

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Planificación y Gestión Ambiental



**Metales en el agua de lluvia como indicadores de la calidad del aire en
Arequipa: un estudio de cuatro zonas urbanas durante la temporada de
lluvia 2022 y 2023**

Tesis presentada por la Bachiller:

Chavez Gonzales, Sofia Graciela

ORCID:0000-0002-2001-0738

para optar el Grado Académico de Maestro en Planificación y Gestión Ambiental.

Asesor:

Dr. Bernabe Ortiz, Julio Cesar

ORCID:0000-0003-0313-1033

Arequipa- Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 08 de Abril del 2025

Dictamen: 011019-C-EPG-2025

Visto el borrador del expediente 011019, presentado por:

2017008722 - CHAVEZ GONZALES SOFIA GRACIELA

Titulado:

**METALES EN EL AGUA DE LLUVIA COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN
AREQUIPA: UN ESTUDIO DE CUATRO ZONAS URBANAS DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIA
2022 Y 2023**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



**06514738 - MAYTA COAGUILA RONALD ALBINO
DICTAMINADOR**



**29227646 - BOCARDO DELGADO EDWIN FREDY
DICTAMINADOR**



METALES EN EL AGUA DE LLUVIA COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE EN AREQUIPA: UN ESTUDIO DE CUATRO ZONAS URBANAS DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIA 2022 Y 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to SUNY, Binghamton

Trabajo del estudiante

1%

3

Submitted to upb

Trabajo del estudiante

1%

4

datospdf.com

Fuente de Internet

<1%

5

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

bvs.sld.cu

Fuente de Internet

<1%

7

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

<1%

8

Submitted to uncedu

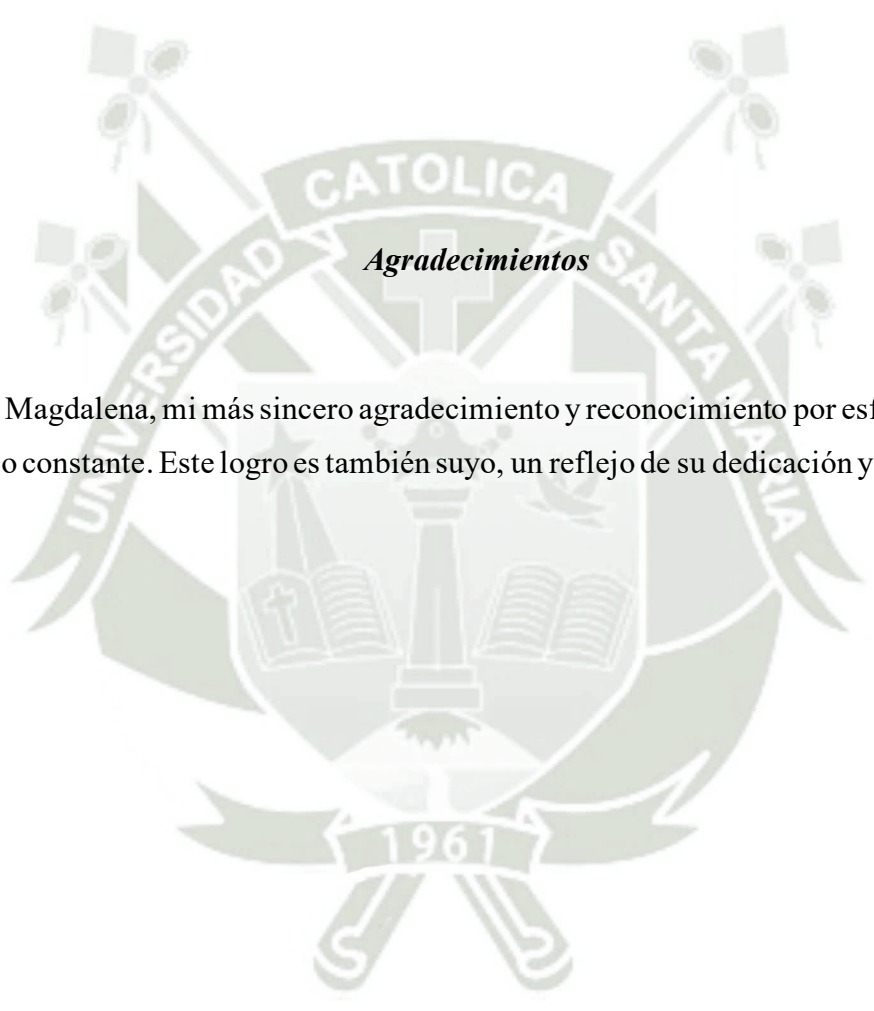
Trabajo del estudiante

<1%

Dedicatoria

A Leonardo y Jhair, que, como la lluvia en un día caluroso, traen frescura y vida a mi alma. Cada uno de ustedes es un regalo que me ha inspirado a seguir adelante, y su amor ilumina mi camino incluso cuando las nubes se oscurecen. Gracias por ser mi fuerza y por enseñarme que siempre hay belleza en cada momento, incluso en los días más lluviosos.

A Miguel, por ser mi refugio y mi sol después de la tormenta. Tu apoyo incondicional y tu amor han sido el ancla que me ha mantenido firme, incluso cuando todo parecía incierto. Gracias por estar a mi lado, por tu paciencia y por ser la calma en medio de cualquier tempestad.



Agradecimientos

Antonio y Magdalena, mi más sincero agradecimiento y reconocimiento por esfuerzo silencioso y sacrificio constante. Este logro es también suyo, un reflejo de su dedicación y entrega infinita.

RESUMEN

Siendo los metales, y dentro de estos, los denominados pesados o de alto potencial tóxico, parte del componente de la contaminación atmosférica y dado que la lluvia actúa como un importante colector de partículas, metales y gases atmosféricos, el presente estudio evaluó la concentración de dichos metales en el agua pluvial durante dos temporadas de lluvias consecutivas como un indicador de la calidad del aire.

La presente investigación es de tipo cuantitativa, correlacional y comparativa, utilizando un método cuasiexperimental y longitudinal, en donde se analizaron 72 muestras de agua de lluvia de cuatro zonas urbanas de Arequipa: Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara; en tres periodos: inicio, medio y final y durante las temporadas de lluvia 2022 y 2023. Se realizó una determinación multielemental para 35 metales por ICP-MS, de los cuales se evaluó el comportamiento espacial y temporal del aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, vanadio y zinc como los elementos más relevantes asociados a la contaminación atmosférica.

Las muestras del agua de lluvia fueron tomadas usando un colector simultaneo para tres muestras, posteriormente las muestras fueron trasladadas, almacenadas y analizadas por el laboratorio acreditado por INACAL. Los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante un ANOVA y la prueba de Tukey.

Los resultados revelaron variaciones significativas en las concentraciones de estos metales entre ambas temporadas, así como entre las diferentes zonas, y a lo largo de los periodos inicio, medio y final. En síntesis, el estudio reveló la presencia de 11 de los 12 metales asociados a la contaminación atmosférica estudiados a excepción del mercurio, el cual no fue detectado en ninguna de las muestras analizadas. Se halló igualmente, que en la temporada 2023 se presentan las mayores concentraciones de metales a excepción del cadmio y plomo que no varían significativamente, así también se demostró que la zona de Vallecito fue la que presentó los menores valores en la concentración de metales en el agua de lluvia en ambas temporadas. Además, se evidenció que las concentraciones de metales en el agua de lluvia disminuyen conforme avanza la temporada siendo el periodo inicial el que presenta los valores más altos.

Palabras claves: *metales, agua de lluvia, Arequipa*

ABSTRACT

Since metals, and within these, the so-called heavy metals or those with high toxic potential, are part of the atmospheric pollution component and since rain acts as an important collector of particles, metals and atmospheric gases, the present study evaluated the concentration of these metals in rainwater during two consecutive rainy seasons as an indicator of air quality.

This research is quantitative, correlational and comparative, using a quasi-experimental and longitudinal method, where 72 rainwater samples from four urban areas of Arequipa were analyzed: Hunter, Vallecito, Cayma and Yanahuara; in three periods: beginning, middle and end and during the rainy seasons 2022 and 2023. A multi-element determination was carried out for 35 metals by ICP-MS, of which the spatial and temporal behavior of aluminum, arsenic, cadmium, copper, chromium, iron, manganese, mercury, nickel, lead, vanadium and zinc was evaluated as the most relevant elements associated with air pollution.

The rainwater samples were taken using a simultaneous collector for three samples, then the samples were transferred, stored and analyzed by the INACAL accredited laboratory. The results were statistically evaluated using an ANOVA and the Tukey test.

The results revealed significant variations in the concentrations of these metals between both seasons, as well as between the different areas, and throughout the beginning, middle and end periods. In summary, the study revealed the presence of eleven of the twelve metals associated with atmospheric pollution studied, except for mercury, which was not detected in any of the samples analyzed. It was also found that the highest concentrations of metals were present in the 2023 season, except for cadmium and lead, which did not vary significantly. It was also shown that the Vallecito area was the one with the lowest values in the concentration of metals in rainwater in both seasons. In addition, it was shown that metal concentrations in rainwater decrease as the season progresses, with the initial period presenting the highest values.

Key words: metals, rainwater, Arequipa

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Contaminación Atmosférica	5
1.1.1. Atmósfera	5
1.1.2. Contaminación atmosférica.....	6
1.1.3. Contaminantes atmosféricos.....	6
1.1.4. Fuentes de Emisión.....	6
1.2. Ciclo hidrológico y deposición atmosférica.....	7
1.3. Metales en el ambiente y sus efectos.....	8
1.4. Arequipa y su contexto ambiental.....	12
1.4.1. Geografía	12
1.4.2. Clima	13
1.4.3. Temperatura.....	13
1.4.4. Precipitaciones.....	14
1.4.5. Velocidad del viento.....	15
1.4.6. Calidad del aire.....	16
1.4.6.1. Nivel de contaminación del aire.....	16
1.4.6.2. Fuentes de contaminación	17
1.5. Legislación ambiental	19
1.6. Antecedentes de la investigación.....	20
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	30
2.1 Tipo y diseño de la investigación.....	30
2.2. Técnicas e instrumentos de verificación.....	30
2.2.1. Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).....	30
2.3. Area de estudio.....	33

2.3.1.	Ubicación espacial.....	33
2.3.2.	Ubicación temporal.....	34
2.3.3.	Población, muestra y muestreo.....	34
2.3.3.1.	Codificación de muestras.....	37
2.3.4.	Instrumento de colecta de datos.....	37
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
3.1	Estaciones de muestreo.....	39
3.2.	Diagnóstico vehicular	39
3.3.	Nivel de actividad económica comercial y disposición geográfica	41
3.4.	Concentración de metales en agua de lluvia.....	44
3.5.	Metales de interés ambiental presentes en el agua de lluvia.....	51
3.5.1.	Aluminio.....	51
3.5.2.	Arsénico.....	56
3.5.3.	Cadmio.....	61
3.5.4.	Cromo.....	65
3.5.5.	Cobre	70
3.5.6.	Hierro.....	74
3.5.7.	Manganeso.....	79
3.5.8.	Mercurio	83
3.5.9.	Níquel	84
3.5.10.	Plomo.....	88
3.5.11.	Vanadio.....	93
3.5.12.	Zinc.....	98
3.6.	Discusión de resultados.....	102
CONCLUSIONES		112
RECOMENDACIONES		114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		115
ANEXOS		125

FIGURAS

Figura 1 Distribución de capas en la atmósfera.....	5
Figura 2 Ciclo del agua.....	8
Figura 3 Deposición de metales traza asociados a partículas atmosféricas.....	10
Figura 4 Arequipa Metropolitana	13
Figura 5 Promedio de temperatura normal en Arequipa	14
Figura 6 Cantidad de precipitaciones en Arequipa.....	14
Figura 7 Velocidad del viento	15
Figura 8 Rosa de los Vientos - Arequipa.....	16
Figura 9 Material Particulado respirable PM ₁₀ bajo volumen.....	17
Figura 10 Material particulado respirable - promedios mensuales Arequipa.....	17
Figura 11 Distribución Porcentual de PM ₁₀ por Tipo de Fuente Cuenca Atmosférica de Arequipa	18
Figura 12 Distribución Porcentual de PM ₁₀ - Categoría Otros Cuenca Atmosférica de Arequipa	19
Figura 13 Equipo ICPMS	31
Figura 14 Esquemas del equipo iCAP Q - vista frontal	32
Figura 15 Estaciones de muestreo	33
Figura 16 Colector de agua de lluvia.....	36
Figura 17 Procedimiento general de recolección de datos	36
Figura 18 Disposición geográfica y actividad comercial (Zona-V).....	42
Figura 19 Disposición geográfica y actividad comercial (Zona -Y).....	43
Figura 20 Disposición geográfica y actividad comercial (Zona-H).....	43
Figura 21 Disposición geográfica y actividad comercial (Zona-C)	44
Figura 22 Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-Y (2022-2023).....	46
Figura 23 Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-C (2022-2023).....	46
Figura 24 Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-H (2022-2023).....	47
Figura 25 Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-V (2022-2023).....	47

Figura 26 Porcentaje de incremento de metales en agua de lluvia (2022-2023) por zona.. 48

Figura 27 Porcentaje de disminución de metales en agua de lluvia (2022-2023) por zona 48

Figura 28 Concentración media de metales por Temporadas..... 103

Figura 29 Concentración media de metales por Zonas..... 104

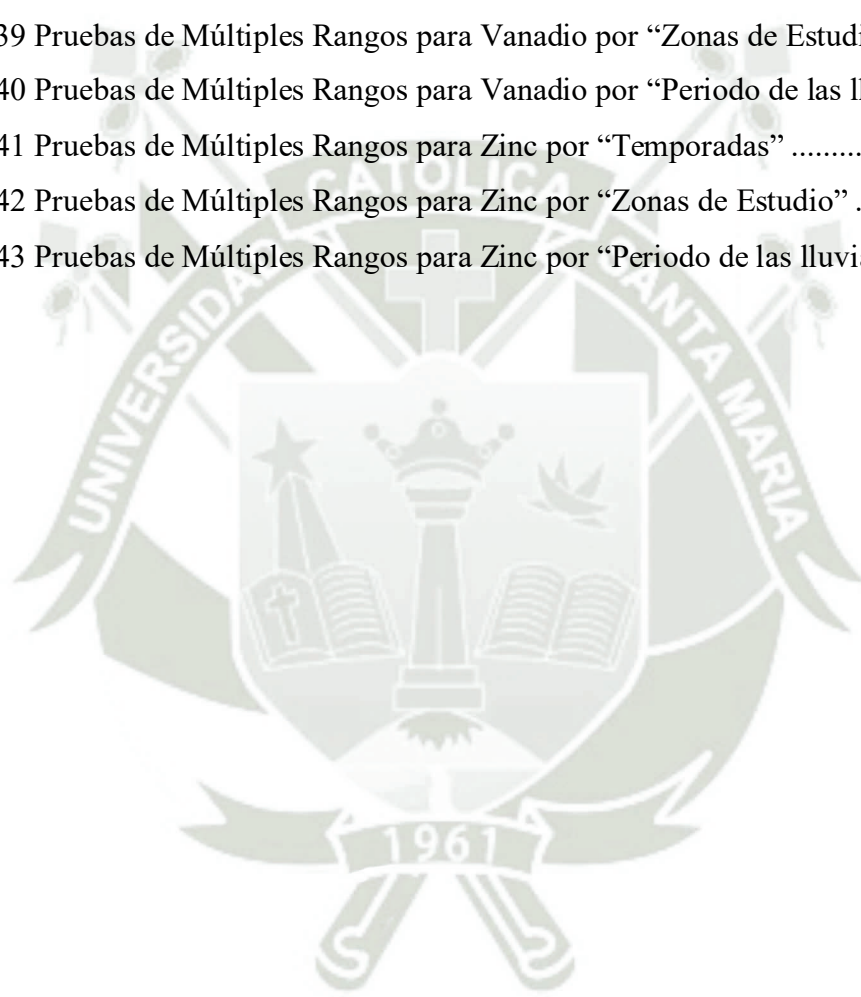
Figura 30 Concentración media de metales por Periodo 104



TABLAS

Tabla 1 Principales fuentes de contaminación atmosférica.....	7
Tabla 2 Fuentes antropogénicas de metales y metaloides contaminantes	9
Tabla 3 Características de metales pesados	10
Tabla 4 Códigos de las estaciones de muestreo.....	39
Tabla 5 Vías de diagnóstico vehicular.....	40
Tabla 6 Flujo Vehicular.....	40
Tabla 7 Resumen actividades en las zonas de estudio.....	41
Tabla 8 Distribución de muestras	45
Tabla 9 Valores máximos y mínimos cuantificables de los metales - 2022.....	49
Tabla 10 Valores máximos y mínimos cuantificables de los metales - 2023.....	50
Tabla 11 Pruebas de Múltiples Rangos para Aluminio por “Temporadas”	52
Tabla 12 Pruebas de Múltiples Rangos para Aluminio por “Zonas de Estudio”	53
Tabla 13 Pruebas de Múltiples Rangos para Aluminio por “Periodo de las lluvias”	53
Tabla 14 Pruebas de Múltiples Rangos para Arsénico por “Temporadas”	57
Tabla 15 Pruebas de Múltiples Rangos para Arsénico por “Zonas de Estudio”	57
Tabla 16 Pruebas de Múltiples Rangos para Arsénico por “Periodo de las lluvias”	58
Tabla 17 Pruebas de Múltiples Rangos para Cadmio por “Temporadas”	61
Tabla 18 Pruebas de Múltiples Rangos para Cadmio por “Zonas de Estudio”	62
Tabla 19 Pruebas de Múltiples Rangos para Cadmio por “Periodo de las lluvias”	63
Tabla 20 Pruebas de Múltiples Rangos para Cromo por “Temporadas”	66
Tabla 21 Pruebas de Múltiples Rangos para Cromo por “Zonas de Estudio”	66
Tabla 22 Pruebas de Múltiples Rangos para Cromo por “Periodo de las lluvias”	67
Tabla 23 Pruebas de Múltiples Rangos para Cobre por “Temporadas”	70
Tabla 24 Pruebas de Múltiples Rangos para Cobre por “Zonas de Estudio”	71
Tabla 25 Pruebas de Múltiples Rangos para Cobre por “Periodo de las lluvias”	71
Tabla 26 Pruebas de Múltiples Rangos para Hierro por “Temporadas”	75
Tabla 27 Pruebas de Múltiples Rangos para Hierro por “Zonas de Estudio”	75
Tabla 28 Pruebas de Múltiples Rangos para Hierro por “Periodo de las lluvias”	76
Tabla 29 Pruebas de Múltiples Rangos para Manganese por “Temporadas”	79
Tabla 30 Pruebas de Múltiples Rangos para Manganese por “Zonas de Estudio”	80
Tabla 31 Pruebas de Múltiples Rangos para Manganese por “Periodo de las lluvias”	81

Tabla 32 Pruebas de Múltiples Rangos para Níquel por “Temporadas”	84
Tabla 33 Pruebas de Múltiples Rangos para Níquel por “Zonas de Estudio”	85
Tabla 34 Pruebas de Múltiples Rangos para Níquel por “Periodo de las lluvias”	86
Tabla 35 Pruebas de Múltiples Rangos para Plomo por “Temporadas”	89
Tabla 36 Pruebas de Múltiples Rangos para Plomo por “Zonas de Estudio”	89
Tabla 37 Pruebas de Múltiples Rangos para Plomo por “Periodo de las lluvias”	90
Tabla 38 Pruebas de Múltiples Rangos para Vanadio por “Temporadas”	93
Tabla 39 Pruebas de Múltiples Rangos para Vanadio por “Zonas de Estudio”	94
Tabla 40 Pruebas de Múltiples Rangos para Vanadio por “Periodo de las lluvias”	95
Tabla 41 Pruebas de Múltiples Rangos para Zinc por “Temporadas”	98
Tabla 42 Pruebas de Múltiples Rangos para Zinc por “Zonas de Estudio”	99
Tabla 43 Pruebas de Múltiples Rangos para Zinc por “Periodo de las lluvias”	100



GRÁFICOS

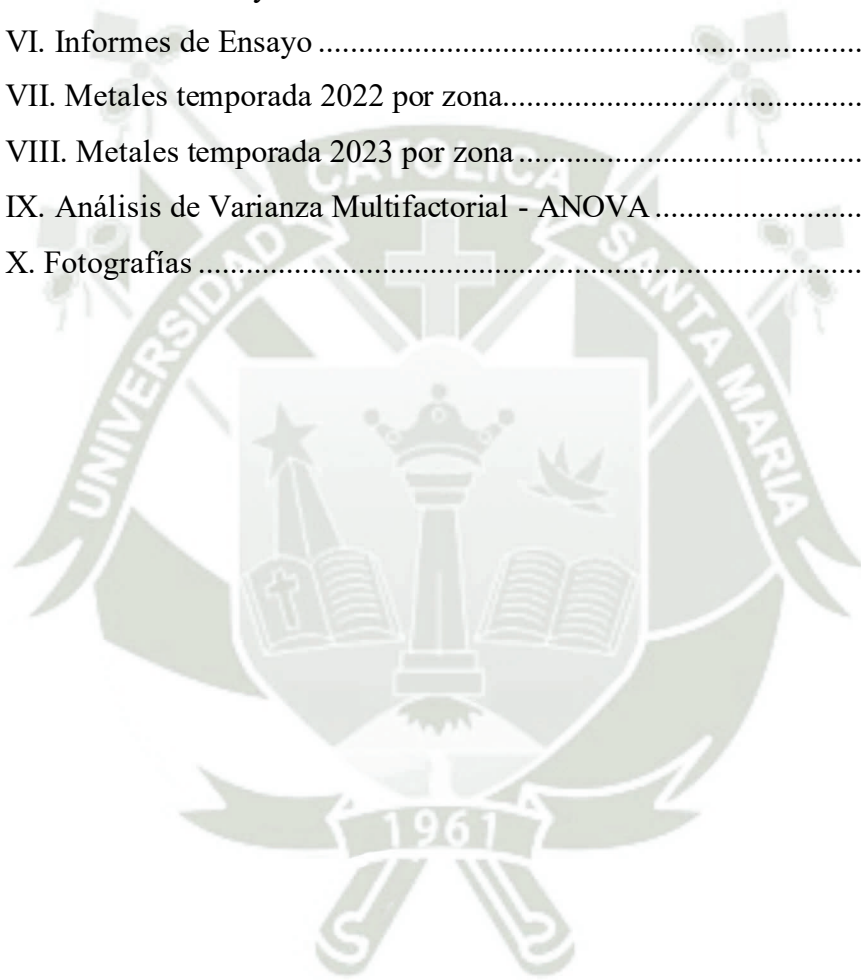
Gráfico 1 Comparación niveles de Aluminio por “temporadas”	52
Gráfico 2 Comparación niveles de Aluminio por “Zonas de Estudio”	53
Gráfico 3 Comparación de niveles de Aluminio por “Periodo de las lluvias”	54
Gráfico 4 Interacción de niveles de Aluminio según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”	55
Gráfico 5 Interacción de niveles de Aluminio según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	55
Gráfico 6 Interacción de niveles de Aluminio según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	56
Gráfico 7 Comparación niveles de Arsénico por “Temporadas”	57
Gráfico 8 Comparación niveles de Arsénico por “Zonas de Estudio”	58
Gráfico 9 Comparación de niveles de Arsénico por “Periodo de las lluvias”	58
Gráfico 10 Interacción de niveles de Arsénico según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”	59
Gráfico 11 Interacción de niveles de Arsénico según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	60
Gráfico 12 Interacción de niveles de Arsénico según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	60
Gráfico 13 Comparación niveles de Cadmio por “Temporadas”	62
Gráfico 14 Comparación niveles de Cadmio por “Zonas de Estudio”	62
Gráfico 15 Comparación de niveles de Cadmio por “Periodo de las lluvias”	63
Gráfico 16 Interacción de niveles de Cadmio según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”	64
Gráfico 17 Interacción de niveles de Cadmio según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	64
Gráfico 18 Interacción de niveles de Cadmio según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	65
Gráfico 19 Comparación niveles de Cromo por “Temporadas”	66
Gráfico 20 Comparación niveles de Cromo por “Zonas de Estudio”	67
Gráfico 21 Comparación de niveles de Cromo por “Periodo de las lluvias”	67
Gráfico 22 Interacción de niveles de Cromo según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”	68
Gráfico 23 Interacción de niveles de Cromo según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	69

