	0.0 mb	1.00	BF201015012

Determinación de los errores de medición a través del método de constatación con el instrumento a verificar rigiendo a los resultados que maneje la Patrón Homologada por Davis Instruments en un periodo de 24 horas donde los equipos son expuestos a las mismas condiciones climáticas. Cada Patrón Davis se basa en las especificaciones del NIST (National Institute of Standards and Technology) y ha sido verificado en sus parámetros con los siguientes sensores (tal como muestra el documento adjunto)

- Temperatura y Humedad Relativa
 - **Marca: Vaisala** **Modelo: HMT 333**
- Precipitación
 - **Marca: CAVRO** **Modelo: XLP 6000 Pump**
- Viento (velocidad y dirección)
 - **Marca: MKS Baratron**
- Presión Atmosférica
 - **Marca: Vaisala** **Modelo: PTB 220 CLASE A**

Las unidades de medición realizadas están de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). El certificado no podrá ser reproducido parcialmente. El usuario está obligado a recalibrar el instrumento a intervalos apropiados por personal autorizado por Davis.

Perú Davis Instruments E.I.R.L no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el mal uso de este documento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.



ANDRÉS ARPEAGA ARCE
GERENTE GENERAL
PERU DAVIS INSTRUMENTS E.I.R.L.

📍 CALLE LAS CAMELIAS 877 OF. 302 SAN ISIDRO
☎ 640 9542
✉ SOPORTE@DAVISNET.PE
🌐 WWW.DAVISNET.PE



REPRESENTANTE DE DAVIS INSTRUMENTS CORPORATION

Anexo 15. Certificado de calibración de muestreador High Vol para estación seca



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LC-0049-2021

Pág. 1 de 2

Expediente: 00306
Fecha de emisión: 2021-07-08

1. **Solicitante :** MONECO S.A.C.
Dirección : Mz. D - LT. 8 - Urb.Villa El Conquistador II - Alto Selva Alegre - Arequipa - Arequipa
2. **Instrumento calibrado :** Muestreador de partículas de alto volumen
Marca : THERMO SCIENTIFIC
Modelo : G10557
N° de serie : P9504X
Código : EMA-HIV-01
Procedencia : Estados Unidos
3. **Lugar de calibración :** Laboratorio de Caudal de ALAB
4. **Fecha de calibración :** 2021-07-05
5. **Método de calibración**
 La calibración fue realizada de acuerdo al EPA Compendium Method IO 2.1.
6. **Trazabilidad**

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

Marca/Modelo/Serie	Descripción	Certificado de calibración
Tisch / TE-5028A / 3403	Calibrador Variflow	TE-5028A
Control Company / 4247 / 122716367	Barotermohigrómetro	T-2159-2020 / P-2654-2020

Oscar F. Vivanco Valerio
Jefe de Laboratorio de Metrología

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista-Callao
 Telf. 01-717 5802 / 01-7175803 / Cel. 961768828
 www.alab.com.pe

7. Condiciones de calibración

	Inicio	Final
Temperatura ambiental	22,5 °C	22,5 °C
Humedad relativa	56,0 %H.R.	60,0 %H.R.
Presión	1010 hPa	1010 hPa

8. Resultados de la calibración

Ta(k°):	295,5	Presión(in Hg):	29,8	Slope:	1,041
Ta(C°):	22,5	Pa(mm Hg):	757,6	Int:	-0,01338

Run Number	Calibrador "H2O	Qa m3/min	Muestreador "H2O	Pf mm Hg	Po/Pa	Look Up - Qa m3/min	% off Diff	U m3/min
1	3,11	1,071	28,23	52,689	0,930	1,133	5,800	0,030
2	3,30	1,103	24,21	45,183	0,940	1,146	3,924	0,030
3	3,45	1,127	20,33	37,943	0,950	1,159	2,819	0,030
4	3,68	1,164	14,05	26,216	0,965	1,178	1,223	0,031
5	3,80	1,182	10,04	18,739	0,975	1,191	0,729	0,031

9. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" con el N° 000039.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

FIN DEL DOCUMENTO

Anexo 16. Certificado de calibración de muestreador High Vol para estación húmeda



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LC-0068-2021

Pág. 1 de 2

Expediente: 00514

Fecha de emisión: 2021-11-09

1. **Solicitante:** MONECO S.A.C.

Dirección: Mz. D - Lt. 8 - Urb. Villa el Conquistador II - Alto Selva Alegre - Arequipa - Arequipa

2. **Instrumento calibrado:** Muestreador de Partículas de Alto Volumen

Marca: TISCH

Modelo: TE-10557

N° de serie: P10673 X

Código: EMA-HIV-02

Procedencia: No indica

3. **Lugar de calibración:** Laboratorio de Caudal de ALAB

4. **Fecha de calibración:** 2021-11-09

5. **Método de calibración**

La calibración fue realizada de acuerdo al EPA Compendium Method IO-2.1.

6. **Trazabilidad**

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

Marca/Modelo/Serie	Descripción	Certificado de calibración
Tisch / TE-5028A / 3403	Calibrador Variflow	TE-5028A
Control Company / 4247 / 122716367	Barotermohigrómetro	LHA-0103-2021 / LPA-0048-2021

Juan Carlos Bartolo Chuquibala
Responsable de Laboratorio

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista-Callao
Telf. 01-717 5802 / 01-7175803 / Cel. 961768828
www.alab.com.pe

7. Condiciones de calibración

	Inicio	Final
Temperatura ambiental	21,4 °C	22,4 °C
Humedad relativa	63,0 %	62,0 %
Presión	1013 hPa	1013 hPa

8. Resultados de la calibración

Ta(K):	294,9	Presión (in Hg):	29,9	Slope:	1,041
Ta(°C):	21,9	Pa (mm Hg):	759,8	Int:	-0,01338

Run Number	Calibrador "H2O	Qa m3/min	Muestreador "H2O	Pf mm Hg	Po/Pa	Look Up - Qa m3/min	% off Diff	U m3/min
1	3,40	1,116	27,67	51,642	0,932	1,137	-1,850	0,045
2	3,55	1,140	24,12	45,011	0,941	1,148	-0,664	0,030
3	3,63	1,152	20,10	37,505	0,951	1,161	-0,757	0,030
4	3,78	1,176	14,05	26,217	0,965	1,179	-0,288	0,030
5	3,88	1,191	10,07	18,795	0,975	1,192	-0,091	0,031

9. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO con el N° 000476
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

FIN DEL DOCUMENTO



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° PL-FV172-20-10

1. CLIENTE: MONECO S.A.C.

2. DATOS DEL EQUIPO:

INSTRUMENTO CALIBRADO: MOTOR VENTURI (HIVOL)

MARCA: TISCH Environmental **INTERVALO DE INDICACIÓN:** 1,02 a 1,24 m³/min

MODELO: TE-10557PM10X **RESOLUCIÓN:** NO APLICA

SERIE: P10673 X **ETIQUETA DE CALIBRACIÓN:** 00268

COD. INTERNO: EMA-HIV-02 **CONDICIÓN:** USADO

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN: Laboratorio de Metrología de PAZ LABORATORIOS S.R.L.

4. FECHA DE CALIBRACIÓN: 2020-10-05

5. CONDICIONES AMBIENTALES:

	Temperatura (° C)	H. Relativa (% HR)	P. Atmosférica (mbar)
Inicio	20,8	52,7	768
Final	21,2	53,4	768

6. PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS:

Comparación y tratamiento de datos de acuerdo al EPA Compendium Method IO-2.1

Procedimiento interno de calibración de HIVOL PL-PR-FV-01.