Gráfico 24 Interacción de niveles de Cromo según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	69
Gráfico 25 Comparación niveles de Cobre por “Temporadas”	70
Gráfico 26 Comparación niveles de Cobre por “Zonas de Estudio”	71
Gráfico 27 Comparación de niveles de Cobre por “Periodo de las lluvias”	72
Gráfico 28 Interacción de niveles de Cobre según “Zonas de Estudio” y “Temporadas” ..	73
Gráfico 29 Interacción de niveles de Cobre según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	73
Gráfico 30 Interacción de niveles de Cobre según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	74
Gráfico 31 Comparación niveles de Hierro por “Temporadas”	75
Gráfico 32 Comparación niveles de Hierro por “Zonas de Estudio”	76
Gráfico 33 Comparación de niveles de Hierro por “Periodo de las lluvias”	76
Gráfico 34 Interacción de niveles de Hierro según “Zonas de Estudio” y “Temporadas” ..	77
Gráfico 35 Interacción de niveles de Hierro según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	78
Gráfico 36 Interacción de niveles de Hierro según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	78
Gráfico 37 Comparación niveles de Manganeso por “Temporadas”	80
Gráfico 38 Comparación niveles de Manganeso por “Zonas de Estudio”	80
Gráfico 39 Comparación de niveles de Manganeso por “Periodo de las lluvias”	81
Gráfico 40 Interacción de niveles de Manganeso según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”	82
Gráfico 41 Interacción de niveles de Manganeso según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	82
Gráfico 42 Interacción de niveles de Manganeso según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	83
Gráfico 43 Comparación niveles de Níquel por “Temporadas”	85
Gráfico 44 Comparación niveles de Níquel por “Zonas de Estudio”	85
Gráfico 45 Comparación de niveles de Níquel por “Periodo de las lluvias”	86
Gráfico 46 Interacción de niveles de Níquel según “Zonas de Estudio” y “Temporadas” ..	87
Gráfico 47 Interacción de niveles de Níquel según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	87

Gráfico 48 Interacción de niveles de Níquel según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	88
Gráfico 49 Comparación niveles de Plomo por “Temporadas”	89
Gráfico 50 Comparación niveles de Plomo por “Zonas de Estudio”	90
Gráfico 51 Comparación de niveles de Plomo por “Periodo de las lluvias”	90
Gráfico 52 Interacción de niveles de Plomo según “Zonas de Estudio” y “Temporadas” ..	91
Gráfico 53 Interacción de niveles de Plomo según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	92
Gráfico 54 Interacción de niveles de Plomo según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	92
Gráfico 55 Comparación niveles de Vanadio por “Temporadas”	94
Gráfico 56 Comparación niveles de Vanadio por “Zonas de Estudio”	94
Gráfico 57 Comparación de niveles de Vanadio por “Periodo de las lluvias”	95
Gráfico 58 Interacción de niveles de Vanadio según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”	96
Gráfico 59 Interacción de niveles de Vanadio según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	97
Gráfico 60 Interacción de niveles de Vanadio según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	97
Gráfico 61 Comparación niveles de Zinc por “Temporadas”	99
Gráfico 62 Comparación niveles de Zinc por “Zonas de Estudio”	99
Gráfico 63 Comparación de niveles de Zinc por “Periodo de las lluvias”	100
Gráfico 64 Interacción de niveles de Zinc según “Zonas de Estudio” y “Temporadas” ...	101
Gráfico 65 Interacción de niveles de Zinc según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”	101
Gráfico 66 Interacción de niveles de Zinc según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”	102

ANEXOS

Anexo I. Matriz de Consistencia	125
Anexo II. Resultados de Blancos de Campo	128
Anexo III. Registro de muestras de lluvia – Temporada 2022.....	136
Anexo IV. Registro de muestras de lluvia – Temporada 2023.....	138
Anexo V. Método de Ensayo.....	140
Anexo VI. Informes de Ensayo	142
Anexo VII. Metales temporada 2022 por zona.....	166
Anexo VIII. Metales temporada 2023 por zona	170
Anexo IX. Análisis de Varianza Multifactorial - ANOVA	174
Anexo X. Fotografías	180



INTRODUCCIÓN

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), agencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 2022 publicó en su lista de clasificación de sustancias cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas, dentro del Grupo 1, a las partículas en la contaminación del aire exterior, como carcinógenas representando una amenaza para toda la población.

Según la Organización Mundial de la Salud, 2021, la contaminación del aire es el mayor riesgo ambiental para la salud. Así también, en la publicación “Contaminación atmosférica, riesgo persistente”, 2019, se menciona que el investigador, García Reynoso, del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, considera que el material particulado en suspensión es la mayor amenaza para la salud de la comunidad y enfatiza en la necesidad de monitorear otras sustancias dispersas que aún no están cubiertas por las normas de inspección. En el mismo contexto, requiere particular atención el polvo urbano (Delgado et al., 2019), causado principalmente por las actividades industriales, el transporte y las partículas de erosión del suelo que puede liberarse a la atmósfera, es inhalable y nocivo, dado que contiene metales pesados como plomo, cromo, cobre, níquel, vanadio y zinc, luego pueden sedimentar sobre superficies o pueden permanecer suspendidas por algún tiempo (DIGESA Dirección General de Salud Ambiental Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos 2005 contenido, n.d.)

La Agencia Medioambiental Europea, en el 2012, en un informe, intentó incluir como contaminantes peligrosos adicionales a los metales, este intento no tuvo éxito por datos insuficientes. Sin embargo, la información obtenida reflejaba que los excesos en las concentraciones de metales pesados tenían un origen antropogénico de tipo industrial. (Cohen et al., 2013)

Siendo la calidad del aire en las ciudades una preocupación creciente en todo el mundo, por el impacto importante en el medio ambiente y en la salud pública y considerando que el agua de lluvia actúa como un importante drenaje de partículas y gases atmosféricos, incluidos los metales, el conocimiento de su composición química puede resultar un parámetro clave de la calidad del aire. (Carlos Doria-Argumedo, 2017).

Por lo tanto, al estar nuestra ciudad en constante crecimiento, en este estudio, se pretende identificar y cuantificar la presencia de metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia como un indicador de la contaminación atmosférica en cuatro zonas urbanas representativas de Arequipa durante dos temporadas de lluvia en años consecutivos en los periodos inicial, medio y final de éstas, con el análisis de los datos recopilados durante el período de investigación indicado.



HIPÓTESIS

Se plantea que las concentraciones de metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Cayma, Vallecito y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023 presentarán variaciones significativas, tanto espacial como temporalmente, lo que reflejará diferencias en sus concentraciones.



OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el nivel de concentración de metales en el agua de lluvia como indicador de la calidad del aire en cuatro zonas urbanas de Arequipa durante la temporada de lluvias 2022 y 2023.

Objetivos específicos

Identificar los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia en las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023.

Comparar los niveles de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023, para evaluar si existen diferencias significativas entre temporadas.

Comparar los niveles de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023, para evaluar si existen diferencias significativas entre zonas.

Comparar los niveles de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023, para evaluar si existen diferencias significativas entre periodos.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Contaminación Atmosférica

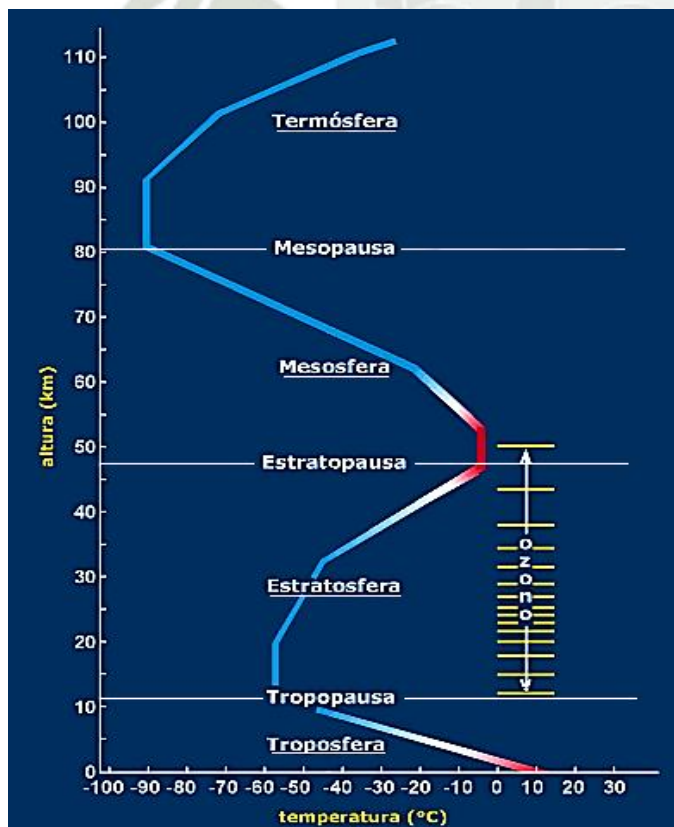
1.1.1. Atmósfera

La atmósfera es una estructura muy compleja, que comúnmente conocemos como aire. El perfil vertical de temperatura de la atmósfera permite apreciar las distintas capas de la atmósfera, como se aprecia en la Figura 1. Siendo la tropósfera, el estrato en el que el clima de la Tierra se genera y es también dentro de esta capa que la contaminación del aire tiene lugar (Ibáñez Cornejo, 2013).

Es en la troposfera o “región de mezcla” donde ocurren los fenómenos meteorológicos. El vapor de agua se condensa (nubes) en las regiones más frías de la troposfera y precipitan a la superficie (lluvia). Así, el polvo y los contaminantes liberados en la troposfera también son llevados por la lluvia. Resultando, la lluvia un mecanismo para eliminar contaminantes de la atmósfera (Angelica Rubio et al., 2001).

Figura 1

Distribución de capas en la atmósfera.



Nota:(Ibáñez Cornejo, 2013)

1.1.2. Contaminación atmosférica

La contaminación del aire no es más que aire de mala calidad que ha sido afectado por la presencia de partículas, gases o materias. Es cierto, también, que gran parte de estos contaminantes provienen de grandes ciudades, pero el viento los arrastra de un lugar a otro (Organización Mundial de la Salud, 2019).

La polución atmosférica es un cóctel heterogéneo de sustancias contaminantes, provenientes de múltiples fuentes y sujetas a transformaciones constantes en la atmósfera, influenciados por factores ambientales lo que dificulta enormemente evaluar sus efectos sobre la salud humana (Ubilla & Yohannessen, 2017).

1.1.3. Contaminantes atmosféricos

Los diferentes contaminantes atmosféricos se pueden clasificar según su naturaleza, en bióticos, formados por partículas biológicas (polen) y los abióticos, conformados por contaminantes químicos (gases, vapores y partículas) y físicos (radiaciones, acústica). Entre los contaminantes químicos atmosféricos, pueden distinguirse según su origen en primarios cuando ingresan a la atmósfera directamente desde fuentes de emisiones y contaminación, y aquellos que cambian después de la liberación. después de reacciones físicas o químicas, los secundarios (Pedro Jiménez, 2019).

La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (Environmental Protection Agency, 2023) ha establecido estándares nacionales de calidad del aire ambiental, para seis contaminantes a los que denomina “contaminantes criterio” y los “no criterio” o contaminantes atmosféricos tóxicos (TAP), tales como los metales pesados (cromo, níquel, cadmio y mercurio). En el Perú, son contaminantes criterio el monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y las pequeñas partículas en el aire. (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2017; Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA, 2015)

1.1.4. Fuentes de Emisión

La contaminación del aire puede tener causas naturales o ser producto de la actividad humana (antropogénicas). Las fuentes antropogénicas, a su vez, pueden ser fijas o en movimiento (Encinas Malagón, 2011). La Tabla 1 muestra las principales fuentes de contaminación atmosférica.

Tabla 1
Principales fuentes de contaminación atmosférica

FUENTES NATURALES	FUENTES ANTROPOGÉNICAS	
	FIJAS	MÓVILES
Volcanes		
Incendios forestales por rayos	Centrales térmicas	Vehículos Diesel
Plantas en descomposición (agua y suelo)	Centrales nucleares	Vehículos gasolina sin plomo
Océanos	Procesos industriales	
Suelo	Incineración de residuos	
Tormentas eléctricas	Calefacciones domésticas	
	Quema de la biomasa	

Nota. (Encinas Malagón, 2011)

Por lo tanto, la exposición a contaminantes atmosféricos compromete gravemente la salud humana, causando daños pulmonares y afectando negativamente otros sistemas orgánicos, incluyendo el cardiovascular, nervioso y renal (Zona Rubio et al., 2022). Además de eso, la contaminación del aire no se limita a la atmósfera, sino que se propaga a otros medios, acidificando cuerpos de agua y dañando ecosistemas, desestabilizando así el equilibrio natural, que los ecosistemas no pueden manejar (MINAM, 2021).

1.2. Ciclo hidrológico y deposición atmosférica

El ciclo hidrológico es el proceso dinámico y continuo en el que el agua se transforma y mueve entre la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Este ciclo, que es fundamental para la vida en la Tierra, incluye la evaporación, la condensación, la precipitación y la escorrentía, como se puede ver en la Figura 2, y juega un papel importante en la regulación del clima. En el contexto de la calidad del aire, el ciclo hidrológico actúa como un transportador y depurador natural de contaminantes atmosféricos (USGS, 2019).

Es así como, la Organización Meteorológica Mundial (2022), cita como depuradores naturales a la deposición seca cuando los gases o las partículas en suspensión abandonan la atmósfera por contacto con la superficie terrestre, y la húmeda, que ocurre cuando los gases o las partículas son retirados de la atmósfera por gotas con lluvia o precipitación de nieve y granizo. Estos procesos proporcionan un instrumento elemental para evaluar la calidad del aire en un lugar específico en un espacio determinado.

Figura 2
Ciclo del agua



Nota. (USGS, 2019)

1.3. Metales en el ambiente y sus efectos.

De acuerdo con el MINSA (Ministerio de Salud, 2023), los metales en particular los más densos (mayor de 5 g/cm^3) y nocivos, con peso atómico entre 63.55 u y 200.59 u. que representan una seria amenaza para la salud pública y el medio ambiente. Y no solo eso, varios estudios demuestran que estos metales pueden acumularse en los animales y plantas pudiendo ser peligroso, resaltando la peligrosidad de los metales pesados porque no se degradan de forma natural, alcanzando concentraciones mayores que en el ambiente o los alimentos. A medida que avanzan en la cadena trófica, su toxicidad se intensifica, afectando la salud humana con diversos problemas físicos, como dolores crónicos, y psíquicos, como ansiedad (Trujillo et al., 2021 y Cristina et al., 2021)

Debido a su alta difusión, se menciona como metales de alto potencial tóxico al mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el níquel (Ni), la plata (Ag) y al metaloide arsénico (As), entre otros metales pesados de importancia Raffa et al. (2021) menciona al aluminio (Al), berilio (Be), hierro (Fe), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn).

Nuestra relación con la naturaleza se ha visto afectada por la intensa actividad industrial, que ha liberado una gran cantidad de sustancias tóxicas, como los metales pesados, contaminando los ecosistemas y poniendo en riesgo la biodiversidad. La Tabla 2, basada en la clasificación propuesta por Raffa et al. (2021), evidencia que las actividades humanas son la principal causa de la contaminación por metales pesados, los cuales se liberan al medio ambiente a través de cinco vías principales.

Tabla 2
Fuentes antropogénicas de metales y metaloides contaminantes

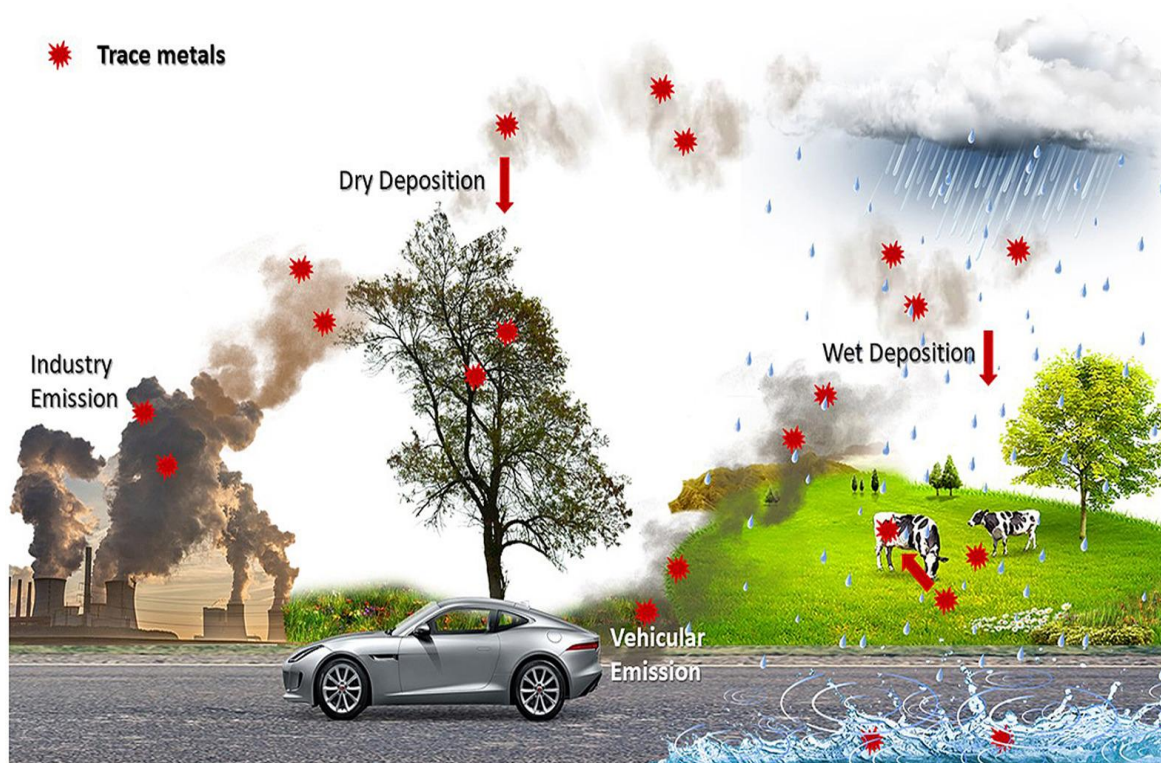
Agricultura	Zinc, arsénico, plomo, cadmio, cobre, selenio, uranio
Minería y fundición de metales	Cadmio, plomo, arsénico, mercurio
Industria	Cadmio, mercurio, arsénico, cromo, cobre, cobalto, níquel, zinc
Eliminación de residuos	Arsénico, plomo, cobre, cadmio, cromo, zinc, mercurio
Deposición atmosférica	Arsénico, plomo, cromo, mercurio, cadmio, uranio

Nota. Raffa et al. (2021)

La deposición húmeda, descrita por Hernández Avilés (2016), es el mecanismo por el cual el agua de lluvia arrastra y deposita en la superficie terrestre una variedad de contaminantes, visto en la Figura 3, entre ellos los metales pesados, así también la cantidad de metales que se depositan con la lluvia depende de cuán solubles sean esos metales (Vithanage et al., 2022).

Figura 3

Deposición de metales traza asociados a partículas atmosféricas



Nota. Vithanage et al. (2022)

En la Tabla 3, se describen algunas características de los metales de estudio.

Tabla 3

Características de algunos metales

Metal	Forma química común	Principales usos	Efectos en el medio ambiente	Nivel de toxicidad	Deposición atmosférica líquida
Aluminio	Aluminio metálico, óxidos de aluminio	Industrias: construcción, aeronáutica, envases. Agricultura: pesticidas.	Acidificación de suelos y aguas, daños en la vegetación.	Baja a moderada (compuestos)	Óxidos insolubles, pueden depositarse en suelos.
Arsénico	Trióxido de arsénico	Industrias: pesticidas, semiconductores. Agricultura: pesticidas.	Contaminación de suelos y aguas, cancerígeno, bioacumulativo.	Alta	Compuestos volátiles, pueden depositarse en suelos y aguas.
Cadmio	Sulfuro de cadmio	Industrias: baterías, pigmentos.	Contaminación de suelos y aguas,	Alta	Compuestos volátiles, pueden

		Agricultura: fertilizante.	bioacumulativo, cancerígeno.		depositarse en suelos y aguas.
Cromo	Trióxido de cromo	Industrias: metalurgia, pigmentos. Agricultura: fertilizante.	Contaminación de suelos y aguas, cancerígeno.	Alta (cromo hexavalente)	Compuestos volátiles, pueden depositarse en suelos y aguas.
Cobre	Sulfuro de cobre	Industrias: electrónica, construcción. Agricultura: fungicida.	Contaminación de suelos y aguas, toxicidad para organismos acuáticos.	Moderada	Compuestos solubles, pueden depositarse en suelos y aguas.
Hierro	Óxidos de hierro (hematita, magnetita)	Industrias: construcción, acero. Agricultura: fertilizante.	Contaminación de suelos y aguas, eutrofización.	Baja (metal elemental), moderada (compuestos)	Óxidos insolubles, pueden depositarse en suelos.
Manganeso	Óxidos de manganeso	Industrias: acero, baterías. Agricultura: fertilizante.	Contaminación de suelos y aguas, toxicidad para organismos acuáticos.	Moderada a alta	Óxidos insolubles, pueden depositarse en suelos.
Níquel	Óxidos de níquel, sulfato de níquel	Producción de acero inoxidable, baterías recargables, catalizadores	Contaminación de suelo, aguas, afecta la vida acuática.	Moderado a alta (alergias cutáneas, problemas respiratorios y cáncer).	En zonas industriales.
Plomo	Óxido de plomo	Industrias: baterías, pinturas. Agricultura: pesticida.	Contaminación de suelos y aguas, neurotóxico, bioacumulativo.	Alta	Compuestos volátiles, pueden depositarse en suelos y aguas.
Vanadio	Pentóxido de vanadio	Producción de acero, baterías, catalizadores, tintes	Contaminación del suelo y afecta la vida vegetal y animal.	Moderado a alto (irritación en la piel y los ojos, problemas respiratorios)	Especialmente en zonas con actividad industrial.
Zinc	Óxido de zinc	Industrias: galvanizado, pilas. Agricultura: fertilizante.	Contaminación de suelos y aguas, toxicidad para organismos acuáticos.	Moderada	Compuestos solubles, pueden depositarse en suelos y aguas.
Mercurio	Mercurio elemental,	Industrias: termómetros, lámparas fluorescentes.	Contaminación de suelos, aguas y aire,	Alta	Vapor de mercurio, compuestos volátiles,

	compuestos de metilmercurio	Agricultura: fungicida.	bioacumulativo, neurotóxico.		pueden depositarse en suelos y aguas.
Uranio	Óxido de uranio	Industria nuclear, armamento.	Contaminación de suelos y aguas, radioactivo, cancerígeno.	Alta	Compuestos volátiles, pueden depositarse en suelos y aguas.

Nota. Elaboración propia (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023; Hernández Avilés, 2016; Huamán Torres, 2019)

1.4. Arequipa y su contexto ambiental

1.4.1. Geografía

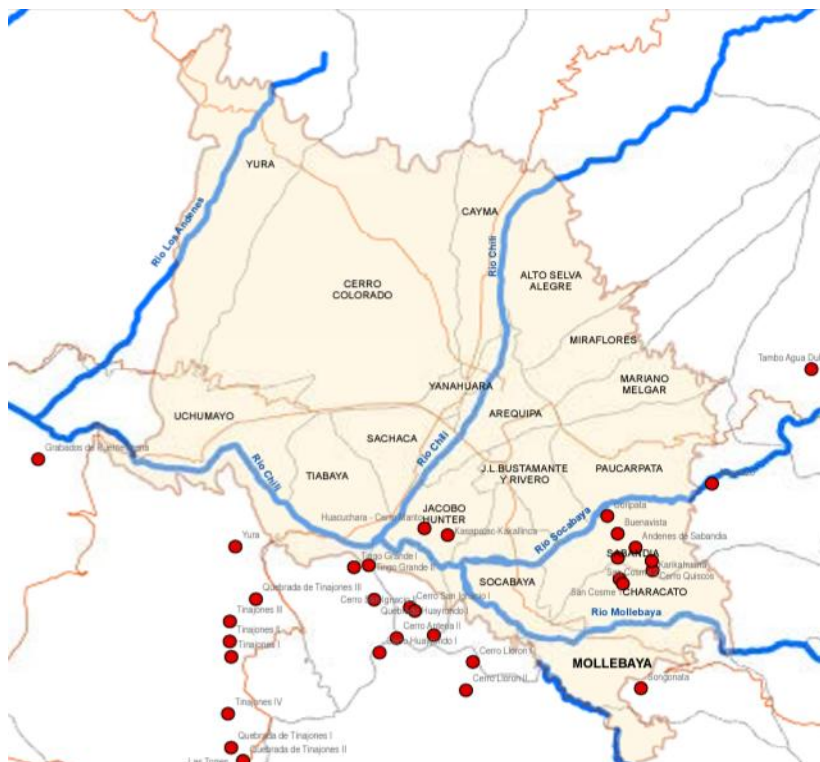
Con la ciudad de Arequipa como su corazón urbano, la provincia de Arequipa se extiende por la parte sur del Perú, abarcando zonas de la región central y occidental de Sudamérica.

La heterogeneidad de la provincia de Arequipa se manifiesta en su división política en veintinueve (29) distritos, cada uno con un perfil geográfico, cultural y socioeconómico particular entre ellos tenemos a: Arequipa, Alto Selva Alegre, Cayma, Cerro Colorado, Characato, Chiguata, Jacobo Hunter, La Joya, José Luis Bustamante y Rivero, Mariano Melgar, Miraflores, Mollebaya, Paucarpata, Pocsi, Polobaya, Quequeña, Sabandía, Sachaca, San Juan de Siguan, San Juan de Tarucani, Santa Isabel de Siguan, Santa Rita de Siguan, Socabaya, Tiabaya, Uchumayo, Vitor, Yanahuara, Yarabamba y Yura (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2022)

El ámbito territorial de la provincia de Arequipa tiene una extensión aproximada de 9,689.06 km². Su población es de 1 056 316 habitantes (INEI, 2018), siendo la provincia más poblada del departamento.

El área “metropolitana” de Arequipa, establecida en el Plan de Desarrollo Metropolitano 2016-2025, no se limita a la ciudad de Arequipa, incluye también a los distritos José Luis Bustamante y Rivero, Sachaca y Yanahuara, como se aprecia en la Figura 4. Abarca, también las áreas urbanas conurbadas o semiconurbadas de los distritos de Alto Selva Alegre, Cayma, Cerro Colorado, Characato, Jacobo Hunter, Mariano Melgar, Miraflores, Mollebaya, Paucarpata, Quequeña, Sabandía, Socabaya, Tiabaya, Uchumayo y Yura (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2022).

Figura 4
Arequipa Metropolitana



Nota.(Municipalidad Provincial de Arequipa, 2022)

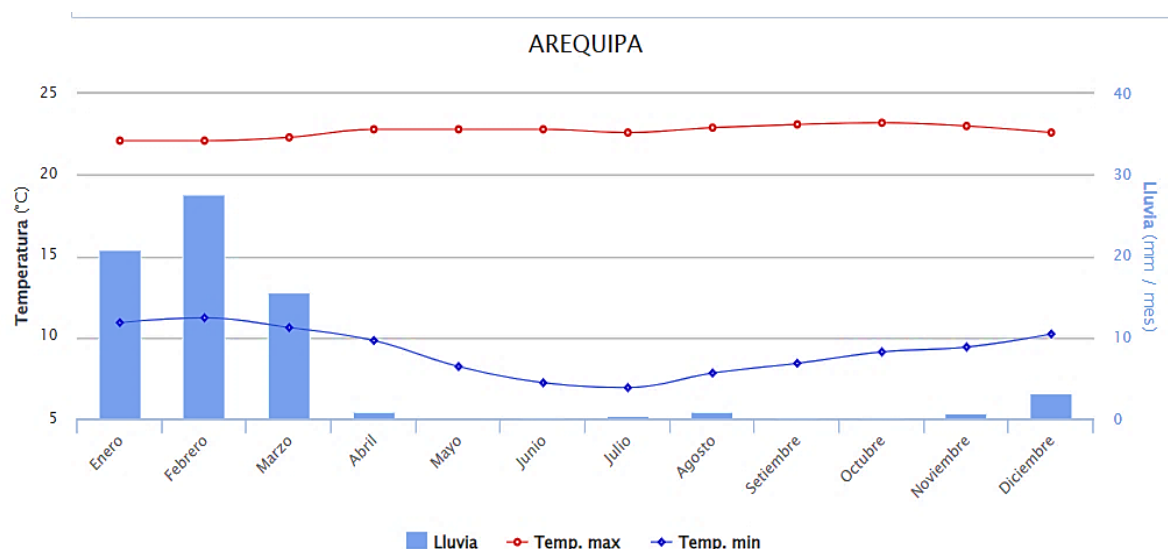
1.4.2. Clima

La ubicación de Arequipa, sumado a la influencia del anticiclón del Pacífico Sur y a la orografía de la zona, crean un microclima seco y templado. Es como si la ciudad estuviera envuelta en un abrazo cálido y protector, resguardándola de la humedad y las lluvias abundantes (Perú. Consejo Nacional del Ambiente Programa Regional de Aire Limpio, 2005).

1.4.3. Temperatura

La Figura 5 nos muestra la temperatura en Arequipa la cual presenta una amplia variación anual, con un promedio de 15.8°C. Los meses de octubre y julio representan los extremos térmicos: 23.2°C y 6.9°C respectivamente, mientras que febrero es el más lluvioso del año (27.59 mm/mes). Esta variabilidad climática está influenciada por factores geográficos y atmosféricos (SENAMHI, 2023)

Figura 5
Promedio de temperatura normal en Arequipa



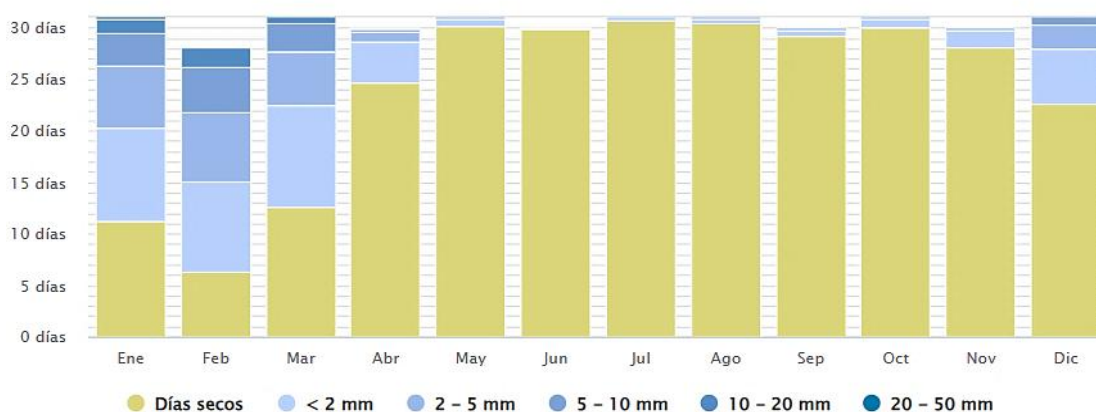
Nota. (SENAMHI, 2023)

1.4.4. Precipitaciones

Como se aprecia en la Figura 6, el ciclo hidrológico en Arequipa presenta una marcada estacionalidad, casi toda la lluvia cae en solo tres meses del año: enero, febrero y marzo. Durante estos meses, se concentra el 90% de la precipitación anual, alcanzando un promedio de 78 mm. El resto del año es bastante seco.

Figura 6
Cantidad de precipitaciones en Arequipa

Arequipa
16.40°S, 71.53°W (2355 m snm).
Modelo: ERA5T.



Nota. El diagrama muestra cuántos días al mes, se alcanzan ciertas cantidades de precipitación. (Meteoblue, 2023)

1.4.5. Velocidad del viento

La velocidad del viento en Arequipa, mostrada en la Figura 7 es un reflejo de la compleja interacción entre la tierra y la atmósfera.

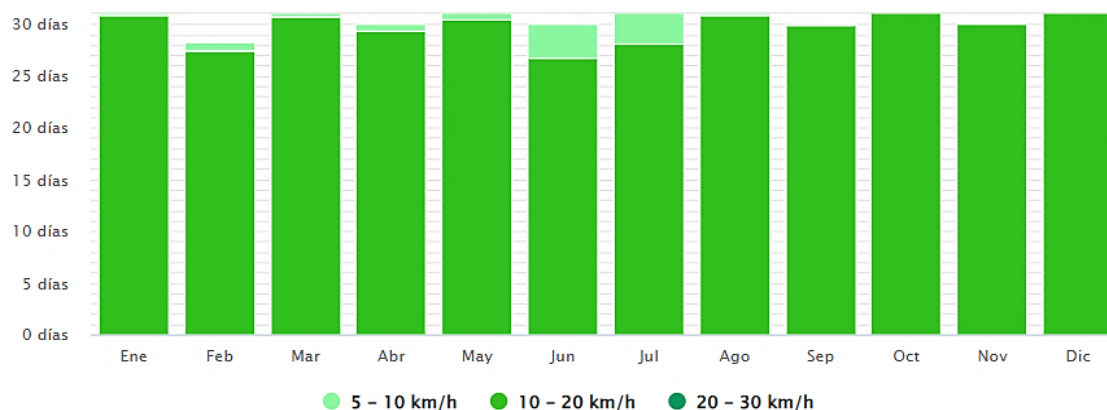
Figura 7

Velocidad del viento

Arequipa

16.40°S, 71.53°W (2355 m snm).

Modelo: ERA5T.

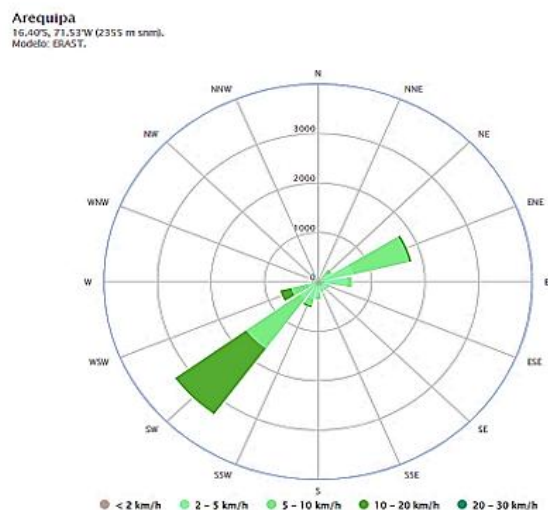


Nota. Se muestra los días por mes, durante los cuales el viento alcanza una cierta velocidad.

Las diferencias de temperatura entre las montañas y los valles alrededor de la ciudad generan corrientes de aire que se aceleran o desaceleran al encontrarse con obstáculos. Los vientos catabáticos, como ríos de aire frío, descienden por las laderas, mientras que los vientos anabáticos ascienden, más cálidos y húmedos. Esta variabilidad en la velocidad del viento tiene importantes implicaciones para la erosión eólica, la dispersión de contaminantes y la sensación térmica (SENAMHI, 2023)

La Rosa de los Vientos de Arequipa, se muestra en la Figura 8, revela una clara predominancia de los vientos del suroeste (SO) para el noreste (NE).

Figura 8
Rosa de los Vientos - Arequipa



Nota. (Meteoblue, 2023)

1.4.6. Calidad del aire

La configuración geográfica de Arequipa, semejante a la forma de un “plato hundido” favorece la acumulación de contaminantes en las capas bajas de la atmósfera. La inversión térmica, un fenómeno común en la ciudad, junto con la topografía, contribuye a la formación de una capa de aire contaminado que se mantiene cerca de la superficie (ILI Logística Internacional, 2009).

Arequipa, como muchas otras ciudades, enfrenta un problema de contaminación atmosférica generado por la interacción de factores naturales y humanos. La actividad volcánica (gases, cenizas) y la erosión eólica (polvo), sumadas a las emisiones vehiculares e industriales (material particulado), han deteriorado significativamente la calidad del aire, afectando la salud de los habitantes y el medio ambiente (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2022). Así también, se revela que “la contaminación de aire en la ciudad sobrepasa los límites permitidos con 220 μg de material particulado por m^3/h , cuando lo permisible es 150 μg por m^3/h , es decir, 50% más de lo permitido” (UNSA et al., 2023)

1.4.6.1. Nivel de contaminación del aire.

La vigilancia de la calidad del aire en nuestra ciudad está a cargo de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) de la Gerencia Regional de Salud, que en cumplimiento con la normativa de calidad de aire, reporto que los valores promedio mensuales de material particulado PM_{10} bajo volumen (Gerencia Regional de Salud

Arequipa, 2023), han superado los límites permitidos en varias zonas de la ciudad como se aprecia en la Figura 9 y Figura 10.

Figura 9

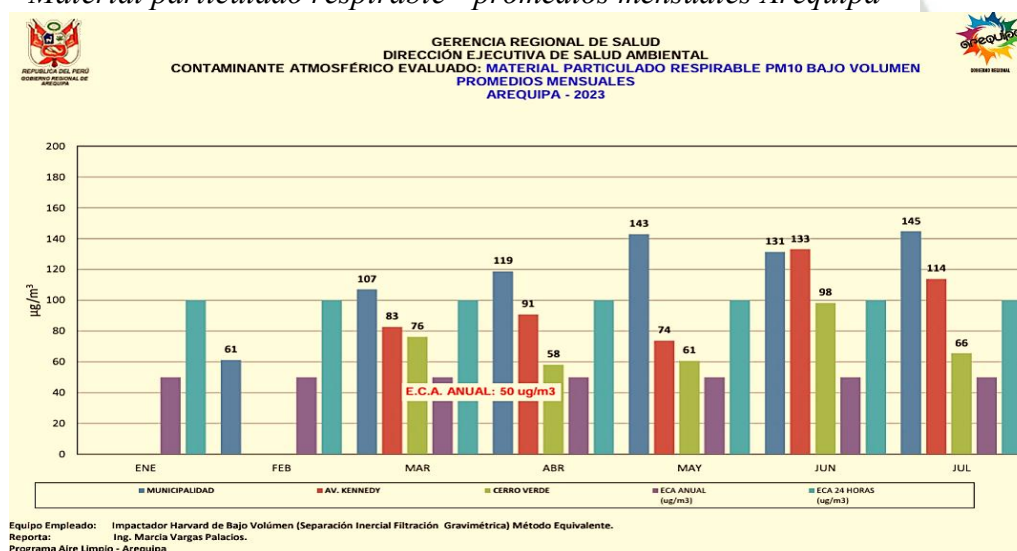
Material Particulado respirable PM₁₀ bajo volumen

MES	MUNICIPALIDAD	AV. KENNEDY	CERRO VERDE	CONO NORTE	SOCABAYA	ECA ANUAL (ug/m3)	ECA 24 HORAS (ug/m3)
ENE						50	100
FEB	61					50	100
MAR	107	83	76			50	100
ABR	119	91	58			50	100
MAY	143	74	61			50	100
JUN	131	133	98			50	100
JUL	145	114	66			50	100
AGO						50	100
SET						50	100
OCT						50	100
NOV							
DIC							
PROM.	118	99	72				

Nota. (Gerencia Regional de Salud Arequipa, 2023)

Figura 10

Material particulado respirable - promedios mensuales Arequipa



Nota. (Gerencia Regional de Salud Arequipa, 2023)

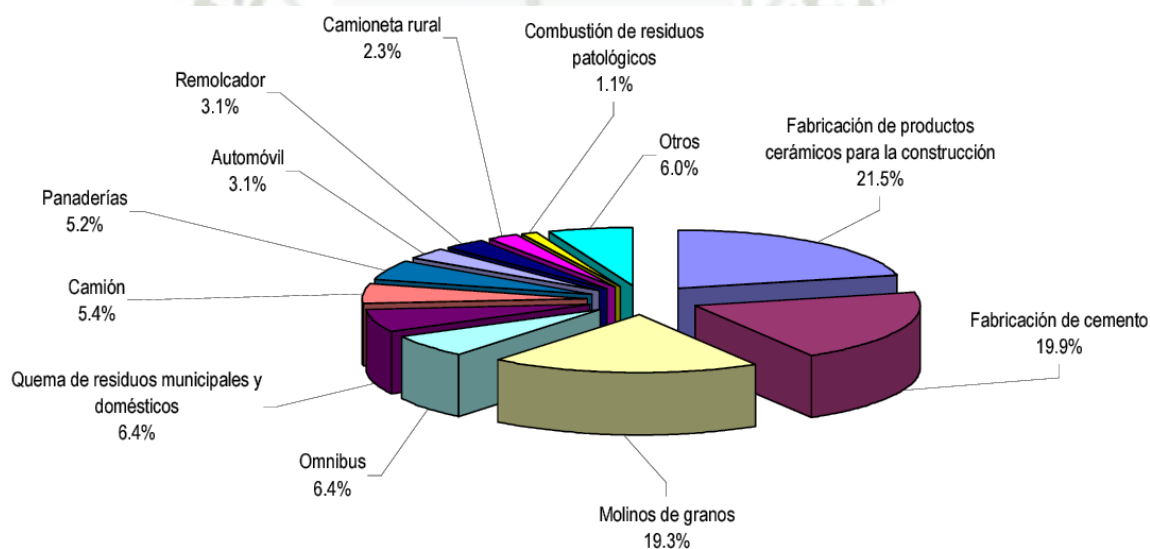
1.4.6.2. Fuentes de contaminación

Las partículas pequeñas (PM₁₀), son un componente importante de la contaminación del aire en Arequipa, es así como en el Inventario de Emisiones de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Arequipa (Dirección General de Salud Ambiental, 2009), se agruparon las fuentes de contaminación en fijas (industrias, edificios, fundiciones primarias, refinerías, industrias

de alimentos), móviles (vehículos) y de área (comercios panaderías, talleres de carpintería, grifos). Para entender mejor cómo cada una de estas fuentes contribuye a la contaminación por partículas pequeñas (PM_{10}), se muestran en la Figura 11 sus porcentajes de participación. Aquí, se observa que la contaminación del aire en Arequipa es un problema complejo con múltiples fuentes. Las fuentes fijas relacionadas con la producción de alimentos, ladrillos y cemento son principales responsables de ensuciar el aire de Arequipa con estas partículas que pueden ser dañinas para la salud. Estas actividades contribuyen con más del 60% del total de las emisiones de PM_{10} . Aunque los vehículos, las quemas a cielo abierto y las panaderías también son fuentes significativas (Dirección General de Salud Ambiental, 2009). Y no podemos ignorar la contribución de otras fuentes, actividades como cocinar en pollerías, el uso de saunas y otras pequeñas industrias, aunque en menor medida (6%), también agravan la situación, según la Figura 12.

Figura 11

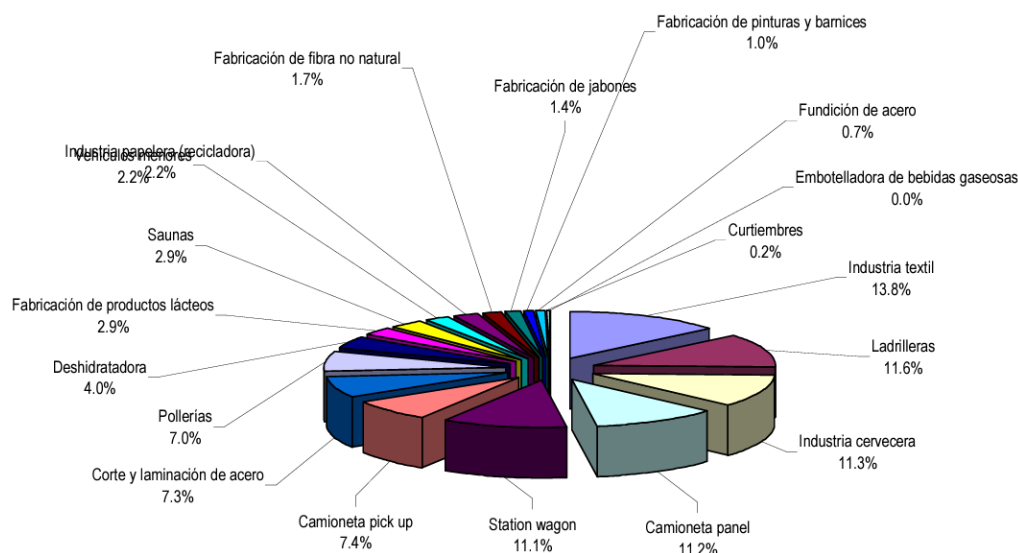
Distribución Porcentual de PM_{10} por Tipo de Fuente Cuenca Atmosférica de Arequipa



Nota. (Dirección General de Salud Ambiental DIGESA, 2009)

Figura 12

Distribución Porcentual de PM₁₀ - Categoría Otros Cuenca Atmosférica de Arequipa



Nota. (Dirección General de Salud Ambiental DIGESA, 2009)

1.5. Legislación ambiental

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. (2017a)
- Decreto Supremo N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Ministerio de Salud (2010)
- Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Organización Mundial de la Salud (2018)
- Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. (1998)
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. Ministerio del Ambiente (2017b)
- Decreto Supremo N.° 10-2019-MINAM. Aprobación del protocolo Nacional de monitoreo de la calidad Ambiental del Aire. Ministerio del Ambiente. (2019)
- Resolución Ministerial N°1026-2020-MINSA. Directiva Sanitaria N°126-MINSA/2020/DGIESP "Directiva Sanitaria que establece el procedimiento para el abordaje integral de la población expuesta a metales pesados, metaloides y otras sustancias químicas", que como Anexo forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial. Ministerio de Salud. (2020)

- Decreto Supremo N° 011-2023-MINAM. Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de aire de los parámetros cadmio, arsénico y cromo en material particulado menor a diez micras (PM10). Ministerio del Ambiente (2023)
- Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. (2004)
- NOM-026-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. (2021)
- Real Decreto 34/2023, de 24 de enero, por el que se modifican el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire; el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, aprobado mediante el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre; y el Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos. Ministerio de la Presidencia (2023)
- Criterios de Calidad del Aire de Ontario, Canadá (AAQC). Ministerio de Medio Ambiente (2020)

1.6. Antecedentes de la investigación

El aire contaminado no solo afecta al medioambiente, sino que también pone en riesgo nuestra salud. Según la Organización Mundial de la Salud, en 2016 la mala calidad del aire provocó 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo, con la mayoría de los casos ocurriendo en países de ingresos bajos y medios. Este problema demuestra la urgente necesidad de mejorar la calidad del aire para proteger tanto a las personas como a los ecosistemas (Christina Nunez, 2017).