7. PATRONES UTILIZADOS:

EQUIPO	MARCA/MODELO	SERIE	N° CERTIFICADO
Termo-Higrómetro	VAISALA / HMT330	R1210681	TE-268-2020
Barómetro	KESTREL / 5500	2277546	MN-057-2020
Variador de flujo	BGI/TE-5028A	E127	Tisch Environmental
Manómetro	EXTECH/HD700	9109745	LFP-410-2019

8. RESULTADOS DE MEDICIÓN:

CALIBRADOR	
SLOPE (m)	INT (b)
0,98987	-0,01892

Pto	Orificio inH2O	Qa m ³ /min	Muestreador inH2O	Pf mmHg	Po/Pa	Tabla de verificación	Diferencia %
1	2,50	1,16	8,50	15,88	0,97	1,19	2,12
2	2,40	1,14	11,60	21,66	0,96	1,17	3,05
3	2,40	1,14	14,10	26,33	0,95	1,16	2,17
4	2,30	1,11	17,60	32,87	0,94	1,15	3,07
5	2,30	1,11	19,40	36,23	0,94	1,14	2,35

% Diferencia: Las directrices de la EPA indican que la diferencia porcentual debe ser como máximo 4%. Si es mayor puede deberse a fugas presente durante la verificación y debería ser verificado nuevamente.



Erwin Bagardo Paz Gonzales
ERWIN BAGARDO PAZ GONZALES
GERENTE GENERAL
PAZ LABORATORIOS S. R. L.

Yesenia Tanssa Gonzales Gonzales
YESENIA TANSZA GONZALES GONZALES
METROLOGO RESPONSABLE
PAZ LABORATORIOS S.R.L.

000299

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACION CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

Cálculos

$$(Qa) = 1/m*(SQRT(H2O*(Ta/Pa))-b)$$

$$(Po/Pa) = 1-Pf/Pa$$

$$\% \text{ Diferencia} = (\text{Look Up Flow} - Qa)/Qa*100$$

9. OBSERVACIONES:

Si el % Diff fuera mayor quiere decir que una fuga puede haber estado presente durante la calibración y se debería calibrar nuevamente.

Los resultados emitidos son válidos solo para el motor instalado y Venturi utilizado, en el momento de la calibración.

El certificado de calibración solo puede ser difundido completo y sin modificaciones, sin firma y sellos carecen de validez.

Paz Laboratorios no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este equipo.

Arequipa, 5 de Octubre de 2020



CERTIFICATE OF ACCREDITATION

This is to attest that

CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC – CERTIFICAL SAC

AV ANTONIO DE SUCRE 1361
LIMA 15086, REPUBLIC OF PERU

Testing Laboratory TL-911

has met the requirements of AC89, *IAS Accreditation Criteria for Testing Laboratories*, and has demonstrated compliance with ISO/IEC Standard 17025:2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. This organization is accredited to provide the services specified in the scope of accreditation.

Effective Date October 16, 2021



A handwritten signature in black ink, reading 'Raj Nathan'.

President

IAS is an ILAC MRA Signatory

Visit www.iasonline.org for current accreditation information.

Anexo 19. Certificados de acreditación de laboratorio - INACAL

Certificado

 **INACAL**
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación al:

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Laboratorio de Ensayo

Prolongación Zarumilla, Mz D2 Lt 3, Asociación Daniel Alcides Carrión, distrito de Bellavista, provincia constitucional del Callao, departamento de Lima

Con base en la norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 26 de julio de 2019
Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2023


ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 0547-2019/INACAL-DA
Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°025-16/INACAL-DA
Registro N° : LE-096

Fecha de emisión: 24 de julio de 2019

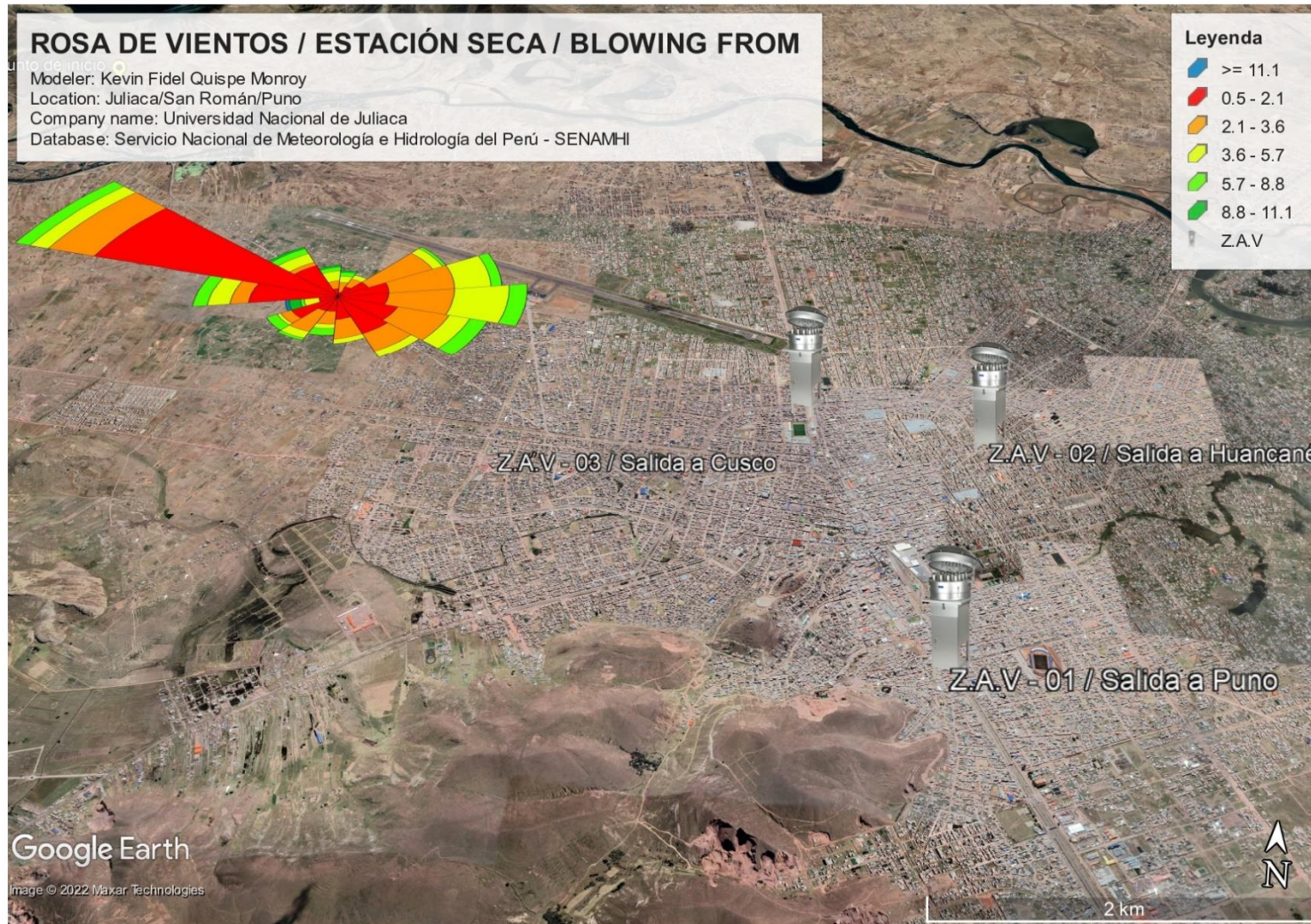
El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