En este contexto, la lluvia no solo refresca el ambiente, también arrastra de vuelta los contaminantes que hemos liberado en el aire. Los metales pesados producto de nuestras actividades no desaparecen, sino que caen con las precipitaciones, infiltrándose en el suelo y los ríos. Así, la contaminación se mantiene en un ciclo, impactando tanto el ecosistema como nuestra salud y demostrando la estrecha relación entre la calidad del aire y del agua (Jomolca-Parra et al., 2013).

La composición de la lluvia ha cambiado drásticamente debido a la contaminación atmosférica. A nivel nacional, el Perú ha tomado medidas para mejorar la calidad del aire; por Decreto Supremo N° 011-2023-MINAM se establecieron nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el aire en Perú, específicamente para los metales cadmio, arsénico y cromo en material particulado menor a diez micras (PM_{10}). Este decreto responde a la necesidad de regular la presencia de estos metales, que son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, y busca alinearse con las normativas internacionales para proteger a la población de los efectos nocivos de la contaminación. Los límites establecidos son de $0.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para cadmio y $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para arsénico en promedios de 24 horas, y $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para cromo. La implementación de estos estándares es crucial para mejorar la calidad del aire y garantizar un entorno más saludable, especialmente en áreas urbanas donde la exposición a contaminantes es más alta. Este decreto no solo refleja un compromiso con la salud pública, sino que también busca fomentar un desarrollo sostenible y responsable en el país (Ministerio del Ambiente, 2023).

Por otro lado, en una publicación reciente se pone de manifiesto la preocupante calidad del aire en Perú, que no se alinea con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los límites establecidos por el gobierno peruano son significativamente más altos que los sugeridos y pone en riesgo la salud pública. La carta enfatiza que la contaminación del aire es responsable de millones de muertes prematuras anualmente y está vinculada no solo a enfermedades respiratorias, sino también a condiciones como la diabetes y enfermedades neurodegenerativas. Además, se critica la regulación insuficiente de metales tóxicos en el aire y se subrayan la necesidad de adoptar estándares más estrictos para proteger la salud de la población (Ordoñez-Aquino & Gonzales, 2023).

Ahora bien, existen numerosos estudios y revisiones acerca de los efectos perjudiciales de la polución ambiental en la salud humana. En una de ellas, en Colombia, se analizó los efectos de la contaminación atmosférica, en la salud pública, con un enfoque particular en la presencia de metales pesados. Esta revisión analizó cómo la exposición a contaminantes (plomo, cadmio, cromo), impactan la salud a corto y largo plazo. Los hallazgos revelaron que la contaminación del aire está asociada con un aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y neurológicas, así como efectos adversos en el desarrollo infantil. Además, se identificó que la exposición a metales pesados puede contribuir a condiciones graves como el cáncer y trastornos del sistema nervioso. Al final, subrayan la

urgencia de implementar políticas efectivas para reducir la contaminación del aire y resaltan la necesidad de más estudios sobre los efectos de estos metales (Zona Rubio et al., 2022).

De la misma forma, la contaminación del aire en Cúcuta, Colombia está empeorando a causa del aumento de habitantes y las actividades humanas. La perspectiva de este estudio fue evaluar la calidad del aire en la región, con el objetivo de identificar y cuantificar los metales pesados en el material particulado y su posible impacto en la salud pública. Los resultados mostraron que las concentraciones de metales como plomo, zinc, manganeso, cobre y cromo eran alarmantemente altas, superando los límites establecidos por las normativas ambientales, lo que representa un riesgo significativo para la salud de los residentes, estos provienen de vehículos y fábricas. Las conclusiones del estudio enfatizaron la urgencia de implementar medidas de control y monitoreo para reducir la contaminación por metales pesados en el aire, así como la necesidad de sensibilizar a la comunidad sobre los efectos adversos de la exposición a estos contaminantes. Aunque el enfoque principal fue el material particulado, se destacó la importancia de considerar cómo la contaminación del aire podría afectar la calidad del agua de lluvia en la región, subrayando la interconexión entre la calidad del aire y del agua en la salud ambiental (Trujillo et al., 2021).

Asimismo, en la región industrializada de China, un estudio se centró en investigar cómo las partículas atmosféricas influían en la química del agua de lluvia. El objetivo principal fue analizar la composición de las partículas en suspensión y su impacto en la calidad del agua de lluvia, considerando su relevancia para el medio ambiente y la salud pública. Los hallazgos revelaron que las partículas atmosféricas, en particular los metales pesados y otros contaminantes, alteraban significativamente la química del agua de lluvia, aumentando su acidez y afectando su composición iónica. Las conclusiones del estudio subrayaron la necesidad de un monitoreo continuo de la calidad del aire y del agua, destacando interconexión entre la contaminación del aire y la calidad del agua de las comunidades en el Delta del Yangtsé (Han et al., 2019).

En México, también investigaron la contaminación del aire en seis ciudades de Sonora, a fin de saber si los metales pesados como el plomo, cadmio, níquel, cobre y cromo estaban haciendo daño a la salud pulmonar de las personas. Analizaron los metales en el aire durante un año mediante espectrometría de absorción atómica y lo compararon con las enfermedades respiratorias de la gente. Descubrieron que, a excepción del níquel en Nogales, las concentraciones de los metales no superaron los límites permisibles establecidos por las

normativas mexicanas y europeas. Sin embargo, se identificó una correlación significativa entre la presencia de cobre y las infecciones respiratorias en Hermosillo y Obregón, así como entre el níquel y las neumonías en Guaymas. Finalmente, enfatizaron la necesidad de implementar estrategias de mejora de la calidad del aire en las ciudades analizadas, destacando la importancia de monitorear y controlar la contaminación atmosférica para proteger la salud pública (Cruz Campas et al., 2017).

Inclusive, se estudió el polvo del aire sobre el océano Pacífico cerca de Perú para ver qué metales tóxicos contenía. Se encontró que la cantidad de algunos metales, como hierro, zinc y plomo, aumentaba cerca de la costa. En zonas más al sur, donde hay muchas fábricas, se detectaron niveles altos de hierro, cobre, cobalto y níquel. Esto sugiere que la contaminación de estas fábricas podría estar llegando al océano. El estudio también mostró que la cantidad de hierro en el aire sobre el océano es mayor de lo que necesitan las plantas marinas para crecer, lo cual podría tener un impacto en el ecosistema marino (Baker et al., 2015).

En nuestra ciudad, Arequipa, la polución del aire está causando enfermedades en numerosos individuos. Los automóviles son responsables principales de esta contaminación, liberando al ambiente diminutas partículas que perjudican nuestros pulmones. Las partículas, conocidas como MP_{10} , superan ampliamente los límites autorizados. En consecuencia, numerosas personas, especialmente niños y ancianos, padecen afecciones respiratorias como resfriados y neumonías. Esto afecta no únicamente nuestra salud, sino que también nos lleva gastar dinero en medicamentos. Este análisis demuestra la relevancia de monitorear la polución atmosférica para lograr una urbe más saludable (Quenaya Calle, 2018). Así también, se caracterizó el material particulado para la evaluación de la calidad del aire en el ovalo San Lázaro – Arequipa. Los resultados revelaron que los niveles de material particulado, especialmente PM_{10} y $PM_{2.5}$, superaban los límites establecidos por las normativas ambientales, lo que indicaba una preocupación significativa por la contaminación del aire en la zona. Además, se identificaron fuentes de emisión, como el tráfico vehicular y la actividad industrial, que contribuían a la mala calidad del aire. Este trabajo subrayó la importancia de la caracterización del material particulado como herramienta fundamental para abordar los problemas de calidad del aire y proteger la salud de la población en Arequipa (Enriquez Vicuña, 2021).

Sin duda, la mala calidad del aire está vinculada a un sin fin de problemas de salud y ambientales. Igualmente, incluso la lluvia, que debería ser una fuente de agua limpia, puede estar contaminada con metales pesados, esto lo revela una revisión sistemática realizada sobre la presencia de metales pesados en aguas lluvias cuyo objetivo fue identificar los metales contaminantes, evaluar sus efectos en la salud humana y analizar los métodos de cuantificación utilizados. Sus resultados mostraron que metales como plomo, mercurio, arsénico y cadmio son comunes en estas aguas, representando un riesgo significativo para la salud, y se identificaron métodos efectivos como la espectroscopia de absorción atómica para su medición. Las conclusiones resaltan la necesidad urgente de implementar monitoreo y control de la calidad del agua lluvia, dado que su contaminación colombiana puede tener graves repercusiones en la salud pública, y subrayan la falta de información sobre los rangos permitidos de metales pesados, lo que demanda más investigaciones para establecer medidas adecuadas de gestión y mitigación de riesgos (Fabián Camilo Lesmes, 2023).

Así también, con un estudio sobre la calidad del agua de lluvia recolectada en Saltillo, Coahuila, se buscó evaluar su composición química y determinar la presencia de contaminantes, especialmente metales pesados. A través de la recolección de doce muestras de agua, se emplearon diversas técnicas analíticas para caracterizar su calidad, entre ellas espectrofotómetro de absorción atómica para determinar cadmio, plomo y cobre. Los hallazgos revelaron que la concentración de plomo excede el límite permisible establecido por las normas mexicanas (0.01 mg/L), lo que plantea serias preocupaciones sobre la seguridad del agua para el consumo humano. Además, se identificaron otros metales como el cadmio (mayor al límite 0.005 mg/L) y el cobre que se mantuvo dentro de los límites aceptables (2 mg/L). Las conclusiones sugieren que, aunque el agua de lluvia puede ser utilizada para actividades urbanas como el riego, es fundamental realizar un análisis microbiológico previo y considerar la eliminación de los primeros litros recolectados para reducir la exposición a contaminantes. Este estudio señala la importancia de monitorear la calidad del agua de lluvia, especialmente en áreas urbanas, para garantizar la salud pública y el uso seguro de este recurso (Arauz-Solís et al., 2023).

Al mismo tiempo, en una ciudad palestina, se evaluó la calidad del agua de lluvia recolectada en recolectada en áreas rurales de Yatta, con el objetivo de identificar la presencia de metales pesados y su posible impacto en la salud pública. A través de la recolección de 75 muestras de agua de cisternas, se analizaron metales como plomo (Pb), cromo (Cr), manganeso (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn) y cadmio (Cd)

utilizando la técnica de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Aunque la mayoría de las muestras cumplían con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud, se encontraron concentraciones de plomo y cromo que superaron los estándares permitidos, lo que generó preocupaciones sobre la seguridad del agua para el consumo humano. Las posibles fuentes de contaminación identificadas incluyeron materiales de techado, polvo de carretera y actividades antropogénicas cercanas, que podrían introducir metales pesados en el agua de lluvia. Se precisa la necesidad de implementar medidas de monitoreo y control para reducir la contaminación por metales pesados, así como la importancia de educar a las comunidades sobre los riesgos asociados con el uso de agua contaminada, destacando la urgencia de garantizar el acceso a agua segura y de calidad en estas regiones (Anabtawi et al., 2022).

En el estudio realizado en las quebradas Pacchac y Pucaurán, Perú, enfocado en evaluar el riesgo de exposición a metales pesados en el agua de las quebradas Pacchac y Pucaurán, en Huaraz, Ancash, durante el periodo de 1996 a 2014, debido a la actividad minera de Pierina, con el objetivo de determinar el impacto de la contaminación en las comunidades que utilizan esta agua, que incluye agua de lluvia recolectada. Los resultados mostraron que las concentraciones del arsénico, cadmio, plomo y zinc superaban los límites establecidos por las normativas de calidad del agua, lo que representó un riesgo significativo para la salud de los habitantes precisando la necesidad de implementar medidas de control y monitoreo para mitigar la contaminación por metales pesados, así como la importancia de educar a las comunidades sobre los peligros asociados con el uso de agua contaminada. Este trabajo subrayó la conexión crítica entre la salud pública y la calidad del agua de lluvia, donde es necesaria la urgencia de garantizar el acceso a agua segura y de calidad en áreas afectadas por actividades mineras y pasivos ambientales (Alegre Bustamante, 2022). El autor de este estudio menciona que al entrar el plomo en contacto con la atmosfera es removido del aire por la lluvia y cae sobre suelo y al agua superficial (Baird, 2001 como se citó en Alegre Bustamante, 2022) y menciona que el zinc se encuentra como partículas de polvo finísimas y que es la lluvia y la nieve que ayudan a remover este metal del aire (V. P. Singh, 2005 como se citó en Alegre Bustamante, 2022).

A su vez, en Costa Rica se enfocaron en analizar las fuentes de contaminación atmosférica, tanto naturales como antropogénicas, y su efecto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla en zonas boscosas de esta zona. El fin principal fue evaluar cómo estas fuentes impactan las características del agua recolectada en estas áreas, ya que la

deposición atmosférica húmeda, a través de la lluvia y la niebla, es un proceso clave en la remoción de contaminantes del aire, siendo su composición química un indicador de la contaminación ambiental. Determinaron que las emisiones de gases provenientes de la industria y el tráfico afectaban significativamente la composición química del agua de lluvia, incrementando la presencia de contaminantes como sulfatos y nitratos. Siendo necesario un monitoreo más exhaustivo de la calidad del agua de lluvia y de niebla, así como la identificación de las fuentes de contaminación, para salvaguardar los ecosistemas y la salud pública. El estudio no menciona específicamente metales pesados en el agua de lluvia, sin embargo, manifiestan el interés de asegurar que el agua de lluvia, un recurso esencial, se mantenga libre de contaminantes que puedan perjudicar tanto a la biodiversidad como a las comunidades que dependen de ella (Mora et al., 2021).

En la misma línea de investigación, en México se evaluó la calidad del agua de lluvia en Atlixco, Puebla, durante la temporada de 2018, con el objetivo de analizar cómo la altura y la presencia de contaminantes afectan la calidad del agua precipitada. Se determinó niveles de Na, Fe, Pb, Ca, Mg, Mn, Zn y Cd en ppm por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados revelaron que, aunque la mayoría de los parámetros físicoquímicos cumplían con los estándares para agua potable, se encontraron concentraciones elevadas de plomo (Pb) y cadmio (Cd), que superaban los límites permitidos. Se estableció la fuerte influencia de fuentes antropogénicas en la calidad del agua de lluvia, resaltando la importancia de proteger la calidad del agua de lluvia, especialmente en áreas urbanas donde la contaminación puede tener un impacto significativo en la salud pública y el medio ambiente (Teutli León et al., 2021).

En otra región mexicana, durante un año, se estudiaron diez tipos diferentes de metales pesados (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Cd y As) en muestras de agua de lluvia. El objetivo principal fue analizar las concentraciones de metales pesados en las muestras de agua de lluvia y determinar su origen mediante un enfoque estadístico. Los hallazgos revelaron que las concentraciones de metales como zinc, hierro, manganeso y plomo estaban influenciadas significativamente por actividades humanas, como la industrialización y el tráfico vehicular, además de factores naturales como la erosión del suelo. La investigación destacó la necesidad de vigilar la calidad del agua de lluvia, ya que los metales pesados podían representar un peligro para la salud y el ecosistema. Además, enfatizó la importancia de entender el impacto de las fuentes de contaminación en el agua, un factor esencial para el manejo responsable de los recursos hídricos en la región (Rivera-Rivera et al., 2020).

En Kalimantan occidental, Indonesia, la lluvia es la principal fuente de agua. El objetivo principal fue evaluar la calidad del agua de lluvia y los riesgos para la salud asociados con su consumo, así como proponer métodos de tratamiento para mejorar su potabilidad. Los hallazgos revelaron que, lamentablemente, la polución atmosférica puede modificar la acidez del agua pluvial y saturarla con metales pesados como plomo, debido a la contaminación atmosférica y a la recolección en techos de zinc. La determinación se realizó por espectroscopia de absorción atómica. El estudio concluyó que era crucial implementar sistemas de tratamiento, como la filtración con arena de molusco y carbón activado, que resultaron efectivos para reducir la contaminación y hacer que el agua de lluvia fuera apta para el consumo humano. También destacó la necesidad de adoptar tecnologías adecuadas para asegurar el acceso a agua potable segura, contribuyendo a la salud pública de las comunidades que dependen de esta fuente (Khayan et al., 2019).

Del mismo modo, un artículo informativo de la Gaceta de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) indica que al parecer la lluvia de México se encuentra contaminada. En el artículo se cita que el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) reveló que la intensa actividad industrial y la elevada densidad poblacional han modificado de manera negativa la química de las precipitaciones. En el estudio encontraron bacterias y metales como aluminio, plomo, zinc, cadmio, cromo, vanadio, manganeso, hierro, mercurio, así como arsénico, rodio, paladio, rubidio y níquel; por lo tanto, se enfatiza que, sin un tratamiento adecuado, el agua de lluvia no es segura para beber y puede representar riesgos significativos para la salud e impactan en los suelos (Frías, 2018).

Una investigación de la calidad del agua de lluvia en una región afectada por la minería del carbón en Colombia encontró metales peligrosos con niveles elevados para cobre, cadmio, vanadio y poco significativos en plomo en las muestras de agua de lluvia recolectadas durante un año, estos fueron determinados por espectroscopia de absorción atómica. Estos metales muestran que la actividad minera está contaminando el aire y el agua de la zona. Como resultado, el agua de lluvia ya no es segura para beber sin un tratamiento adecuado (Carlos Doria-Argumedo, 2017).

Situación similar se presenta en el trabajo de investigación sobre la calidad fisicoquímica y la presencia de metales pesados en el agua de lluvia recogida de techos en una aldea de Nigeria. El objetivo principal fue determinar si esta agua, utilizada para el consumo humano, cumplía con los estándares de calidad establecidos por la Organización

Mundial de la Salud. Se encontró que esta agua no es muy limpia y tiene sustancias dañinas como metales pesados: hierro, selenio, cobre y plomo, donde el Cu y Pb superaban los niveles permitidos en varias muestras. Así también, algunos parámetros como la temperatura y la conductividad eléctrica estaban dentro de los límites aceptables, otros, como el pH y la turbidez, variaban significativamente y no cumplían con las recomendaciones. Los autores destacaron la importancia de tratar adecuadamente el agua de lluvia antes de consumirla y de educar a la comunidad sobre los riesgos del agua no tratada. El estudio enfatizó la necesidad de asegurar el acceso a agua potable segura en áreas rurales, contribuyendo al bienestar y la salud pública de la población (Igbinsa & Aighewi, 2017).

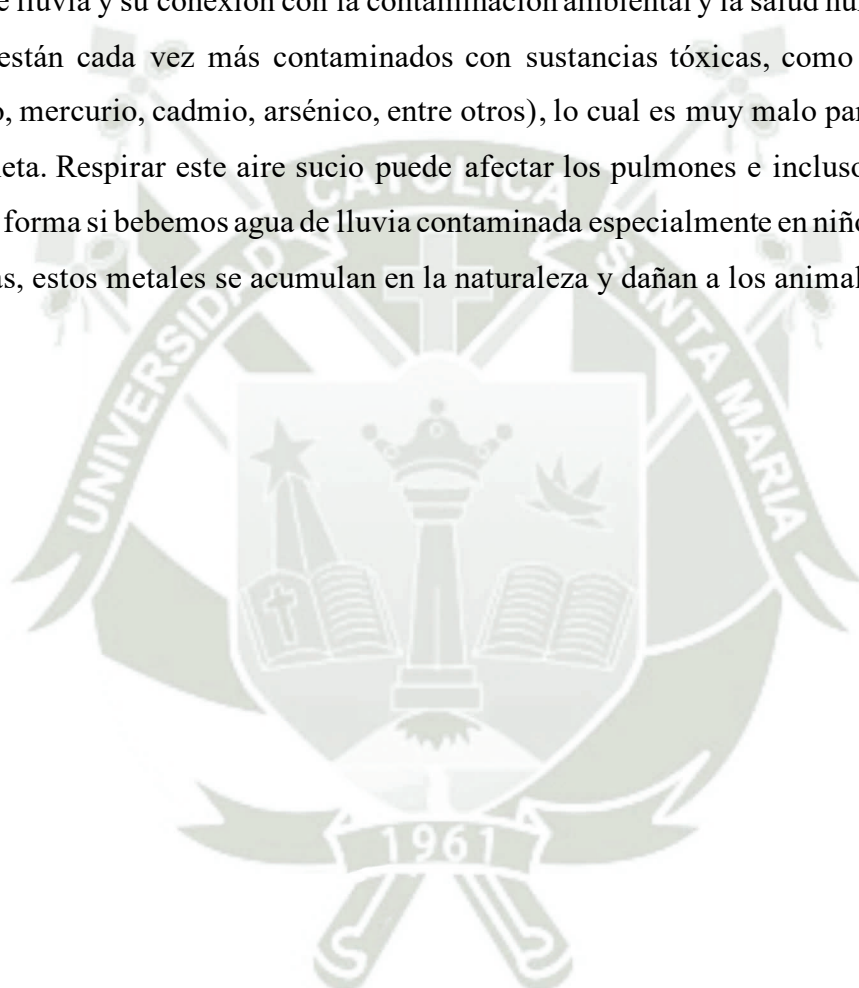
Adicionalmente, Hernández Avilés (2016) realizó una revisión exhaustiva buscando conocer cuáles metales tóxicos encontramos en la lluvia de todo el mundo y en qué cantidad, su objetivo fue identificar las concentraciones de estos contaminantes y comparar su calidad en diferentes contextos. Resultando que el agua de lluvia analizada no sirve para beber porque tiene mucho aluminio, hierro, mercurio y plomo. Sin embargo, se puede usar para regar plantas y jardines, lavar cosas o apagar incendios. No es buena para los animales ni para conservar la naturaleza porque tiene demasiado hierro, plomo y zinc. El estudio destacó la urgencia de aplicar regulaciones más estrictas y técnicas de tratamiento para el agua de lluvia, además de la necesidad de continuar investigando métodos eficaces para eliminar metales pesados. Resaltó la importancia de asegurar la calidad del agua de lluvia, especialmente en comunidades que dependen de ella, contribuyendo a la salud pública y la sostenibilidad ambiental.

Asimismo, durante un año al querer saber qué tan contaminada estaba la lluvia con metales tóxicos cerca de un lago importante en Estambul, encontraron que la lluvia tenía más metales dañinos que en otros lugares del mundo. Los metales más comunes eran cadmio, cobre, vanadio, zinc, níquel, plomo y cromo. Estos metales se disuelven más fácilmente en el agua cuando está ácida. Suponen que estos metales vienen de fábricas y otras actividades humanas cercanas al lago. Algunos metales, como el cobre y el plomo, probablemente vienen de fábricas de cemento de la zona. Otros metales podrían venir de lugares muy lejanos y llegar al lago por el viento. Esta contaminación es un problema porque puede afectar la calidad del agua del lago y la salud de las personas precisaron (Başak & Alagha, 2010).

Otro estudio analizó durante un año la lluvia en Jordania para ver qué sustancias químicas contenía. Se encontraron varios metales como hierro, aluminio, zinc, plomo, cobre

y cadmio, junto con otras sustancias más comunes. La mayoría de la lluvia era alcalina, pero hubo algunas lluvias ácidas. La lluvia en esta región está contaminada por actividades humanas y naturales, cree que estos metales provienen del polvo del suelo, y otras son causadas por la actividad humana, como las fábricas, los coches y las actividades agrícolas de la zona parecen influir mucho en la composición de la lluvia (Al-Khashman, 2009).