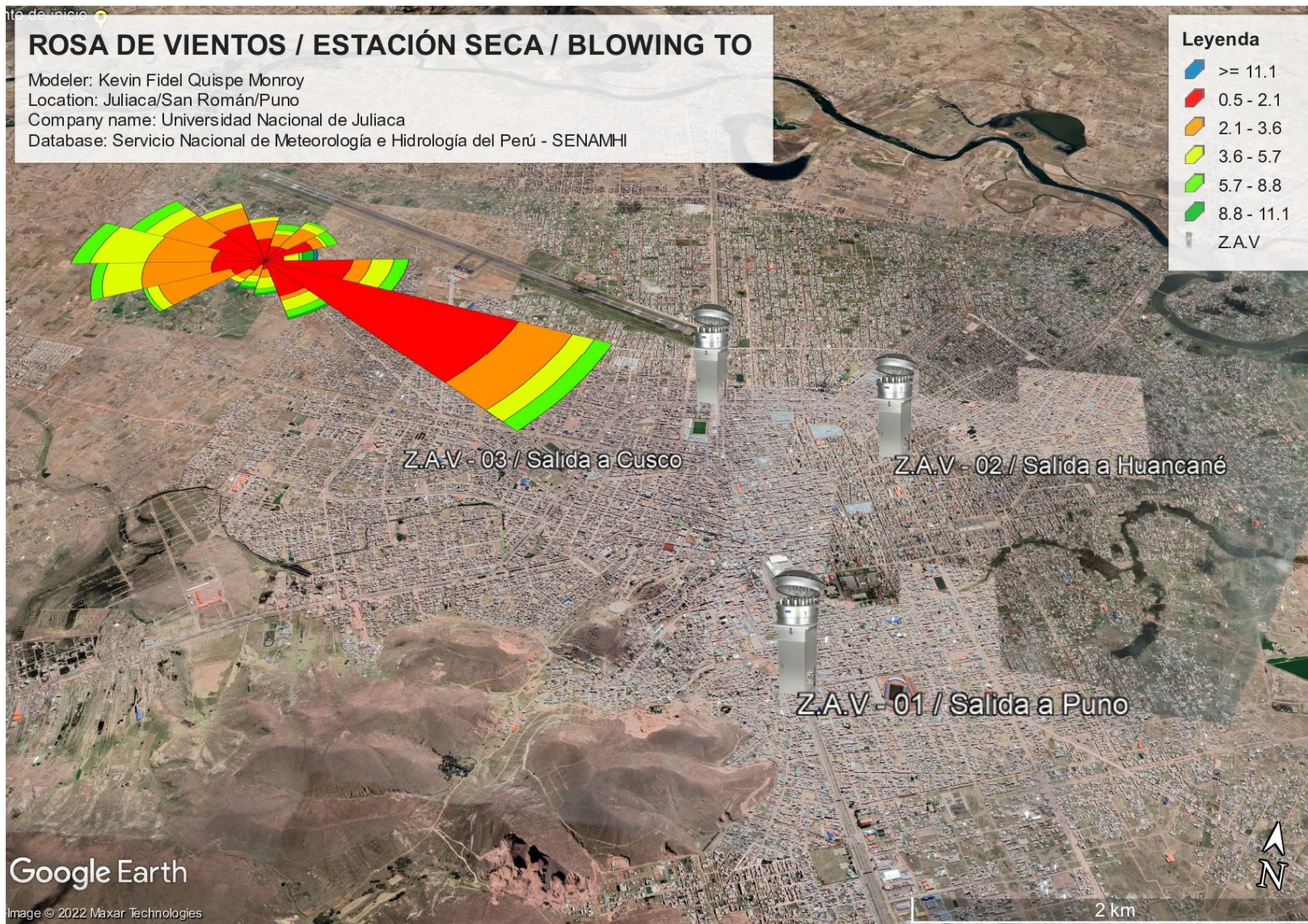
La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

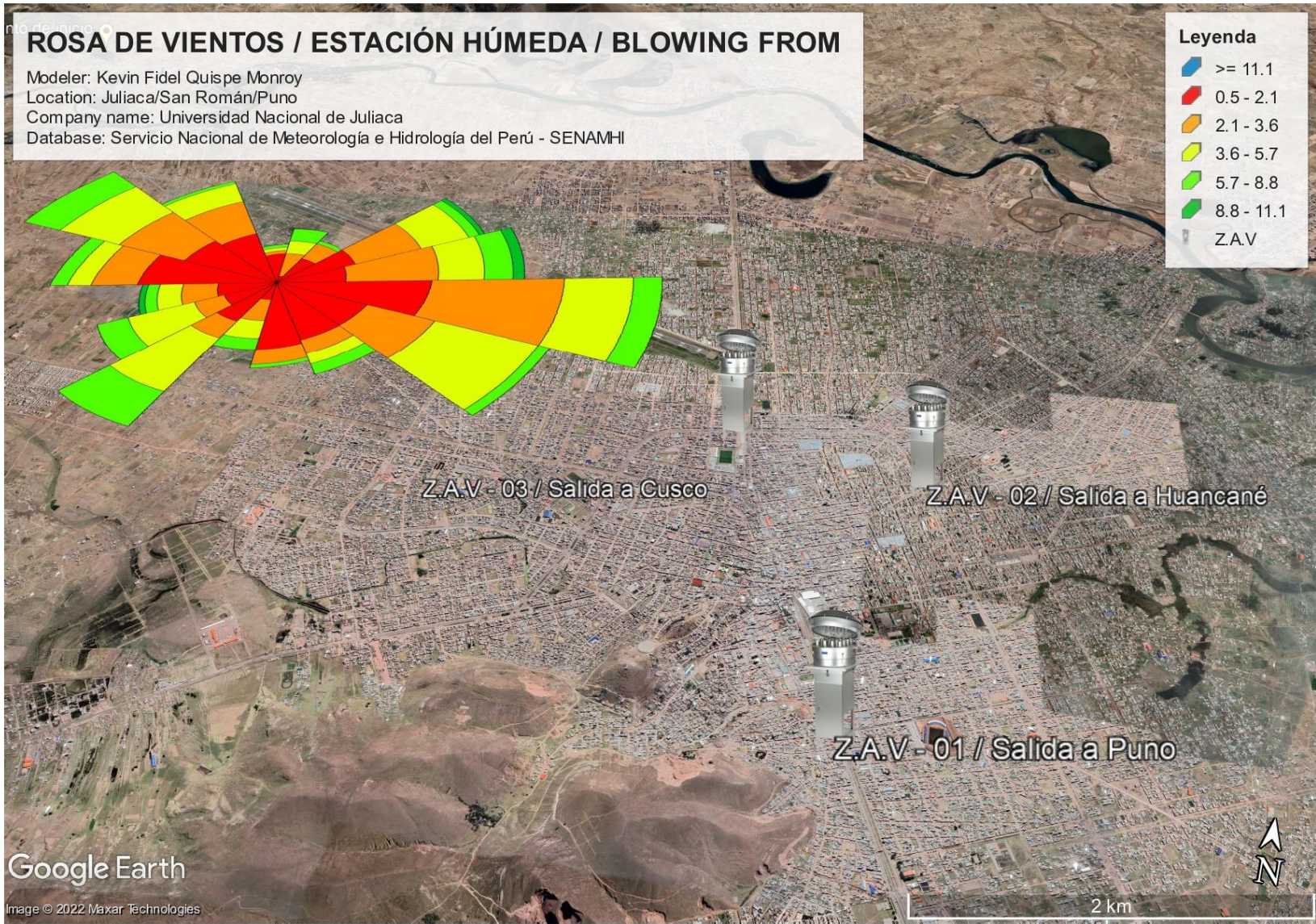
DA-acr-01P-02/M Ver. 02

DE-LAB-56
DNC-Fuera del alcance de actualización

Anexo 20. Ilustraciones de modelación de rosa de vientos con datos del SENAMHI





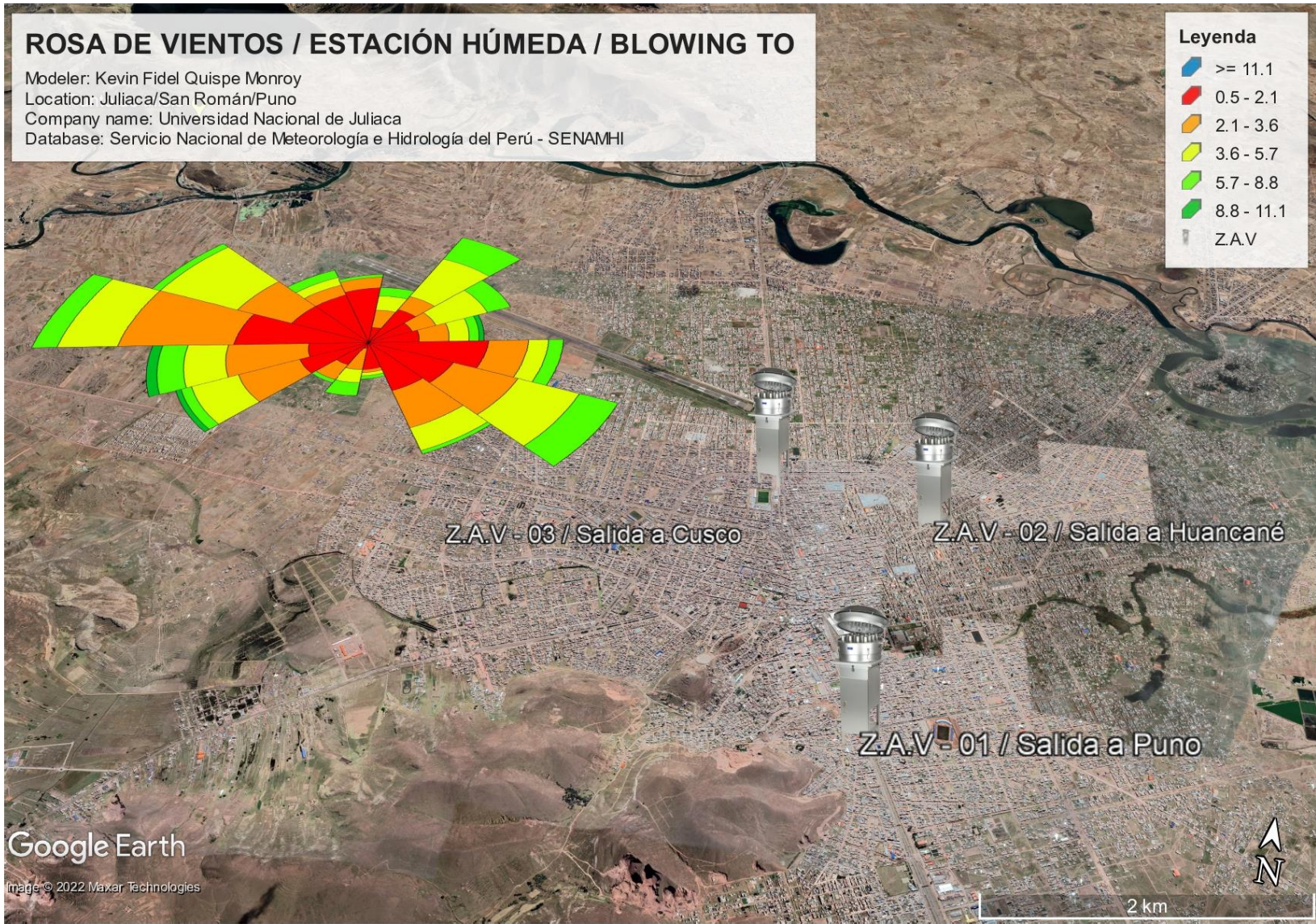


ROSA DE VIENTOS / ESTACIÓN HÚMEDA / BLOWING TO

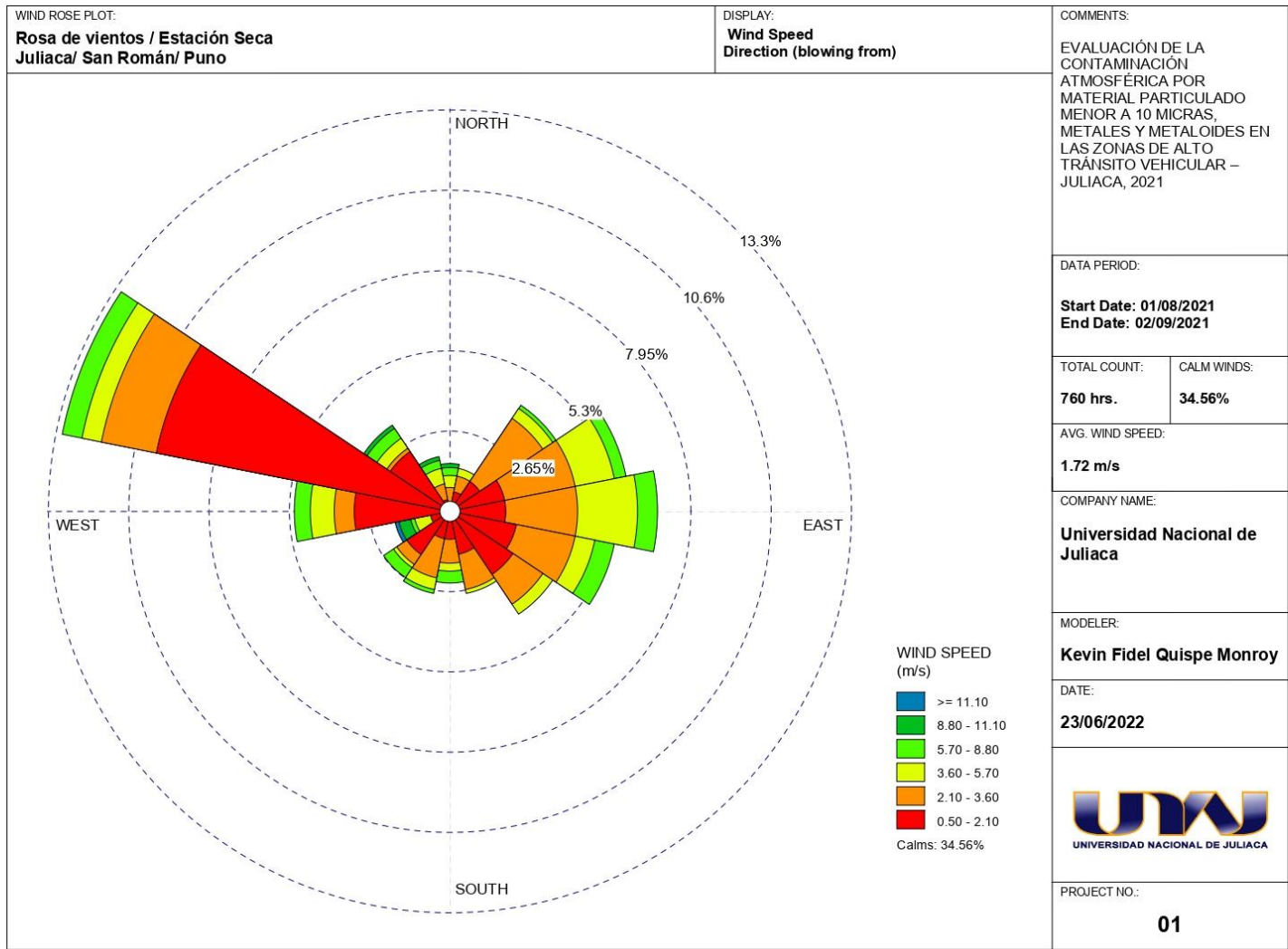
Modeler: Kevin Fidel Quispe Monroy
Location: Juliaca/San Román/Puno
Company name: Universidad Nacional de Juliaca
Database: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Leyenda