En resumen, los antecedentes de la investigación destacan la presencia de metales en el agua de lluvia y su conexión con la contaminación ambiental y la salud humana. El aire y la lluvia están cada vez más contaminados con sustancias tóxicas, como metales pesados (plomo, mercurio, cadmio, arsénico, entre otros), lo cual es muy malo para nuestra salud y el planeta. Respirar este aire sucio puede afectar los pulmones e incluso el cerebro de la misma forma si bebemos agua de lluvia contaminada especialmente en niños y embarazadas. Además, estos metales se acumulan en la naturaleza y dañan a los animales y plantas.



CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo y diseño de la investigación

Considerando la metodología de investigación científica (Vizcaíno Zúñiga et al., 2023) este estudio tiene un diseño de enfoque cuantitativo cuasiexperimental, las áreas de estudio existen y es donde la recolección de datos numéricos se realiza en distintos momentos (longitudinal).

Asimismo, para establecer la presencia y concentración de metales en el agua de lluvia de diferentes zonas de Arequipa se consideró de carácter correlacional comparativo (Arias Gonzales, 2021; Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018) ya que a su vez se comparan las concentraciones de metales en el agua de lluvia entre diferentes zonas y a lo largo del tiempo.

2.2. Técnicas e instrumentos de verificación

Se ubicaron los colectores para el muestreo del agua de lluvia en cada área habilitada para el estudio. La presencia y cuantificación de metales en las muestras de agua de lluvia se llevó a cabo mediante la técnica de análisis multielemental por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) en un laboratorio acreditado.

Se procesaron los datos obtenidos de las muestras agua de lluvia con un análisis de varianza (ANOVA) en un diseño experimental factorial (temporadas, zonas y periodos) donde se investigó todas las combinaciones posibles entre los niveles de los factores. Para determinar si existen fluctuaciones significativas entre las medias de los niveles de metales correspondientes a las diferentes estaciones de recolección (Fernández Bao, 2020). Adicionalmente, se utilizó la prueba de Tukey para identificar cuáles fueron las combinaciones de factores que generan las diferencias significativas en la concentración de los metales de interés.

2.2.1. Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)

Esta técnica analítica se empleó para identificar y cuantificar pequeñas cantidades de diversos metales en las muestras (Thomas, 2003).

El espectrómetro de masas iCAP Q está diseñado para análisis directos de muestras líquidas, la vista frontal del equipo iCAP Q MS se aprecia en Figura 13.(Thermo Fisher Scientific, 2012).

Figura 13
Equipo ICPMS

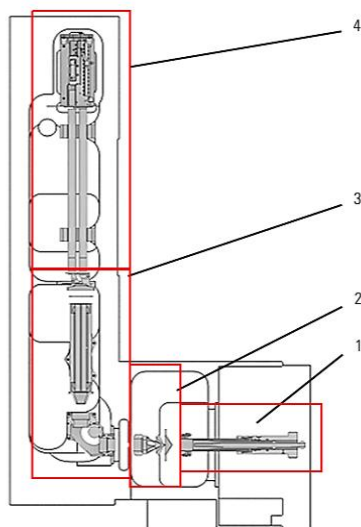


El equipo iCAP Q se divide en cuatro componentes principales(Thermo Fisher Scientific, 2012); como se aprecia en la Figura 14.

1. Introducción de muestra
2. Interfaz (generación de iones)
3. Óptica de iones (enfoque de iones)
4. Analizador de masas

Figura 14

Esquemas del equipo iCAP Q - vista frontal



Es una técnica analítica de alta precisión y sensibilidad, su funcionamiento (Thomas, 2003) se resume en los siguientes pasos:

- **Preparación de la muestra:** La muestra líquida, se convierte en un aerosol muy fino.
- **Introducción al plasma:** El aerosol se introduce en un plasma de argón, gas ionizado a muy alta temperatura (alrededor de 6000-7000 K).
- **Atomización e ionización:** Dentro del plasma, la muestra se descompone en átomos individuales y muchos de estos átomos pierden uno o más electrones, convirtiéndose en iones cargados positivamente.
- **Separación e identificación:** Los iones producidos son separados según su masa utilizando un espectrómetro de masas. Esto permite identificar qué elementos están presentes en la muestra original.
- **Detección:** Un detector cuenta el número de iones de cada tipo, lo que proporciona información sobre la cantidad de cada elemento.

Los pasos necesarios para el análisis, tales como preparación de muestra, preparación de reactivos, preparación de soluciones de estándares, preparación de materiales y/o equipos que se emplean para el desarrollo de los análisis, así como el tratamiento de datos y reporte

de resultados estuvo a cargo del laboratorio y se realizó según el método de ensayo basado en EPA 6020B (Anexo V).

2.3. Area de estudio

2.3.1. Ubicación espacial

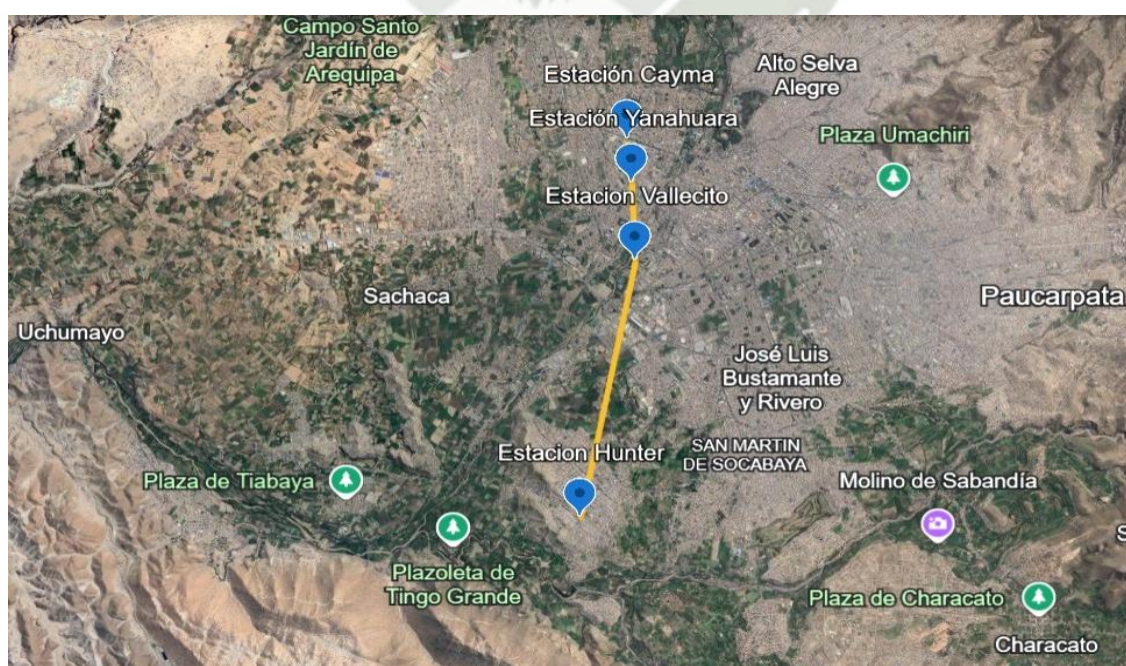
Se eligió cuatro zonas urbanas como puntos de muestreo que pertenecen al ámbito de Arequipa Metropolitana: Cayma, Yanahuara, Vallecito, J.D. Hunter. Las estaciones de muestreo se aprecian en la Figura 15.

La determinación de estos puntos fue dada con base a la observación, accesibilidad y seguridad a los puntos de muestreo, derivando en las siguientes consideraciones:

- 1) Zona urbana con actividad económica-comercial alta y alto tránsito vehicular con embotellamiento en horas pico: Cayma.
- 2) Zona urbana con actividad económica-comercial media y con alto tránsito vehicular con embotellamiento en horas pico: Yanahuara.
- 3) Zona urbana con actividad económica-comercial baja y con bajo tránsito vehicular: J. D. Hunter.
- 4) Zona urbana con actividad económica-comercial nula y con bajo tránsito vehicular: Barrio de Vallecito.

Figura 15

Estaciones de muestreo



Nota: Google earth

2.3.2. Ubicación temporal

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó en dos temporadas de lluvia:

- Temporada 2022; desde 01 de diciembre del 2021 al 30 de abril 2022 y;
- Temporada 2023; desde 01 de diciembre del 2022 al 30 de abril del 2023.

2.3.3. Población, muestra y muestreo

El agua de lluvia que cayó en cada zona: Cayma, Yanahuara, Vallecito, J.D. Hunter durante la temporada de estudio constituye la población. La población total recolectada para la temporada 2022 y 2023 fue de 192 y 432 envases respectivamente. La muestra al ser un subconjunto de la población (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018; Vizcaíno Zúñiga et al., 2023) está dada por 36 muestras correspondientes a las zonas de estudio en los periodos inicio, medio y final de cada temporada de lluvia.

El muestreo dependió de la frecuencia de las precipitaciones en cada zona durante la temporada de lluvia, así también si el volumen colectado fue suficiente para el análisis de metales en el laboratorio. El muestreo de agua de lluvia se realizó simultáneamente en las cuatro estaciones por triplicado (R1, R2, R3).

Las muestras fueron recogidas directamente usando colectores (Migliavacca et al., 2005), como se citó en (Herrera-Murillo & Rodríguez-Román, 2009) estos tienen un embudo de polietileno como boca receptora circular de 21.5 cm de diámetro. El área del colector de 363 cm² permitió recoger unos 100 mL de lluvia, o 2.75 mm de precipitación.

$$\text{Volumen} = \text{Área de captación} \times \text{altura}$$

El vástago del embudo encaja en la parte superior del envase cilíndrico de polietileno de alta densidad de capacidad 500 mL como se deja ver en la Figura 16, el encaje ayuda a disminuir la evaporación del agua que se vaya acumulando. El envase fue previamente rotulado con los códigos correspondientes de muestra y contiene ácido nítrico como preservante para garantizar la estabilidad de los analitos. Los colectores ubicados a 50 cm del nivel de suelo (Cárdenas Silva, 2014) para evitar contaminación por salpicaduras y situados una vez iniciada la precipitación hasta completar 100 mL.

Se trabajó con 3 sets de 3 colectores por cada estación de muestreo para garantizar la disponibilidad del material ante cualquier evento de lluvia desde el inicio de la temporada.

Las muestras de precipitación después de la recolección se colocaron bajo refrigeración (cooler) para su respectiva conservación y fueron trasladadas al laboratorio, donde se determinó la aptitud de la muestra (volumen mínimo requerido). En el laboratorio se almacenaron hasta que terminó la temporada de lluvia. Una vez finalizada la temporada de lluvias se estableció la muestra correspondiente a la etapa o periodo: inicio, medio y final considerando las siguientes condiciones:

- Inicio, corresponde a la primera precipitación con cantidad suficiente para el análisis.
- Medio, corresponde aproximadamente a la mitad de la temporada, de acuerdo con el siguiente calculo: se contabilizó la cantidad de días desde que inició la lluvia hasta que terminó, este número fue dividido entre dos, estableciéndose la fecha correspondiente a la mitad de la temporada y se utilizó la muestra con cantidad suficiente más cercana a esta.
- Final, corresponde a la última precipitación con cantidad suficiente para el análisis.

Las muestras así establecidas, se analizaron de acuerdo con las especificaciones del método EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (Validado - Modificado) (Validado - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. El laboratorio está acreditado por la Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL), lo que garantiza el cumplimiento de estándares y requisitos específicos de calidad y competencia técnica en sus actividades, métodos e instrumentos.

Así también, antes de iniciar el estudio, se realizó el análisis de un blanco de campo (1 set) en cada temporada y por cada estación de muestreo. Para ello se preparó en cada estación el llenado de los colectores con agua ultrapura, es decir se siguió el mismo procedimiento del muestreo para el agua de lluvia, esto para evaluar la contaminación que pudiera ocurrir en la preparación del material, durante la recolección y el transporte de las muestras. La idoneidad de los materiales de muestreo; frascos y embudos; estuvo a cargo del laboratorio.

Figura 16
Colector de agua de lluvia



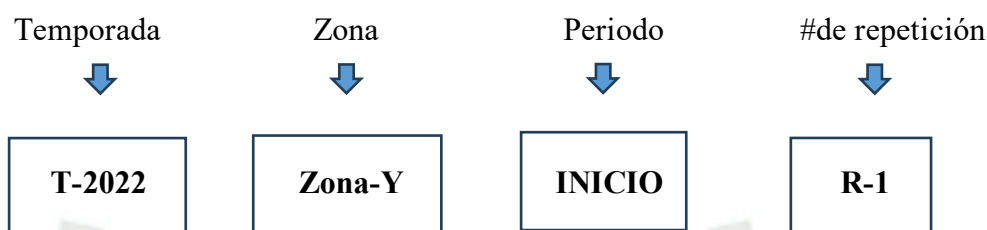
De forma general para concretar este estudio, en la Figura 17, se representa el procedimiento de recolección de datos, donde en una primera etapa, se seleccionaron estratégicamente diversos puntos de la ciudad para instalar los colectores de lluvia. Una vez instalados los colectores, se procedió a la recolección periódica de las muestras, las cuales fueron transportadas bajo condiciones controladas al laboratorio para su posterior análisis de metales.

Figura 17
Procedimiento general de recolección de datos

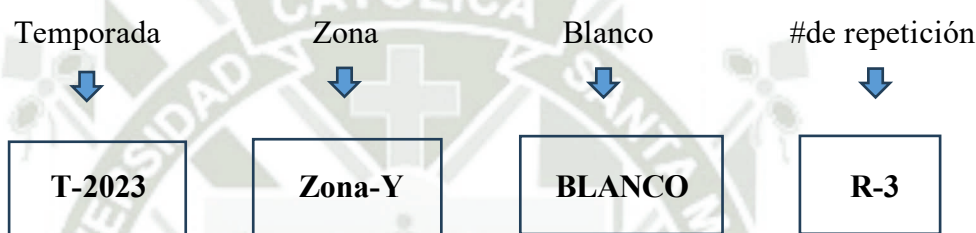


2.3.3.1. Codificación de muestras

Para la codificación de la muestra se tuvo en cuenta los factores a evaluar y el número de repetición, así, por ejemplo:



Para la codificación de los blancos:



2.3.4. Instrumento de colecta de datos

Dentro de las herramientas usadas para obtener información y poder desarrollar esta medición y cuantificación de metales encontramos:

Documental

- Revisión de estudios previos, normativa ambiental, mapas de la ciudad, entre otros, para contextualizar el estudio.

Muestreo

- Set de colectores proporcionados por el laboratorio químicamente inertes con tamaño adecuado. Cada set está compuesto de tres embudos y tres frascos.
- Soporte de embudo, para fijar los colectores al piso y mantenerlos siempre de pie.
- Google maps, para georreferenciar los puntos de muestreo.
- Etiquetas, para identificar las muestras y registrar la fecha de recolección.
- Cooler con ice pack
- Cámara fotográfica.

Análisis de muestras

- Espectrómetro de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), Modelo ICAP Q Thermo Scientific.
- Informes de ensayo con los resultados emitidos por laboratorio acreditado por INACAL.



CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Estaciones de muestreo

Se definieron cuatro áreas geográficas dentro de Arequipa metropolitana con particularidades o criterios que pueden influir en la calidad del aire y en la concentración de metales en el agua de lluvia.

Para facilitar la lectura y comprensión de los resultados, se asignaron códigos a las diferentes zonas urbanas o estaciones de muestreo definidas de Arequipa. Los códigos asignados se detallan en la Tabla 4, donde se relaciona cada código con el nombre correspondiente.

Tabla 4
Códigos de las estaciones de muestreo

ESTACIONES DE MUESTREO	CODIGO DE ESTACIÓN
Estación Cayma.	Zona-C
Estación Yanahuara	Zona-Y
Estación J. D. Hunter.	Zona-H
Estación Barrio de Vallecito.	Zona-V

Nota. Elaboración propia. En esta tabla de correspondencia cada código está relacionado con el nombre de cada zona urbana de muestreo.

Uno de los criterios de selección para establecer las estaciones de muestreo fue la accesibilidad y la capacidad de respuesta para iniciar el muestreo una vez iniciada la precipitación. Posteriormente, se definió por observación la cantidad de vehículos que transitan en cada zona e hizo una apreciación geográfica donde se identificó algunos negocios comerciales de importancia en las zonas monitoreadas.

3.2. Diagnóstico vehicular

Para esta valoración previa al estudio se empleó un cronómetro y la observación directa, se contabilizó todo tipo de vehículos: pesados, menores, privados y públicos que circularon en ambos sentidos por vías cercanas a las estaciones de muestreo, mostradas en la Tabla 5. La observación se realizó durante una semana de lunes a viernes en tres turnos por cada estación los resultados se reflejan en la Tabla 6.

Tabla 5
Vías de diagnóstico vehicular

ESTACIONES	VIAS
Zona-C	Av. Trinidad Morán
Zona-Y	Av. José Abelardo Quiñones
Zona-H	Av. Mariscal Ureta
Zona-V	Calle Malecón Chili

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6
Flujo Vehicular

Periodo de control	Vehículos por hora – Zona-C Av. Trinidad Morán							TOTAL
	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom	
9:00-10:00	2395	2296	2420	2395	3000	2100	2095	28489
	1930	1831	1500	1487	1680	1730	1630	
13:00-14:00	1692	1791	1859	1846	1742	1725	1752	23157
	1452	1550	1618	1605	1502	1505	1518	
18:00-19:00	1700	1768	1212	1488	1806	1680	1480	21400
	1540	1472	1416	1608	1650	1440	1140	
Total, vehículos	10709	10708	10025	10429	11380	10180	9615	73046

Periodo de control	Vehículos por hora – Zona--Y Av. José Abelardo Quiñones							TOTAL
	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom	
9:00-10:00	1450	1360	1320	1100	1200	1200	1130	16488
	1220	1120	1089	1069	1160	1180	890	
13:00-14:00	1169	1240	1123	1260	1236	1230	1010	15751
	1126	1050	1026	1105	1256	1100	820	
18:00-19:00	1440	1040	1059	1100	1420	1050	910	16902
	1335	1100	1250	1048	1980	1200	970	
Total, vehículos	7740	6910	6867	6682	8252	6960	5730	49141

Periodo de control	Vehículos por hora – Zona--H Av. Mariscal Ureta							TOTAL
	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom	
9:00-10:00	408	336	392	380	400	396	350	2662
13:00-14:00	456	432	440	432	462	460	460	3142
18:00-19:00	600	576	574	586	594	720	405	4055
Total, vehículos	1464	1344	1406	1398	1456	1576	1215	9859

Periodo de control	Vehículos por hora – Zona--V Calle Malecón Chili							TOTAL
	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Dom	
9:00-10:00	372	365	368	360	376	370	360	2571
13:00-14:00	550	536	520	556	560	616	612	3950
18:00-19:00	586	606	520	588	610	627	652	4189
Total, vehículos	1508	1507	1408	1504	1546	1613	1624	10710

Nota. Elaboración propia

3.3. Nivel de actividad económica comercial y disposición geográfica

Para cada estación urbana: Zona-V, Zona-Y, Zona-C y Zona-H, como se aprecia en de la Figura 18 a la Figura 21 en un radio de 200 m (Ministerio del Ambiente., 2019) se exploró el entorno evaluando la presencia de negocios, actividad comercial; la disposición geográfica de estas, así como la presencia de ecosistemas naturales, resumidos en la Tabla 7.

Tabla 7

Resumen actividades en las zonas de estudio

UBICACIÓN	ACTIVIDADES DE LA ZONA			
	Zona-V	Zona-H	Zona-Y	Zona-C
NORTE	Casas	Casas y Comercios	Grifo Primax, Parque del Avión, Casas, Interbank, BBVA y Comercios	ScotiaBank, El Tablón, Comercios
SUR	Casas, tienda	Casas y Comercios	Casas y Comercios	Casas, Comercios, Clínica Braganini
ESTE	Casas	Estadio Juan Velasco Alvarado y casas	Hospital Yanahuara, Casas, Restaurantes, Laboratorio BHIOS, Farmacias y Comercios	Centro Comercial Cayma, BCP, Interbank, Mall Plaza, Restaurantes, Comercios, Edificio El Peral
OESTE	Malecón Río Chili y Chacras	Losa deportiva, casas y comercios zona árida y accidentada	Ovalo Quiñones, Colegio Internacional, BCP, Casas, Restaurantes y Comercios	Casas, Real Plaza, Comercios

Nota. Elaboración propia.

Después de esta evaluación quedaron definidas las zonas por las siguientes características:

Zona-V: Zona urbana con actividad económica-comercial nula y con bajo tránsito vehicular.

Zona-H: Zona urbana con actividad económica-comercial baja y con bajo tránsito vehicular.

Zona-Y: Zona urbana con actividad económica-comercial media y con alto tránsito vehicular con embotellamiento en horas pico.

Zona-C: Zona urbana con actividad económica-comercial alta y alto tránsito vehicular con embotellamiento en horas pico.

Figura 18

Disposición geográfica y actividad comercial (Zona-V)



WGS 84: -16.40998774016274, -71.54657431490197

Nota. Zona urbana con actividad económica-comercial nula, casas, río Chili y chacras

Figura 19

Disposición geográfica y actividad comercial (Zona -Y)



Nota. Zona urbana con actividad económica-comercial media

Figura 20

Disposición geográfica y actividad comercial (Zona-H)



Nota. Zona urbana con actividad económica-comercial baja, casas, micro comercios, estadio, loza deportiva, zona árida y accidentada.

Figura 21

Disposición geográfica y actividad comercial (Zona-C)



Nota. Zona urbana con actividad económica-comercial alta, casas, macro comercios, clínicas, bancos.

3.4. Concentración de metales en agua de lluvia

Se analizó un blanco de campo (1 set) por cada estación de muestreo, 12 blancos en total por temporada. El muestreo se realizó días antes del inicio de cada temporada y se encontró que todos los metales estaban por debajo del límite de detección del método, esto se aprecia en el Anexo II, confirmando la idoneidad de los materiales y del proceso de muestreo realizado.

Para determinar el nivel de concentración de metales en el agua de lluvia como indicador de la calidad del aire en cuatro zonas urbanas de Arequipa durante la temporada de lluvias 2022 y 2023, se realizó la determinación multielemental para 35 metales detectables por ICP- MS en un total de 72 muestras. Las muestras fueron agrupadas como se observa en la Tabla 8 por temporada de lluvia: 2022 y 2023, por zona: zona-Y, zona-C, zona-H y zona-V, por periodos: inicio, medio, final de cada temporada y se realizó por triplicado: R1, R2, R3.

Tabla 8
Distribución de muestras

Temporada	Zonas	Periodo	Repeticiones	Muestras analizadas
2022	4	3	3	36
2023	4	3	3	36
Total, de muestras analizadas				72

Nota. Zonas: Y, C, H, V. Periodos: Inicio, medio, final. Repeticiones: R1, R2, R3.

Para el total de muestras (72), los resultados obtenidos indicaron la presencia de 29 metales cuantificables como: plata, aluminio, arsénico, boro, bario, calcio, cadmio, cerio, cobalto, cromo, cobre, hierro, potasio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fosforo, plomo, antimonio, selenio, silicio, estaño, estroncio, titanio, vanadio, zinc. Dentro del grupo de metales analizados en el agua de lluvia no se detectaron en las muestras analizadas: berilio, bismuto, cesio, mercurio, talio y uranio (Anexo VI). Estos resultados indican la existencia de metales en el agua de lluvia por consiguiente el aire se encuentra comprometido por la presencia de estos.