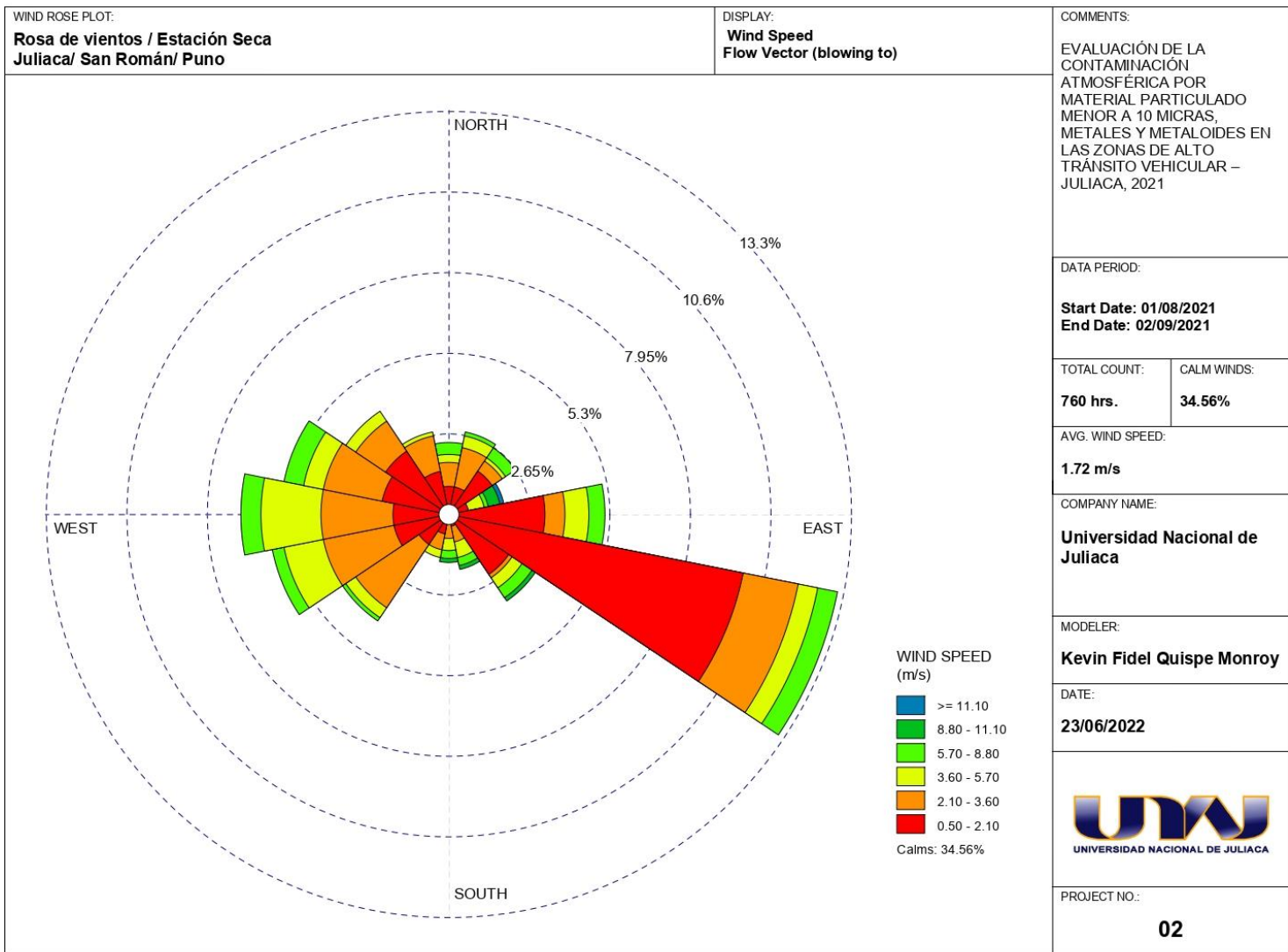
- ≥ 11.1
- 0.5 - 2.1
- 2.1 - 3.6
- 3.6 - 5.7
- 5.7 - 8.8
- 8.8 - 11.1
- Z.A.V



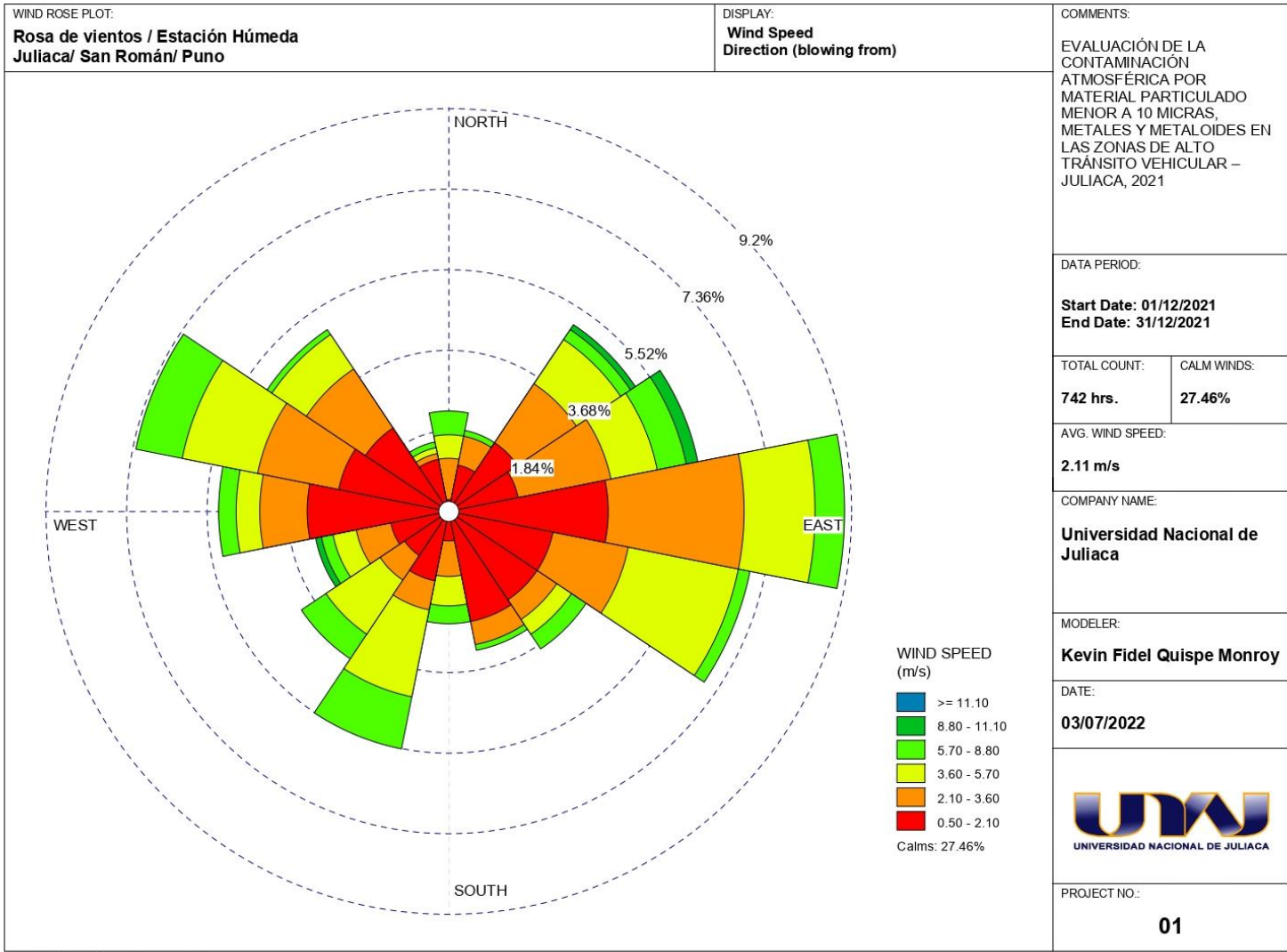
Anexo 21. Rosas de vientos del distrito de Juliaca

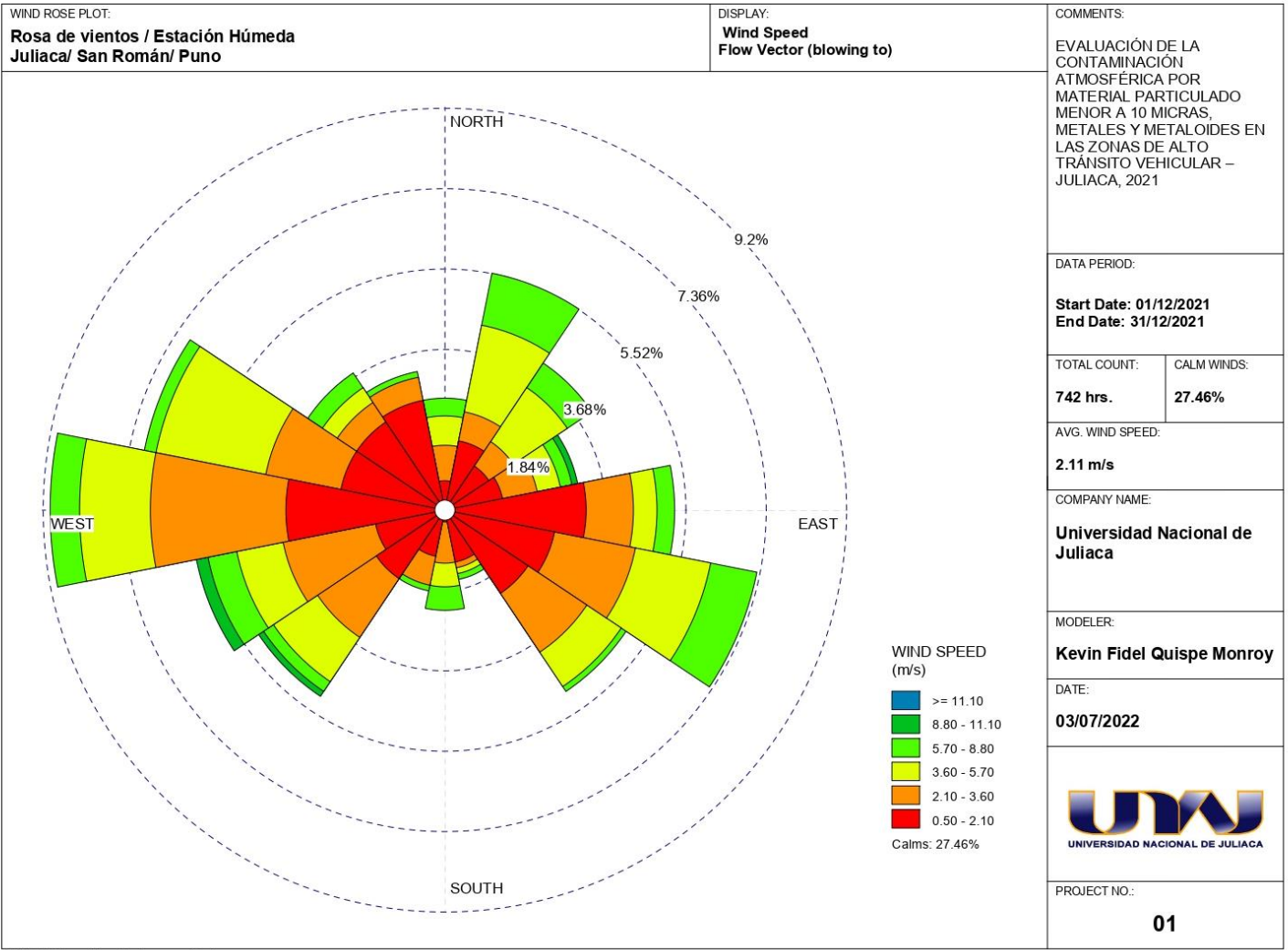


WRPLOT View - Lakes Environmental Software



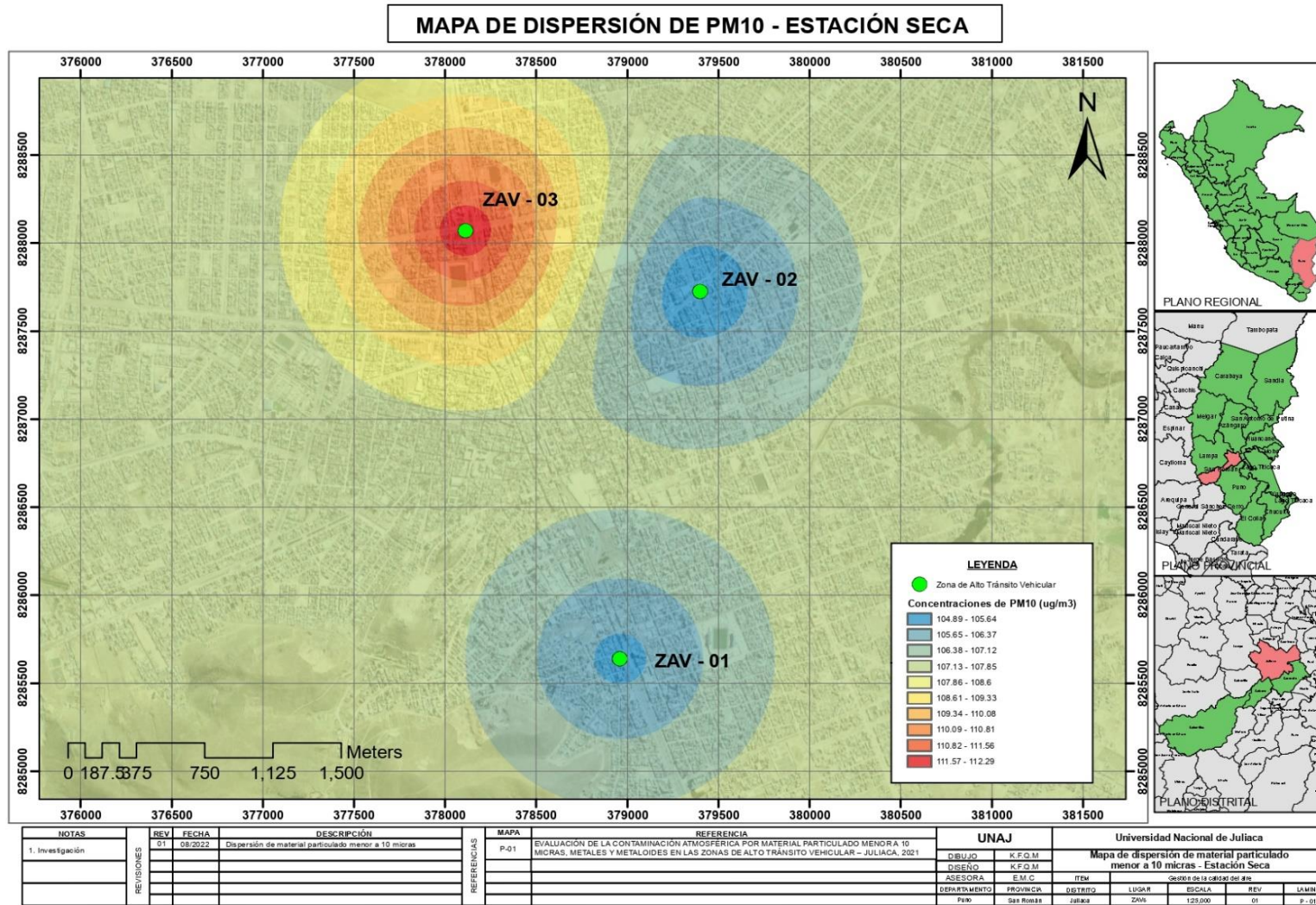
WRPLOT View - Lakes Environmental Software