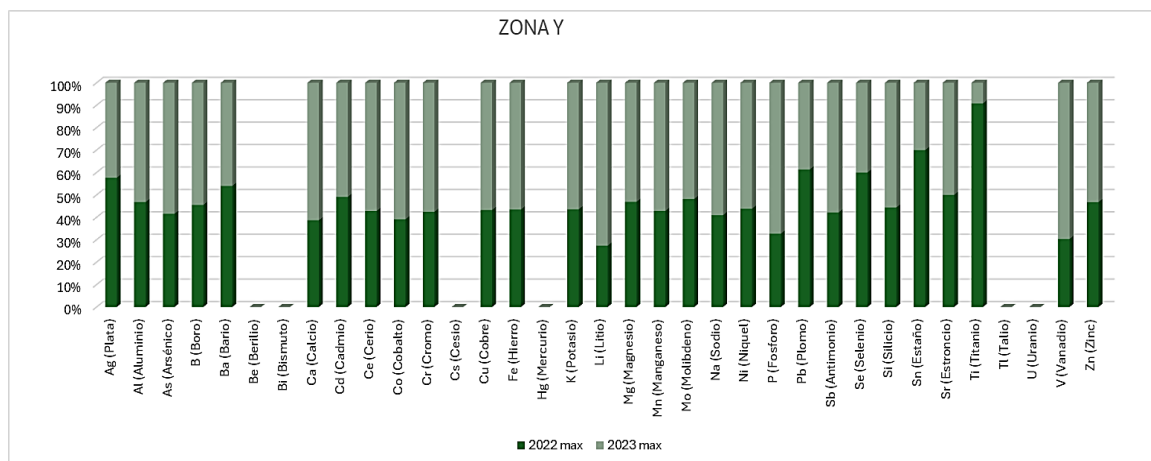
Los resultados obtenidos se consolidan en las tablas de valores máximos y mínimos cuantificables de los metales analizados en el agua de lluvia para la temporada 2022 y 2023. por cada zona, ver Tabla 9 y Tabla 10 respectivamente. Los valores máximos y mínimos para cada metal muestran una gran variabilidad entre las diferentes zonas y, en algunos casos, incluso dentro de la misma zona en la temporada 2022. Así se tiene que el nivel cuantificable más alto entre las muestras analizadas fue 0.00084 mg/L Ag, 0.68 mg/L Al, 0.00107 mg/L As, 0.0323 mg/L B, 0.0118 mg/L Ba, 3.435 mg/L Ca, 0.00033 mg/L Cd, 0.00023 mg/L Ce, 0.00027 mg/L Co, 0.00031 mg/L Cr, 0.039 mg/L Cu, 0.555 mg/L Fe, 1.272 mg/L K, 0.00072 mg/L Li, 1.193 mg/L Mg, 0.0289 mg/L Mn, 0.00027 mg/L Mo, 4.842 mg/L Na, 0.00250 mg/L Ni, 0.129 mg/L P, 0.0081 mg/L Pb, 0.00039 mg/L Sb, 0.0014mg/L Se, 1.764 mg/L Si, 0.00025 mg/L Sn, 0.0028 mg/L Sr, 0.0188 mg/L Ti, 0.0022 mg/L V, 0.084 mg/L Zn.

La Figura 22 a la Figura 25 muestran las concentraciones de metales en el agua de lluvia, obtenida de cuatro zonas urbanas durante ambas temporadas. Estos gráficos resaltan las proporciones relativas de los metales, en lugar de sus valores absolutos. Al normalizar cada par de barras a una escala del 0 al 100% de la concentración total de metales, se facilita la comparación visual, permitiendo identificar rápidamente la importancia de la concentración máxima de cada metal en su contexto y a lo largo del tiempo, sin vernos abrumados por las

grandes diferencias en las magnitudes absolutas de las concentraciones entre los distintos elementos químicos.

Figura 22

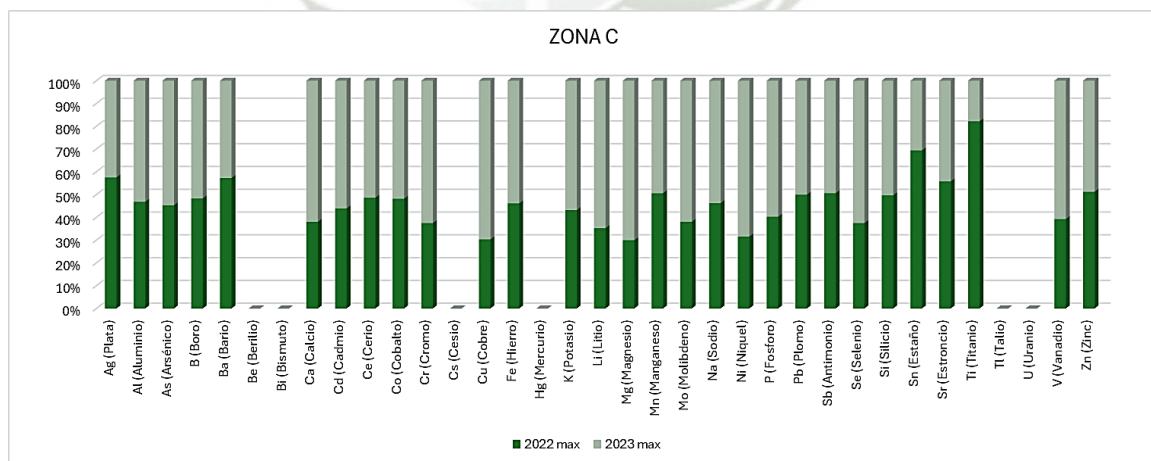
Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-Y (2022-2023)



Nota. Concentración máxima relativa de metales en agua de lluvia en la Zona-Y por temporada (2022: verde oscuro; 2023: verde claro). La altura de cada barra representa el 100% de la concentración máxima individual.

Figura 23

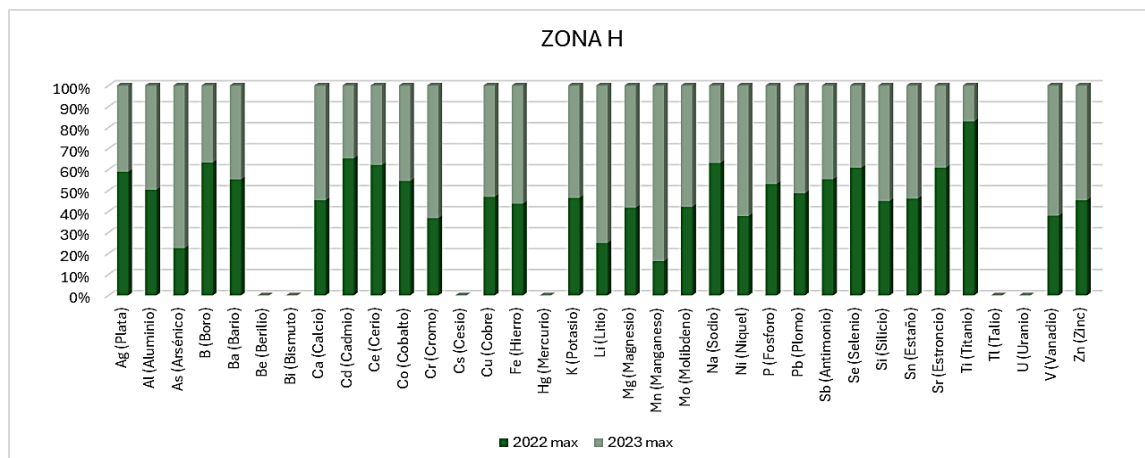
Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-C (2022-2023)



Nota. Concentración máxima relativa de metales en agua de lluvia en la Zona-C por temporada (2022: verde oscuro; 2023: verde claro). La altura de cada barra representa el 100% de la concentración máxima individual.

Figura 24

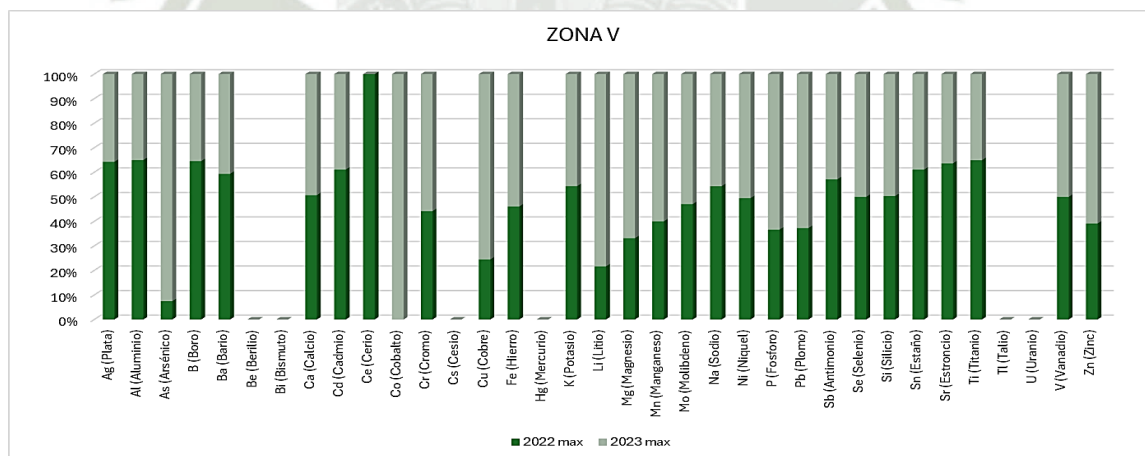
Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-H (2022-2023)



Nota. Concentración máxima relativa de metales en agua de lluvia en la Zona-H por temporada (2022: verde oscuro; 2023: verde claro). La altura de cada barra representa el 100% de la concentración máxima individual.

Figura 25

Distribución Porcentual Relativa de Metales en Agua de Lluvia en la Zona-V (2022-2023)



Nota. Concentración máxima relativa de metales en agua de lluvia en la Zona-V por temporada (2022: verde oscuro; 2023: verde claro). La altura de cada barra representa el 100% de la concentración máxima individual.

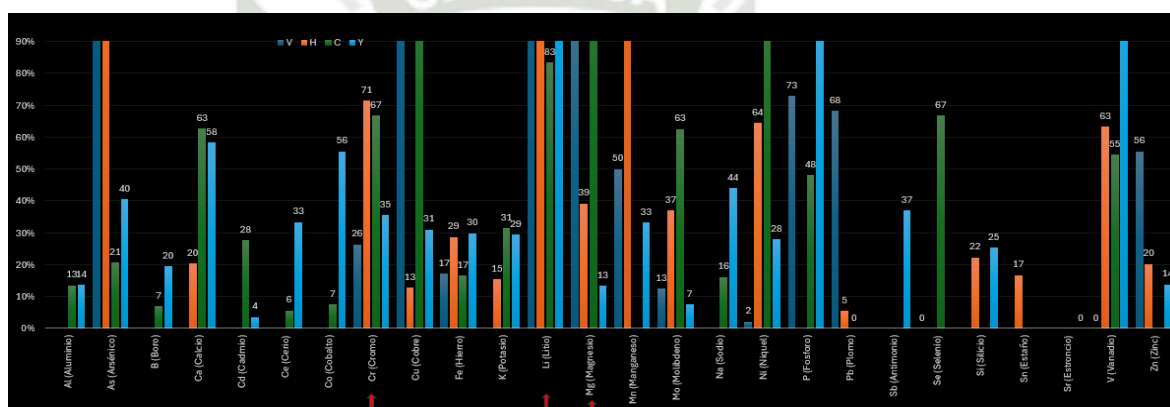
Así también, un análisis de la evolución porcentual de las concentraciones de metales en el agua de lluvia, comparando los años 2022 y 2023 en las distintas zonas urbanas, reveló una marcada heterogeneidad de tendencias, es decir, los cambios observados no siguieron

un patrón uniforme de aumento o disminución para todos los elementos. Este comportamiento complejo se ilustra en la Figura 26 y Figura 27.

Entre 2022 y 2023, las concentraciones de varios metales fluctuaron en más de un 50%, lo que sugiere cambios importantes en el entorno o sus emisiones. Este hecho demuestra que la deposición atmosférica de metales no es uniforme, con algunos elementos mostrando incrementos como litio, cromo y magnesio, a la vez que plata, cadmio y estroncio mostraron decrementos en las zonas urbanas, lo que sugiere la acción de mecanismos de dispersión particulares para cada elemento.

Figura 26

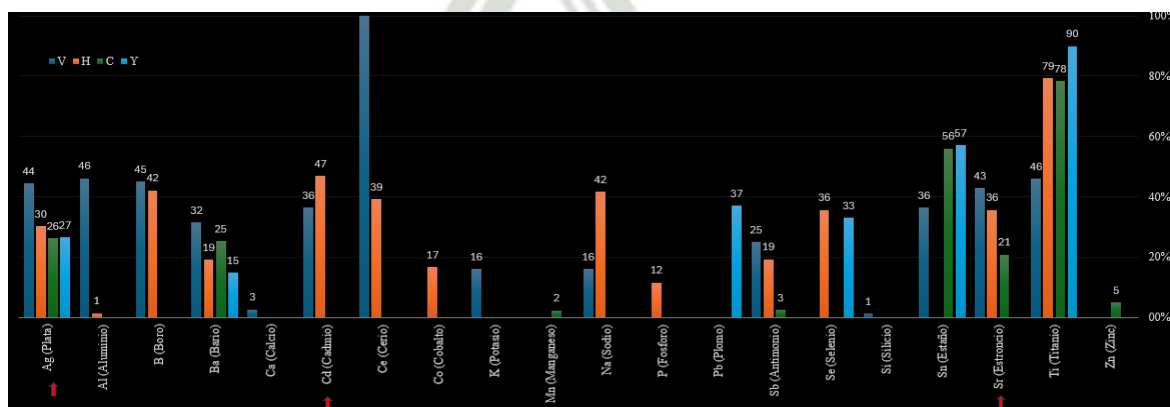
Porcentaje de incremento de metales en agua de lluvia (2022-2023) por zona



Nota. Las barras representan el aumento porcentual de 2023 con respecto a 2022; un valor de 0% o la ausencia de barra indica la falta de incremento.

Figura 27

Porcentaje de disminución de metales en agua de lluvia (2022-2023) por zona



Nota. Un valor positivo indica una reducción en la concentración media de 2023 respecto a 2022. La ausencia de una barra indica que la concentración del metal aumentó.

Tabla 9
Valores máximos y mínimos cuantificables de los metales - 2022

Metales	Temporada 2022 Zona - Y		Temporada 2022 Zona - C		Temporada 2022 Zona - H		Temporada 2022 Zona - V	
	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min
Ag (Plata)	0.00079	0.00005	0.00084	0.00005	0.00033	0.00005	0.00009	0.00006
Al (Aluminio)	0.59	0.01	0.67	0.07	0.68	0.11	0.26	0.02
As (Arsénico)	0.00084	0.00002	0.00107	0.00004	0.00016	0.00003	0.00003	0.00002
B (Boro)	0.133	0.038	0.188	0.043	0.323	0.141	0.051	0.018
Ba (Bario)	0.0101	0.0004	0.0118	0.0005	0.0089	0.0004	0.0019	0.0009
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	3.435	1.433	3.047	1.769	5.718	2.692	2.742	1.469
Cd (Cadmio)	0.00028	0.00001	0.00029	0.00012	0.00081	0.00033	0.00022	0.00007
Ce (Cerio)	0.00018	0.00005	0.00018	0.00008	0.00023	0.00003	0.00005	0.00002
Co (Cobalto)	0.00018	0.00004	0.00027	0.00008	0.00018	0.00005	N.D.	N.D.
Cr (Cromo)	0.00031	0.00005	0.00021	0.00005	0.00028	0.00006	0.00019	0.00005
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.029	0.004	0.017	0.004	0.039	0.012	0.012	0.002
Fe (Hierro)	0.442	0.156	0.541	0.212	0.555	0.186	0.269	0.123
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	1.272	0.412	0.985	0.524	0.745	0.132	0.699	0.288
Li (Litio)	0.00055	0.00008	0.00072	0.00008	0.00049	0.00009	0.00021	0.00008
Mg (Magnesio)	1.193	0.223	0.619	0.177	0.718	0.222	0.338	0.154
Mn (Manganeso)	0.0256	0.0002	0.0289	0.0033	0.0028	0.0003	0.0018	0.0004
Mo (Molibdeno)	0.00027	0.00015	0.00016	0.00010	0.00027	0.00014	0.00016	0.00011
Na (Sodio)	1.976	1.185	1.652	1.231	4.842	1.644	1.861	1.316
Ni (Níquel)	0.00250	0.00071	0.00129	0.00029	0.00211	0.00012	0.00189	0.00037
P (Fosforo)	0.090	0.022	0.104	0.079	0.129	0.029	0.059	0.024
Pb (Plomo)	0.0081	0.0004	0.0058	0.0011	0.0037	0.0006	0.0022	0.0009
Sb (Antimonio)	0.00027	0.00011	0.00039	0.00015	0.00031	0.00012	0.00028	0.00011
Se (Selenio)	0.0009	0.0004	0.0006	0.0001	0.0014	0.0011	0.0010	0.0003
Si (Silicio)	1.491	0.459	1.674	0.450	1.764	0.346	0.890	0.343
Sn (Estaño)	0.00021	0.00005	0.00025	0.00005	0.00018	0.00005	0.00011	0.00006
Sr (Estroncio)	0.0019	0.0005	0.0024	0.0005	0.0028	0.0012	0.0021	0.0004
Ti (Titanio)	0.0188	0.0098	0.0148	0.0092	0.0092	0.0019	0.0050	0.0043
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0017	0.0006	0.0022	0.0005	0.0019	0.0007	0.0019	0.0004
Zn (Zinc)	0.051	0.011	0.061	0.013	0.084	0.018	0.036	0.008

Nota. Cantidades expresadas en mg/L, N.D. No detectable

Tabla 10
Valores máximos y mínimos cuantificables de los metales - 2023

Metales	Temporada 2023 Zona - Y		Temporada 2023 Zona - C		Temporada 2023 Zona - H		Temporada 2023 Zona - V	
	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min
Ag (Plata)	0.00058	0.00005	0.00062	0.00005	0.00023	0.00005	0.00005	0.00005
Al (Aluminio)	0.67	0.04	0.76	0.11	0.67	0.35	0.14	0.02
As (Arsénico)	0.00118	0.00019	0.00129	0.00012	0.00055	0.00004	0.00037	0.00002
B (Boro)	0.159	0.067	0.201	0.019	0.187	0.027	0.028	0.008
Ba (Bario)	0.0086	0.0005	0.0088	0.0014	0.0072	0.0043	0.0013	0.0004
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	5.438	1.186	4.955	1.525	6.881	3.011	2.668	1.242
Cd (Cadmio)	0.00029	0.00006	0.00037	0.00005	0.00043	0.00002	0.00014	0.00005
Ce (Cerio)	0.00024	0.00011	0.00019	0.00005	0.00014	0.00001	0.00000	0.00000
Co (Cobalto)	0.00028	0.00003	0.00029	0.00004	0.00015	0.00008	0.00012	0.00008
Cr (Cromo)	0.00042	0.00006	0.00035	0.00005	0.00048	0.00027	0.00024	0.00006
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.038	0.012	0.039	0.004	0.044	0.018	0.037	0.001
Fe (Hierro)	0.574	0.055	0.631	0.072	0.714	0.254	0.315	0.098
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	1.645	0.188	1.294	0.169	0.859	0.140	0.587	0.158
Li (Litio)	0.00146	0.00009	0.00132	0.00020	0.00147	0.00074	0.00076	0.00009
Mg (Magnesio)	1.351	0.282	1.445	0.191	0.999	0.160	0.682	0.111
Mn (Manganeso)	0.0341	0.0096	0.0282	0.0031	0.0143	0.0047	0.0027	0.0007
Mo (Molibdeno)	0.00029	0.00011	0.00026	0.00011	0.00037	0.00012	0.00018	0.00008
Na (Sodio)	2.844	0.261	1.918	0.322	2.824	1.726	1.563	0.652
Ni (Níquel)	0.00320	0.00118	0.00279	0.00052	0.00347	0.00138	0.00193	0.00092
P (Fosforo)	0.185	0.025	0.154	0.024	0.114	0.072	0.102	0.036
Pb (Plomo)	0.0051	0.0003	0.0058	0.0006	0.0039	0.0008	0.0037	0.0025
Sb (Antimonio)	0.00037	0.00011	0.00038	0.00012	0.00025	0.00010	0.00021	0.00015
Se (Selenio)	0.0006	0.0002	0.0010	0.0002	0.0009	0.0004	0.0010	0.0002
Si (Silicio)	1.867	0.747	1.695	0.691	2.157	1.124	0.878	0.451
Sn (Estaño)	0.00009	0.00005	0.00011	0.00008	0.00021	0.00012	0.00007	0.00005
Sr (Estroncio)	0.0019	0.0009	0.0019	0.0011	0.0018	0.0004	0.0012	0.0008
Ti (Titanio)	0.0019	0.0005	0.0032	0.0003	0.0019	0.0003	0.0027	0.0022
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0039	0.0005	0.0034	0.0005	0.0031	0.0019	0.0019	0.0007
Zn (Zinc)	0.058	0.011	0.058	0.008	0.101	0.009	0.056	0.011

Nota. Cantidades expresadas en mg/L, N.D. No detectable

Al igual que en la temporada anterior, en la temporada 2023, se detectó una amplia variedad de metales en el agua de lluvia, lo que confirmó la persistente presencia metálica en las zonas estudiadas.

Así se tiene que el nivel cuantificable más alto entre las muestras analizadas fue 0.00062 mg/L Ag, 0.76 mg/L Al, 0.00129 mg/L As, 0.0323 mg/L B, 0.0088 mg/L Ba, 5.438 mg/L Ca, 0.00043 mg/L Cd, 0.00081 mg/L Ce, 0.00029 mg/L Co, 0.00048 mg/L Cr, 0.044 mg/L Cu, 0.714 mg/L Fe, 1.645 mg/L K, 0.00147 mg/L Li, 1.351 mg/L Mg, 0.0341 mg/L Mn, 0.00037 mg/L Mo, 2.844 mg/L Na, 0.00347 mg/L Ni, 0.185 mg/L P, 0.0058 mg/L Pb, 0.00038 mg/L Sb, 0.0010 mg/L Se, 2.157 mg/L Si, 0.00021 mg/L Sn, 0.0019 mg/L Sr, 0.0032 mg/L Ti, 0.0039 mg/L V, 0.101 mg/L Zn.

3.5. Metales de interés ambiental presentes en el agua de lluvia

Teniendo en cuenta los objetivos específicos del estudio, centrados en cuantificar y comparar los niveles de metales en el agua de lluvia de diferentes zonas urbanas a lo largo de la temporada de lluvias, se priorizó y realizó el análisis estadístico a doce metales, los que denominaremos metales de interés.

La identificación y elección de metales de interés se realizó considerando su mención y relevancia en algunas de las investigaciones previas a este estudio sobre contaminación atmosférica, estos son: aluminio, arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, vanadio, zinc.

Para evaluar la influencia de los factores establecidos: temporada de lluvia, zona y periodo de lluvia en las concentraciones de cada metal de interés en el agua de lluvia se realizó un análisis de varianza de tres vías (ANOVA). Este diseño experimental nos permitió analizar los efectos aislados de cada factor (temporada, zona y periodo) sobre la concentración de cada metal de interés y sus posibles interacciones entre estos factores.

Con el fin de identificar las combinaciones de factores que produjeron diferencias significativas en la concentración de los metales de interés, se aplicó la prueba de Tukey HSD (diferencia honestamente significativa) para comparaciones múltiples post hoc, después de un análisis de varianza, estableciendo un nivel de confianza del 95%.