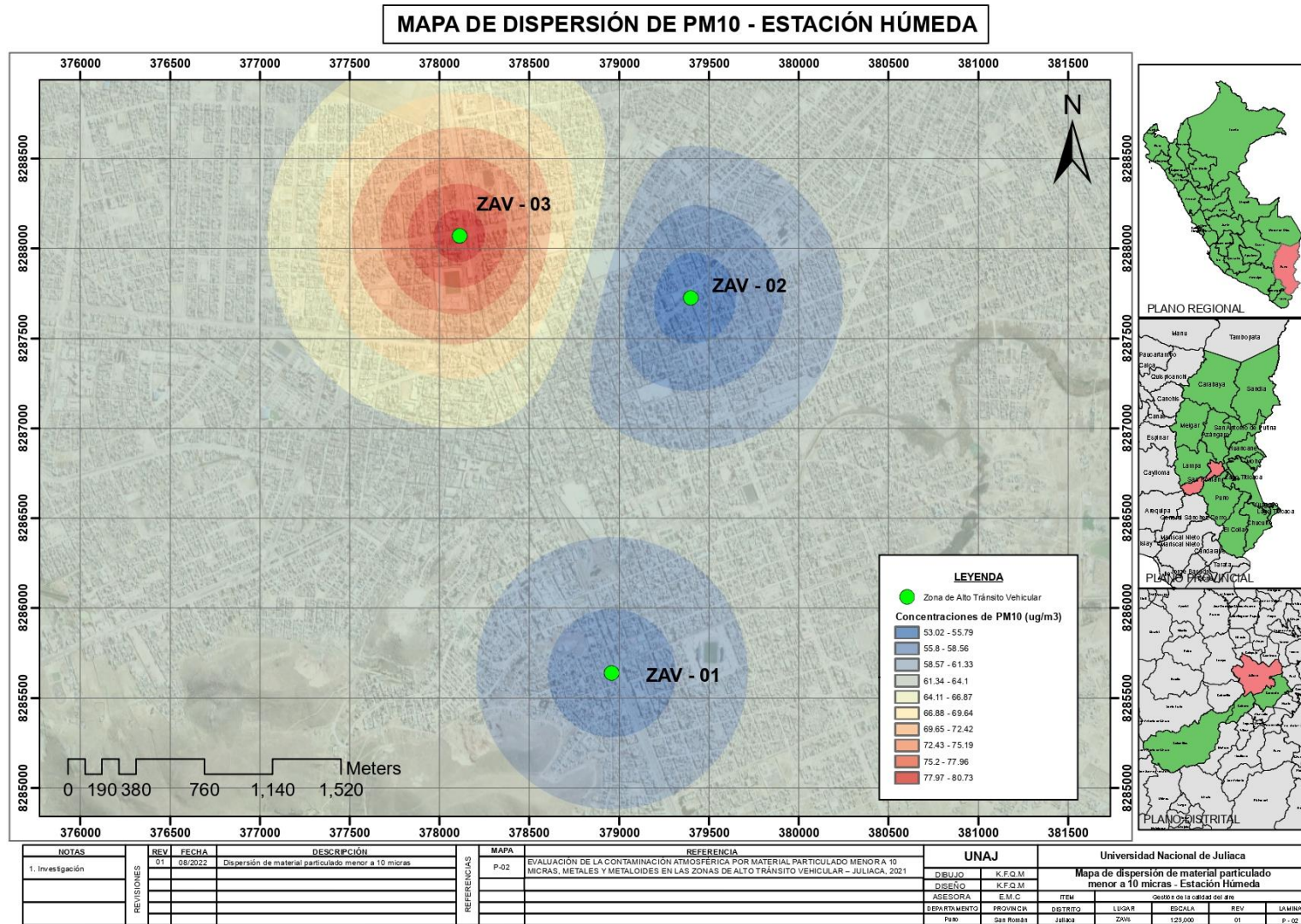


WRPLOT View - Lakes Environmental Software

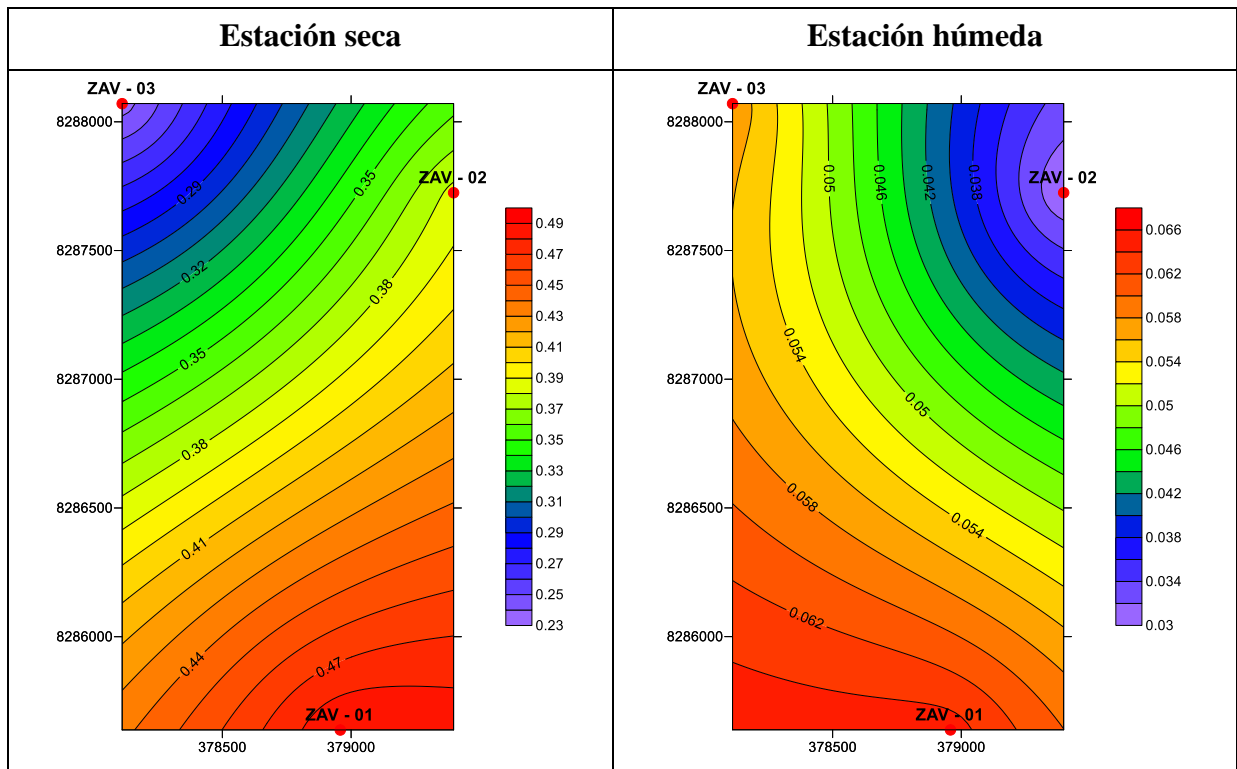
Anexo 22. Mapa de dispersión de PM₁₀ en estación seca



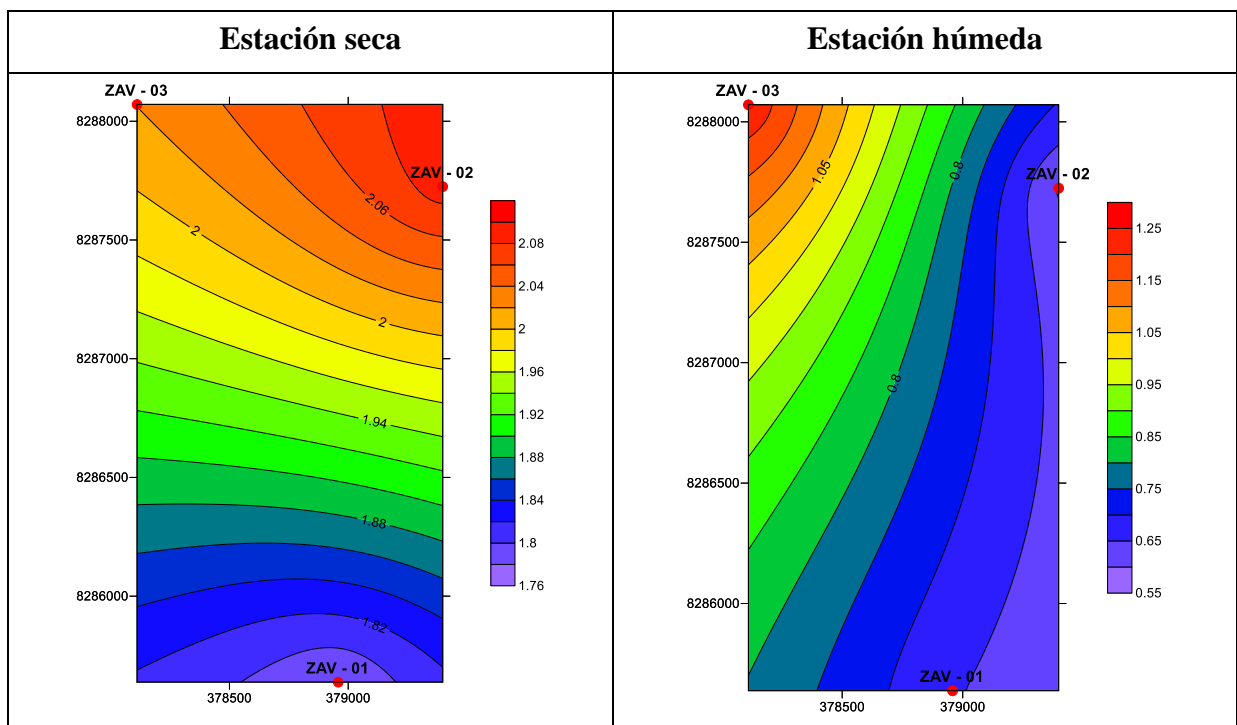
Anexo 23. Mapa de dispersión de PM₁₀ en estación húmeda



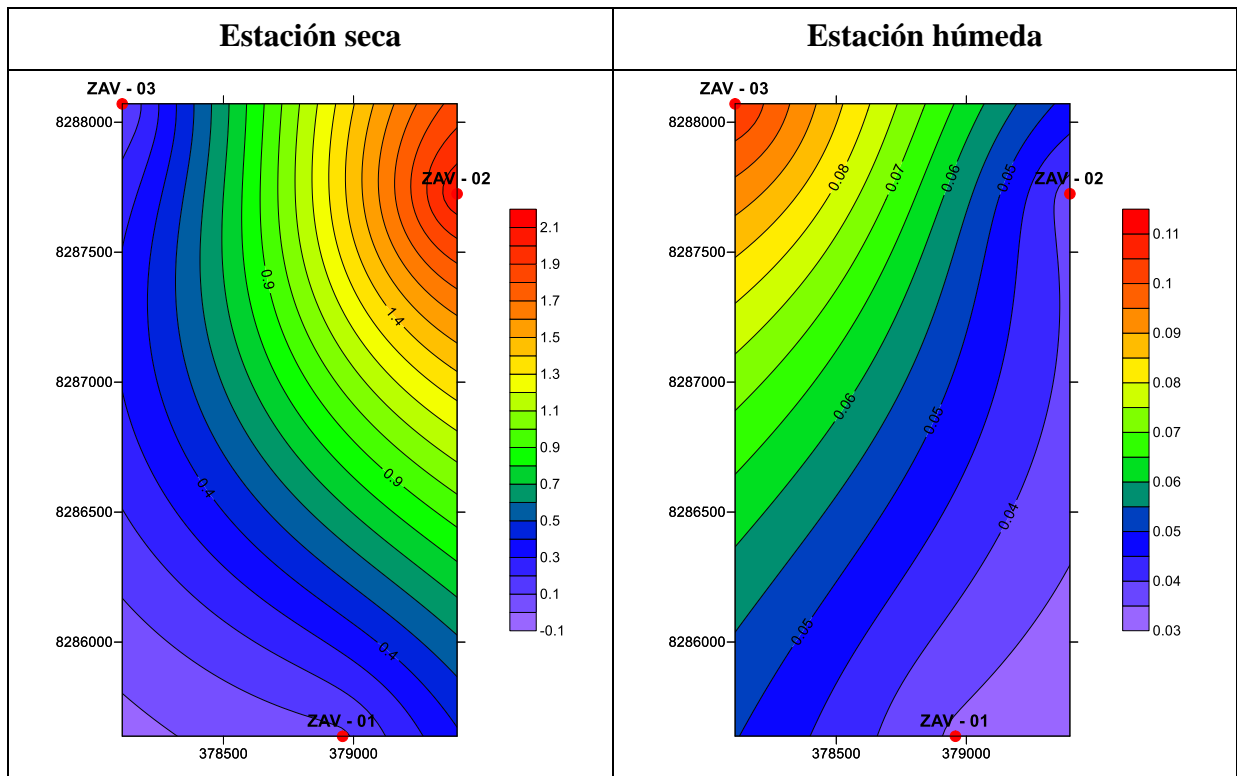
Anexo 24. Concentraciones de Cobre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en estación seca y húmeda



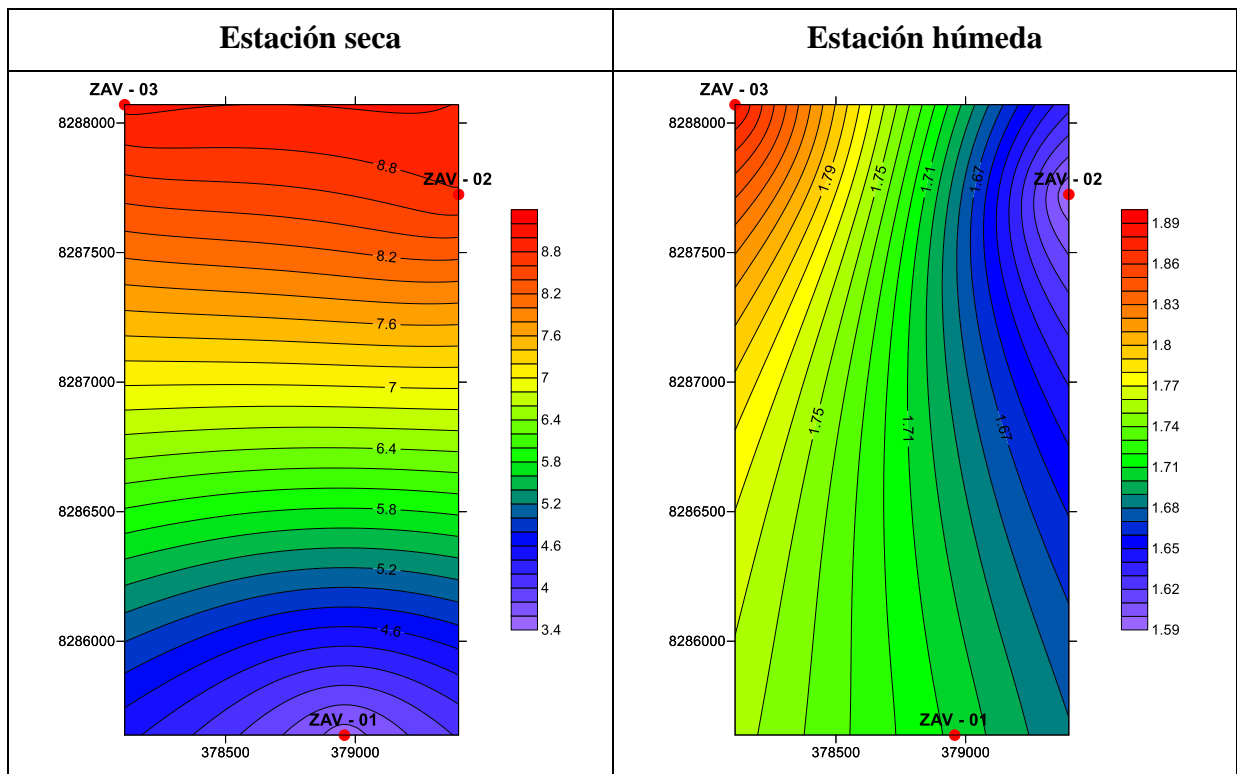
Anexo 25. Concentraciones de Hierro ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en estación seca y húmeda



Anexo 26. Concentraciones de Manganeso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en estación seca y húmeda



Anexo 27. Concentraciones de Zinc ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en estación seca y húmeda





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
"Universidad Pública de Calidad"