3.5.1. Aluminio

Las partículas de aluminio en el aire se depositan en la tierra o son arrastradas por la lluvia (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para aluminio ha confirmado que la concentración de aluminio en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar

diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el aluminio:

Tabla 11

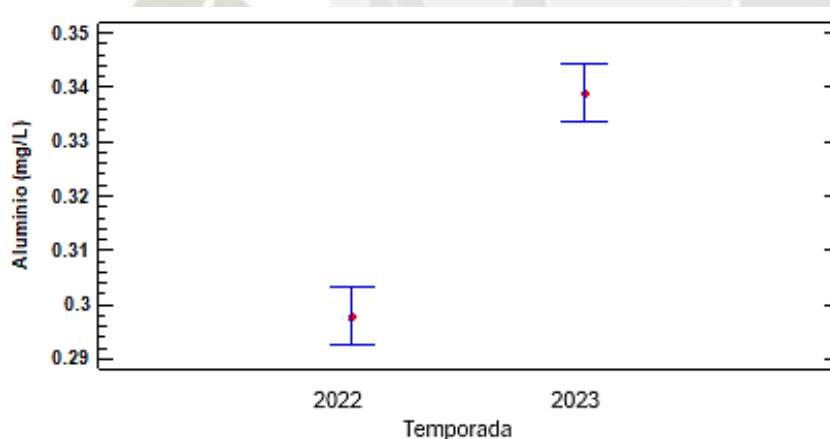
Pruebas de Múltiples Rangos para Aluminio por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.30	0.00373841	a
2023	36	0.34	0.00373841	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD. Los valores de "Media LS" y "Sigma LS" representan las medias y desviaciones estándar de los mínimos cuadrados, respectivamente y los "Grupos Homogéneos" indican las diferencias significativas.

Gráfico 1

Comparación niveles de Aluminio por “temporadas”

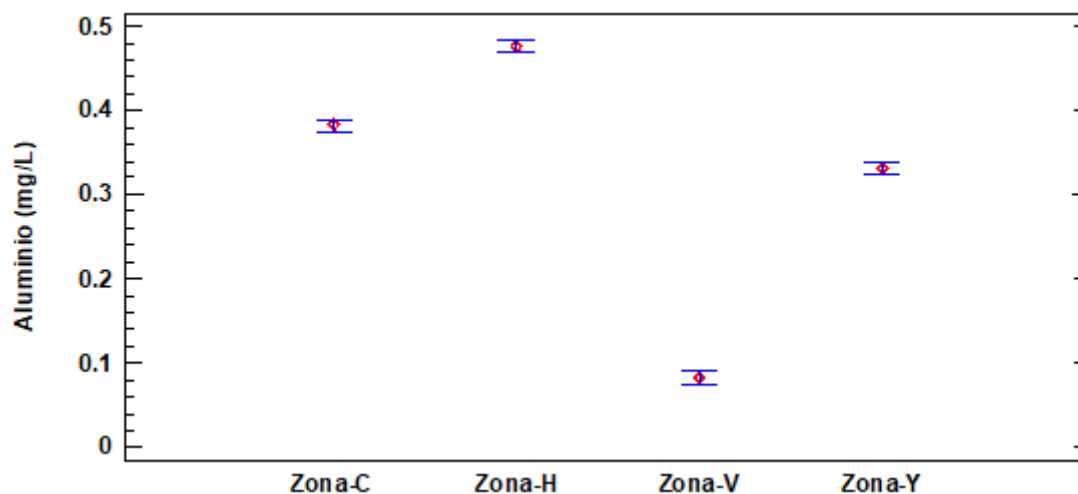


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD. Se muestran los resultados del análisis de niveles (mg/L). Las barras de error representan el intervalo de confianza para las medias de los niveles analizados.

Tabla 12
Pruebas de Múltiples Rangos para Aluminio por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.08	0.00528691	a
Zona-Y	18	0.33	0.00528691	b
Zona-C	18	0.38	0.00528691	c
Zona-H	18	0.48	0.00528691	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 2
Comparación niveles de Aluminio por “Zonas de Estudio”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

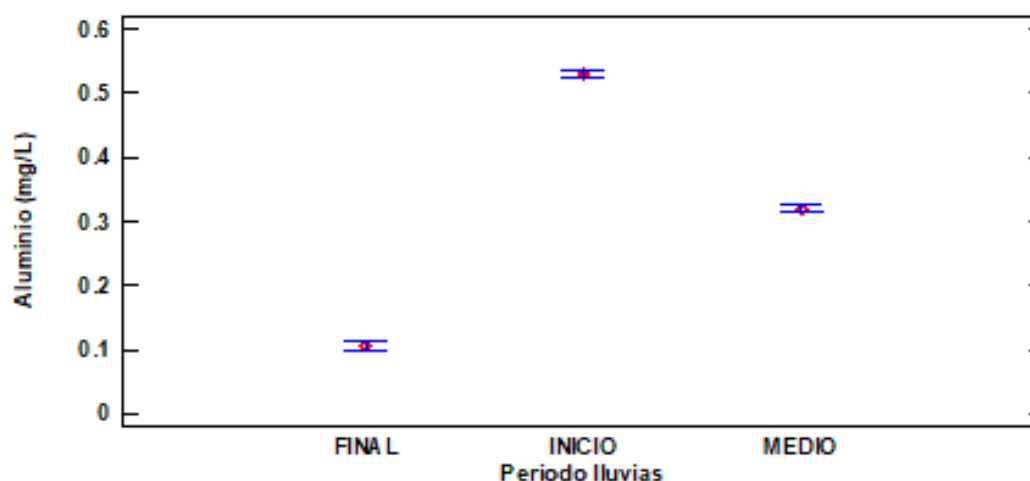
Tabla 13
Pruebas de Múltiples Rangos para Aluminio por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.11	0.0045786	a
MEDIO	24	0.32	0.0045786	b
INICIO	24	0.53	0.0045786	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 3

Comparación de niveles de Aluminio por “Periodo de las lluvias”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

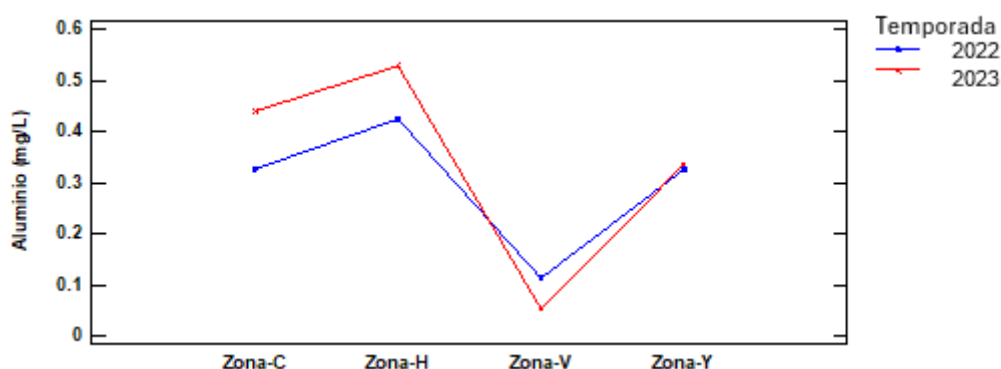
Para el factor “Temporada”, en la del 2023 se alcanzan los mayores promedios para los niveles de aluminio con un valor de 0.34 mg/L, y en la del 2022 el valor disminuye a 0.30 mg/L tal como se muestra en la Tabla 11 y Gráfico 1. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontró diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la “Zona-H” presentó el promedio más alto en los niveles de aluminio, con un valor de 0.48 mg/L y la “Zona-V” que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.08 mg/L, adicionalmente en la “Zona-Y” y “Zona-C” los promedios estuvieron alrededor de 0.33 mg/L y 0.38 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 12 y Gráfico 2.

En cuanto a los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de aluminio para el factor “Periodo de las lluvias”, es evidente que los niveles de aluminio al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.53 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.32 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.11 mg/L tal como se muestra en la Tabla 13 y Gráfico 3.

Gráfico 4

Interacción de niveles de Aluminio según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

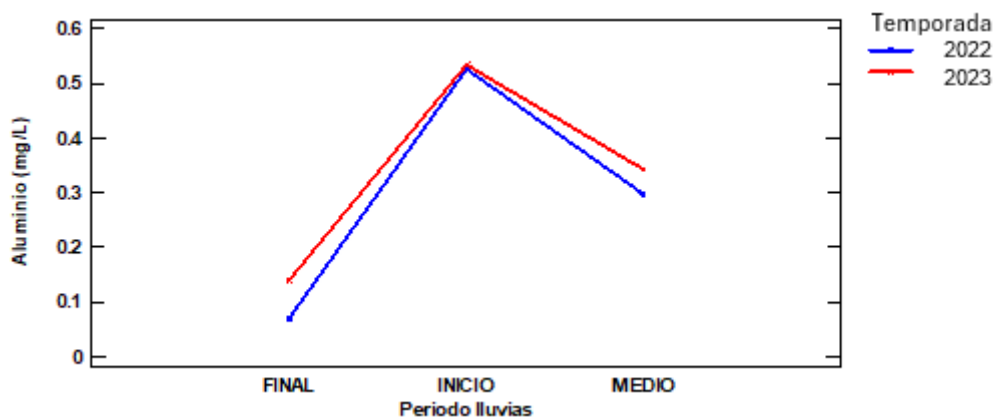


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 4, se muestra la interacción para los niveles de aluminio entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-C” y “Zona-H” los niveles de aluminio son más altos que en la “Zona-V” y “Zona-Y”.

Gráfico 5

Interacción de niveles de Aluminio según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

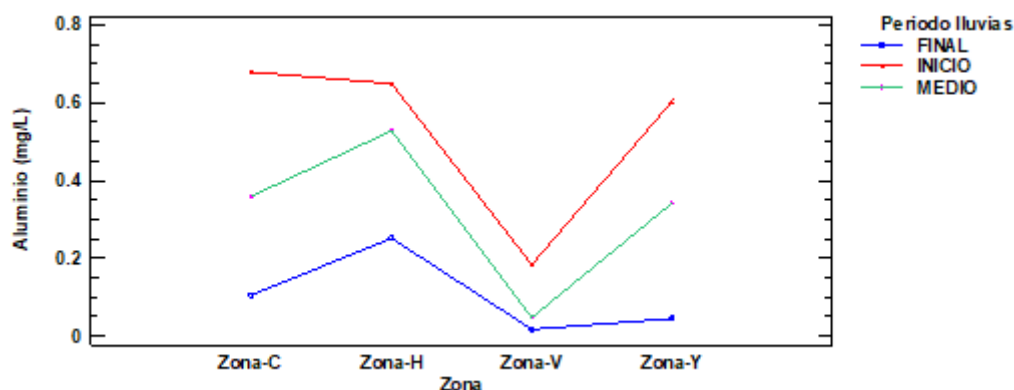


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 5, se muestra la interacción de los niveles de aluminio entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de aluminio para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 6

Interacción de niveles de Aluminio según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 6, se muestra la interacción de los niveles de aluminio entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-C” y “Zona-H” los niveles de aluminio son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y volverse a incrementar en la “Zona-Y”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de aluminio se mantienen bajos.

3.5.2. Arsénico

El arsénico circula continuamente entre el suelo, el aire y el agua, siendo el agua de lluvia fuente de su transporte y liberación. Debido a su alta movilidad y persistencia en el medio ambiente, el arsénico representa una amenaza importante para la calidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

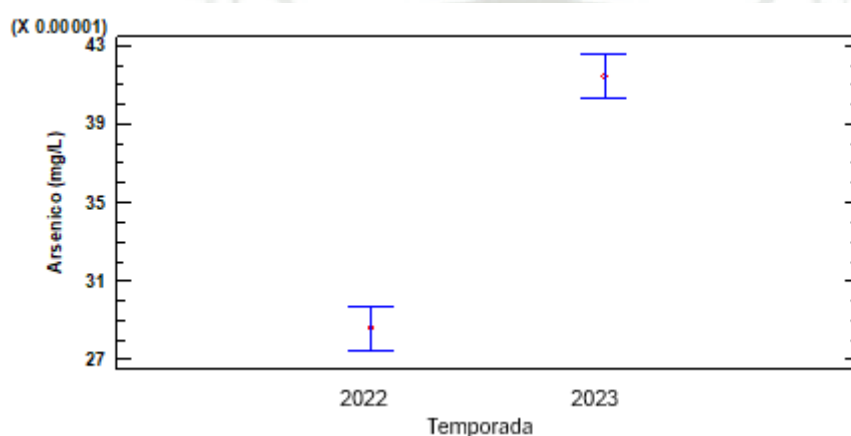
El análisis de varianza (véase Anexo IX) para arsénico ha confirmado que la concentración de arsénico en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el arsénico:

Tabla 14
Pruebas de Múltiples Rangos para Arsénico por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.00029	5.64169E-06	a
2023	36	0.00041	5.64169E-06	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 7
Comparación niveles de Arsénico por “Temporadas”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

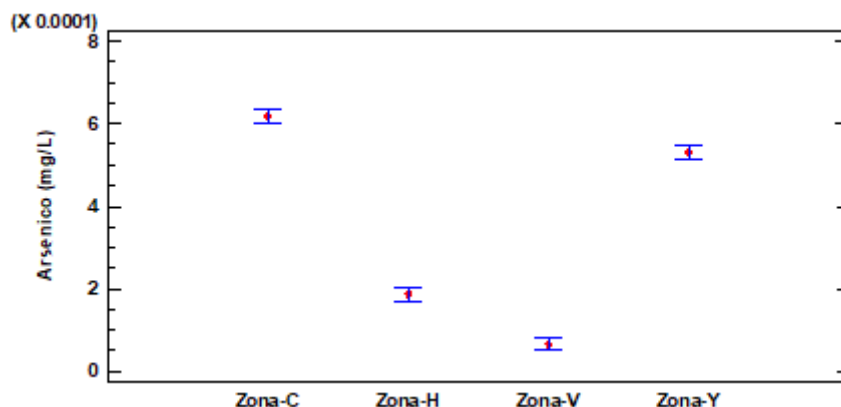
Tabla 15
Pruebas de Múltiples Rangos para Arsénico por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.00007	7.97856E-06	a
Zona-H	18	0.00019	7.97856E-06	b
Zona-Y	18	0.00053	7.97856E-06	c
Zona-C	18	0.00062	7.97856E-06	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 8

Comparación niveles de Arsénico por “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 16

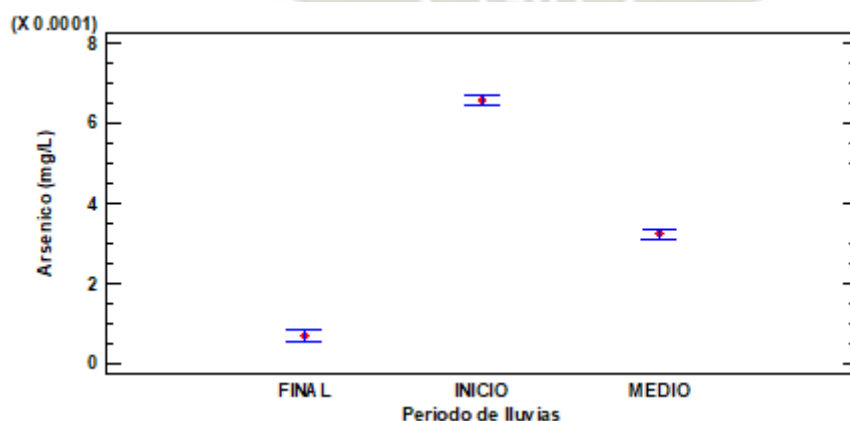
Pruebas de Múltiples Rangos para Arsénico por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.00007	6.90963E-06	a
MEDIO	24	0.00032	6.90963E-06	b
INICIO	24	0.00066	6.90963E-06	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 9

Comparación de niveles de Arsénico por “Periodo de las lluvias”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

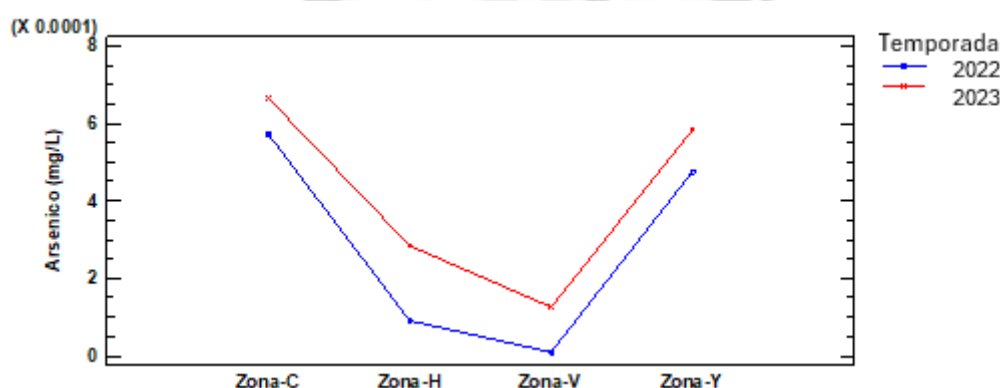
Para el factor “Temporada”, en el 2023 se alcanzan los mayores promedios para los niveles de arsénico con un valor de 0.00041 mg/L, y en la temporada 2022 el valor disminuye a 0.00029 mg/L tal como se muestra en la Tabla 14 y Gráfico 7. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontró diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la “Zona-C” se presentó el promedio más alto en los niveles de arsénico, con un valor de 0.00062 mg/L y la “Zona-V” es la que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.00007 mg/L, adicionalmente en la “Zona-Y” y “Zona-H” los promedios estuvieron alrededor de 0.00053 mg/L y 0.00019 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 15 y Gráfico 8.

De acuerdo a los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de arsénico para el factor “Periodo de las lluvias”, se aprecia de manera clara y contundentemente que los niveles de arsénico al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.00066 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.00032 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.00007 mg/L tal como se muestra en la Tabla 16 y Gráfico 9.

Gráfico 10

Interacción de niveles de Arsénico según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

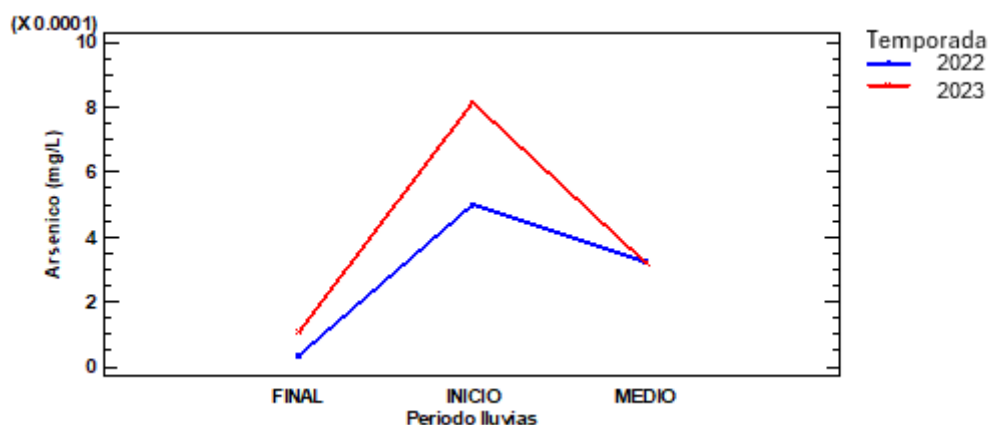


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 10, se muestra la interacción para los niveles de arsénico entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-C” y “Zona-Y” los niveles de arsénico son más altos que en la “Zona-V” y “Zona-H”.

Gráfico 11

Interacción de niveles de Arsénico según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

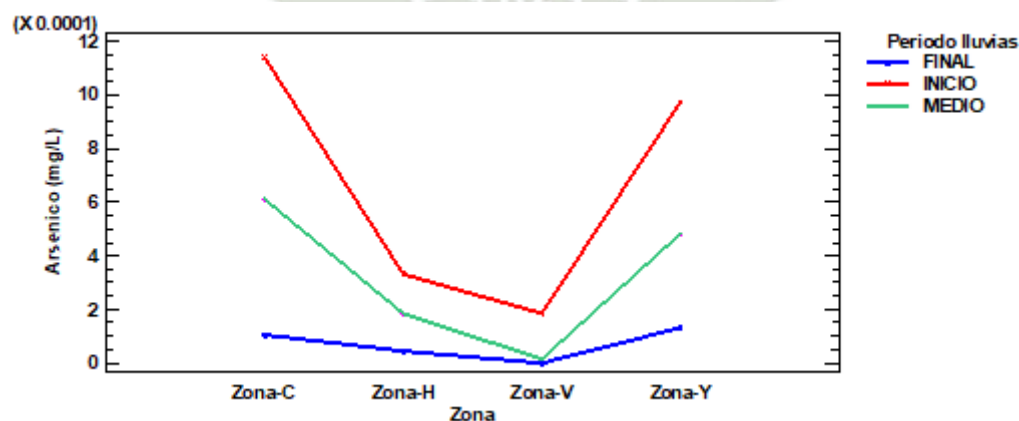


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 11, se muestra la interacción de los niveles de arsénico entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de arsénico para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 12

Interacción de niveles de Arsénico según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 12, se muestra la interacción de los niveles de arsénico entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-C” y “Zona-Y” los niveles de arsénico son los más elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y volverse a incrementar en la “Zona-H”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de arsénico se mantienen bajos.

3.5.3. Cadmio

Las partículas de cadmio, contaminante persistente, se dispersan en el aire y se depositan en suelos y agua, generando preocupación ambiental y sanitaria por su movilidad y persistencia en el ambiente. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023)

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para cadmio ha confirmado que los factores zona y periodo de lluvias, así como todas las interacciones entre los factores, tuvieron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre las concentraciones de cadmio. Sin embargo, el factor temporada (p-valor :0.1981) no mostró diferencias significativas, es decir, las concentraciones de cadmio parecen ser similares en ambas temporadas. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el cadmio:

Tabla 17

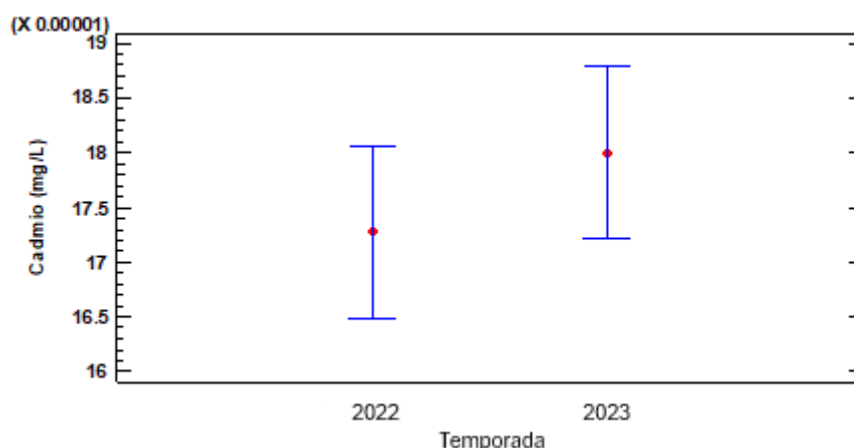
Pruebas de Múltiples Rangos para Cadmio por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.00017	3.91361E-06	a
2023	36	0.00018	3.91361E-06	a

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 13

Comparación niveles de Cadmio por “Temporadas”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 18

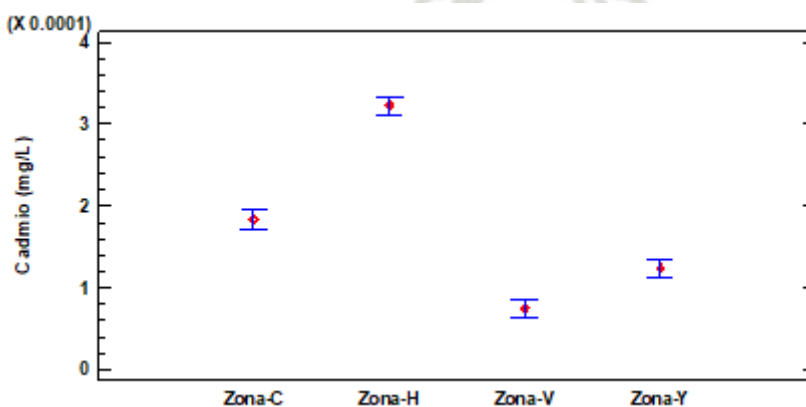
Pruebas de Múltiples Rangos para Cadmio por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.00008	5.53468E-06	a
Zona-Y	18	0.00012	5.53468E-06	b
Zona-C	18	0.00018	5.53468E-06	c
Zona-H	18	0.00032	5.53468E-06	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 14

Comparación niveles de Cadmio por “Zonas de Estudio”

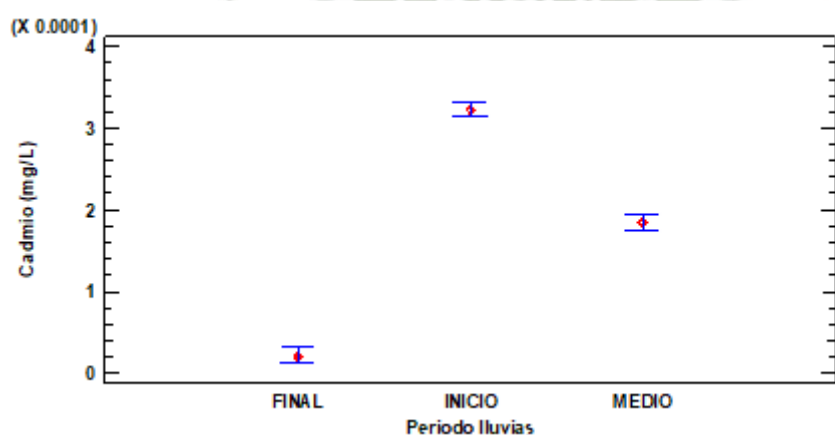


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 19
Pruebas de Múltiples Rangos para Cadmio por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.00002	4.79318E-06	a
MEDIO	24	0.00018	4.79318E-06	b
INICIO	24	0.00032	4.79318E-06	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 15
Comparación de niveles de Cadmio por “Periodo de las lluvias”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

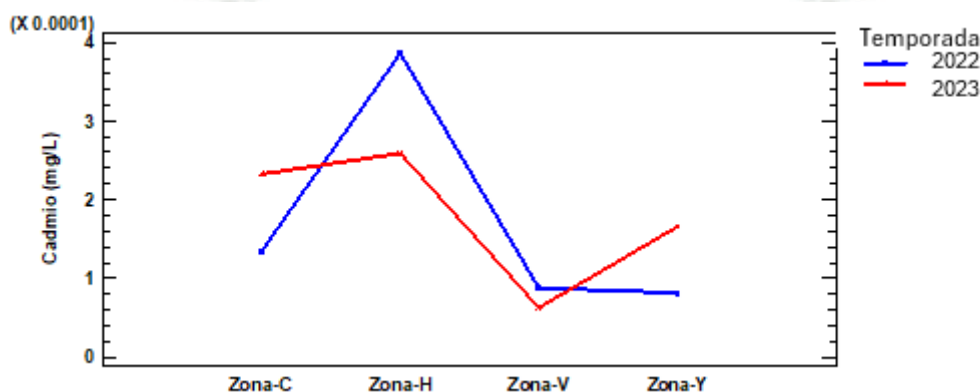
Para el factor “Temporada”, en el 2023 se observan los niveles de cadmio con un valor de 0.00018 mg/L, y en la temporada 2022 el valor es de 0.00017 mg/L tal como se muestra en la Tabla 17 y Gráfico 13. Ambas temporadas no presentan diferencias significativas entre sí.

Para el factor “Zonas de Estudio”, se encuentran diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la “Zona-H” se presentó el promedio más alto en los niveles de cadmio, con un valor de 0.00032 mg/L y la “Zona-V” exhibió el valor más bajo, con un promedio de 0.00008 mg/L, adicionalmente en la “Zona-C” y Zona-Y” los promedios estuvieron alrededor de 0.00018 mg/L y 0.00012 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 18 y Gráfico 14.

Según los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de cadmio para el factor “Periodo de las lluvias”, se evidenció que los niveles de cadmio al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.00032 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.00018 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.00002 mg/L tal como se muestra en la Tabla 19 y Gráfico 15.

Gráfico 16

Interacción de niveles de Cadmio según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

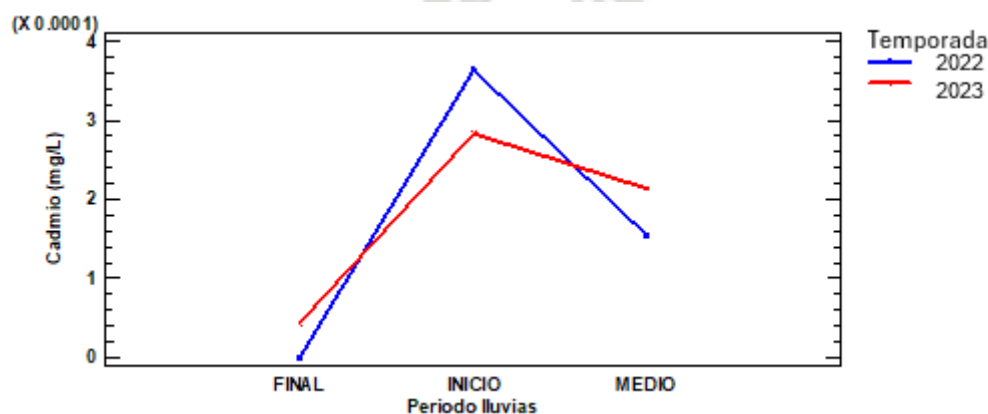


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 16, se muestra la interacción para los niveles de cadmio entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-H” los niveles de cadmio son más altos que en la “Zona-C”, “Zona-Y” y “Zona-V”

Gráfico 17

Interacción de niveles de Cadmio según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

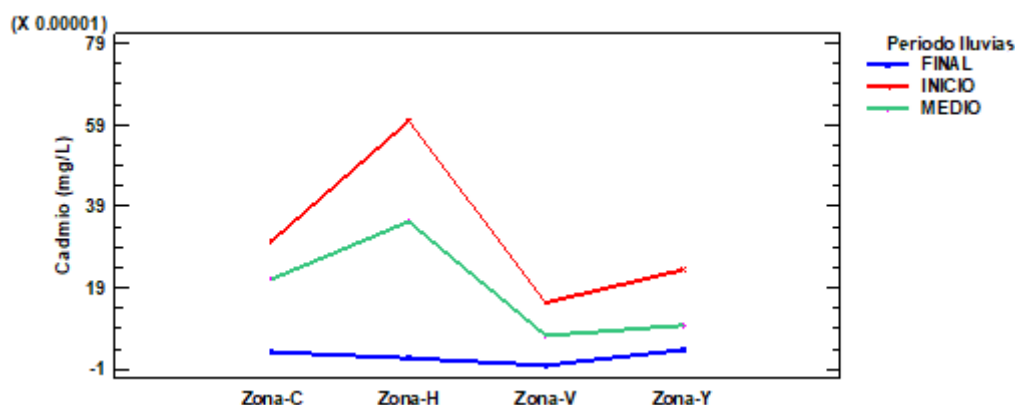


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 17, se muestra la interacción de los niveles de cadmio entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de cadmio para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 18

Interacción de niveles de Cadmio según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 18 se muestra la interacción de los niveles de cadmio entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-H” y “Zona-C” los niveles de cadmio son los más elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-Y” y volver a disminuir en la “Zona-V”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de Cadmio se mantienen bajos.

3.5.4. Cromo

El cromo, un elemento liberado por diversas actividades humanas, se encuentra en el aire, suelo y agua. Aunque no permanece mucho tiempo en la atmósfera, se deposita en el suelo y el agua, donde puede cambiar de forma. A pesar de su presencia en el agua, los peces no lo acumulan en grandes cantidades en sus tejidos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para cromo ha confirmado que la concentración de cromo en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar

diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el cromo:

Tabla 20

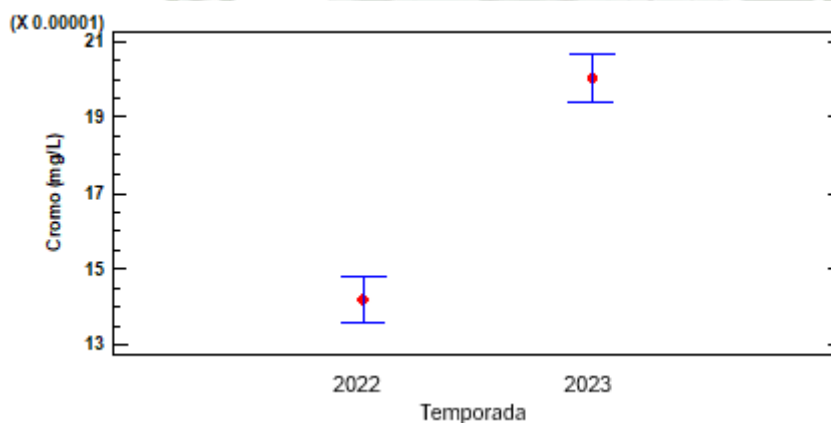
Pruebas de Múltiples Rangos para Cromo por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.00014	3.09943E-06	a
2023	36	0.00020	3.09943E-06	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 19

Comparación niveles de Cromo por “Temporadas”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 21

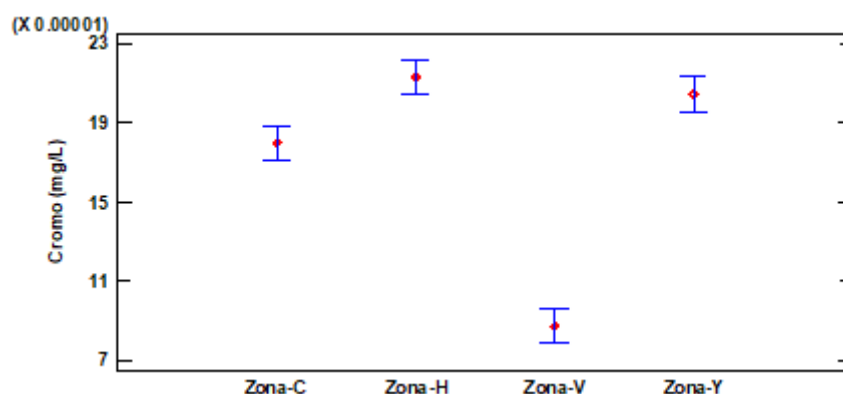
Pruebas de Múltiples Rangos para Cromo por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.00009	4.38326E-06	a
Zona-C	18	0.00018	4.38326E-06	b
Zona-Y	18	0.00020	4.38326E-06	c
Zona-H	18	0.00021	4.38326E-06	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 20

Comparación niveles de Cromo por “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 22

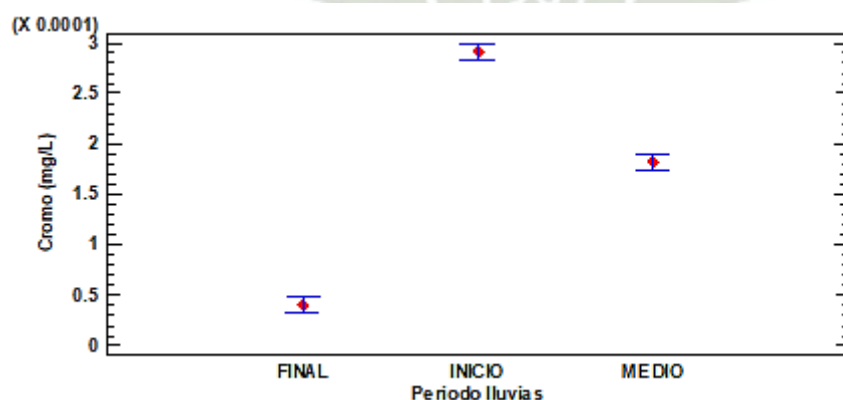
Pruebas de Múltiples Rangos para Cromo por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.00004	3.79601E-06	a
MEDIO	24	0.00018	3.79601E-06	b
INICIO	24	0.00029	3.79601E-06	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 21

Comparación de niveles de Cromo por “Periodo de las lluvias”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

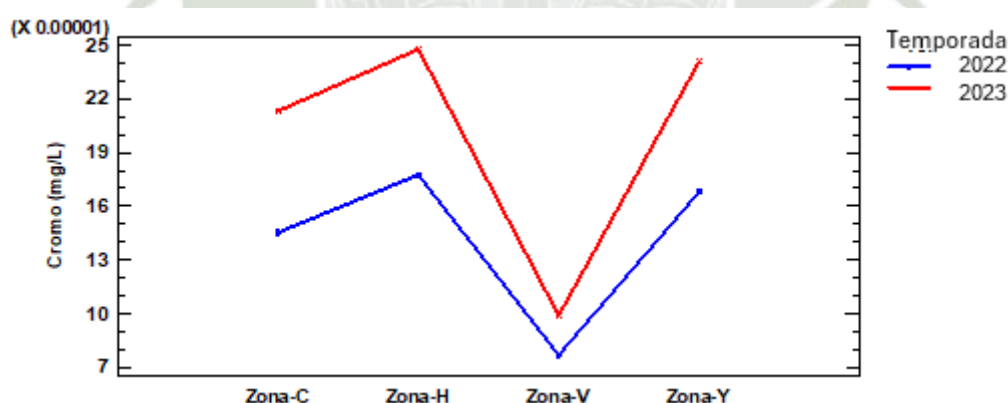
Para el factor “Temporada”, en el 2022 se alcanzan menor promedio para los niveles de cromo con un valor de 0.00014 mg/L, y en la temporada 2023 el valor se incrementa a 0.00020 mg/L tal como se muestra en la Tabla 20 y Gráfico 19. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, la “Zona-H” y la “Zona-Y” presentaron los promedios más altos en los niveles de cromo, con valores de 0.00021 mg/L y 0.00020 mg/L respectivamente, la “Zona-V” exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.00009 mg/L, adicionalmente en la “Zona-C” el promedio estuvo con un valor de 0.00018 mg/L tal como se muestra en la Tabla 21 y Gráfico 20.

En los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de cromo para el factor “Periodo de las lluvias”, se aprecia de manera evidente que los niveles de cromo al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.00029 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.00018 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho mayor alcanzando un promedio de 0.00004 mg/L tal como se muestra en la Tabla 22 y Gráfico 21.

Gráfico 22

Interacción de niveles de Cromo según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

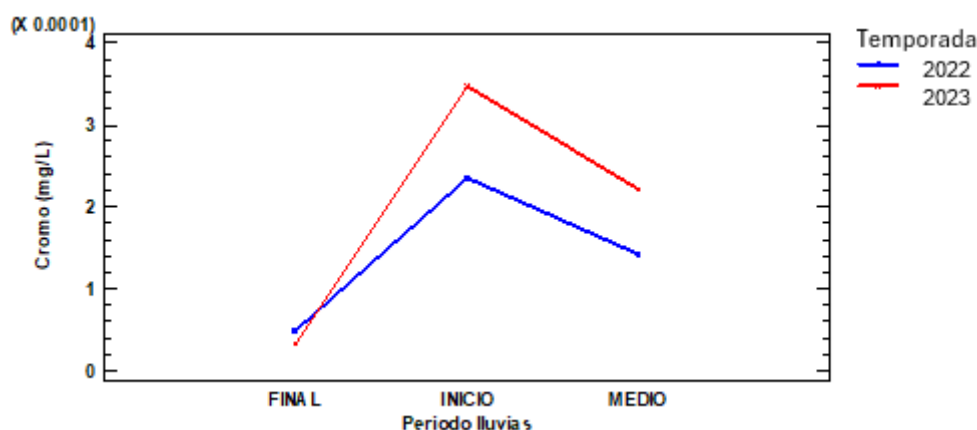


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 22, se muestra la interacción para los niveles de cromo entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-H” y “Zona-Y” los niveles de cromo son más altos que en la “Zona-C” y mucho mayores que los valores de la “Zona-V”.

Gráfico 23

Interacción de niveles de Cromo según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

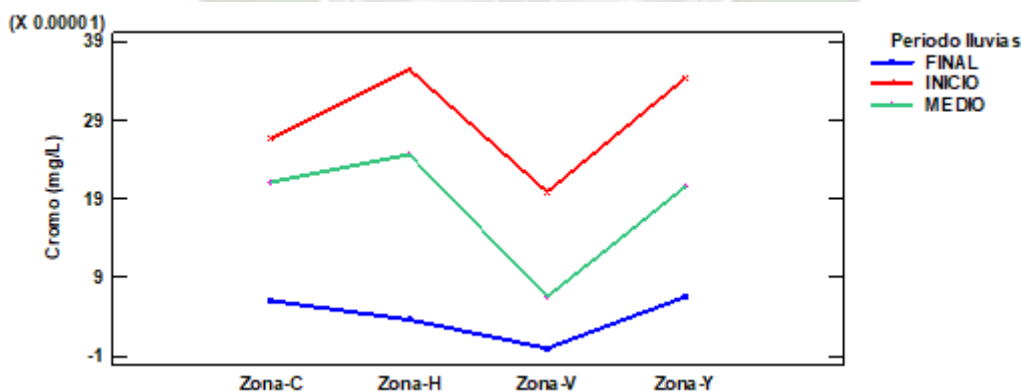


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 23, se muestra la interacción de los niveles de cromo entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de cromo para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 24

Interacción de niveles de Cromo según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 24, se muestra la interacción de los niveles de cromo entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-H” y “Zona-Y” los niveles de cromo son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-C” y volverse a disminuir en la “Zona-V”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”,

en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de cromo se mantienen bajos.

3.5.5. Cobre

El cobre se libera al ambiente desde diversas fuentes, se transporta por el viento, se adhiere a partículas y se deposita en suelos y agua. En el agua se une a sedimentos, en el suelo es absorbido por plantas y se acumula en organismos. El cobre persiste en el medio ambiente a largo plazo (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para cobre ha confirmado que la concentración de cobre en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

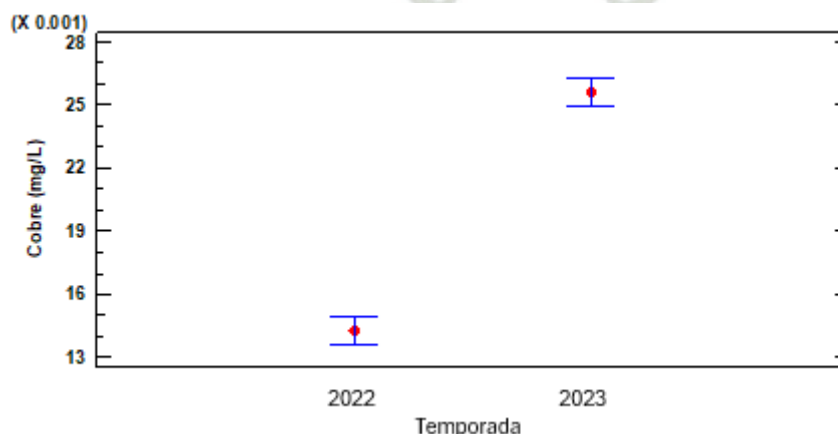
Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el cobre:

Tabla 23
Pruebas de Múltiples Rangos para Cobre por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.014	0.000327495	a
2023	36	0.026	0.000327495	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 25
Comparación niveles de Cobre por “Temporadas”

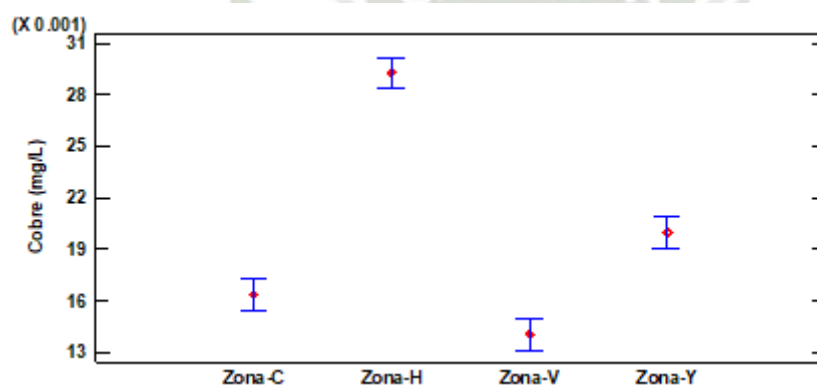


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 24
Pruebas de Múltiples Rangos para Cobre por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.014	0.000463148	a
Zona-C	18	0.016	0.000463148	b
Zona-Y	18	0.020	0.000463148	c
Zona-H	18	0.029	0.000463148	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 26
Comparación niveles de Cobre por “Zonas de Estudio”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

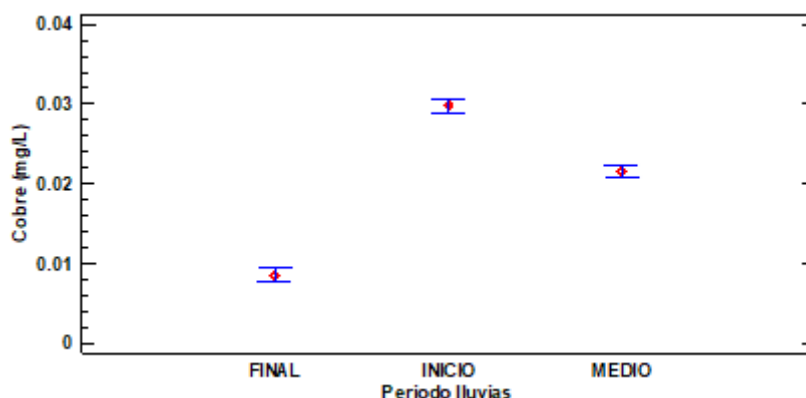
Tabla 25
Pruebas de Múltiples Rangos para Cobre por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.009	0.000401098	a
MEDIO	24	0.022	0.000401098	b
INICIO	24	0.030	0.000401098	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 27

Comparación de niveles de Cobre por “Periodo de las lluvias”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

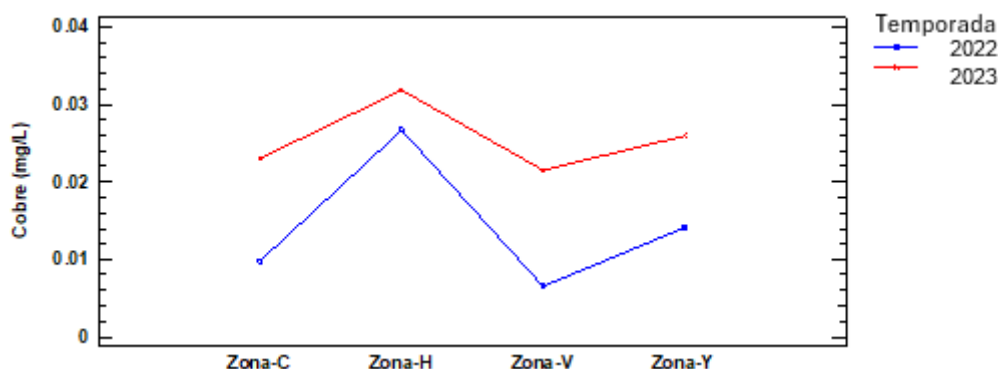
Para el factor “Temporada”, en el 2023 se alcanzan los mayores promedios para los niveles de cobre con un valor de 0.026 mg/L, y en la temporada 2022 el valor disminuye a 0.014 mg/L tal como se muestra en la Tabla 23 y Gráfico 25. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontró diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que la “Zona-H” presentó el promedio más alto en los niveles de cobre, con un valor de 0.029 mg/L y la “Zona-V” que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.014 mg/L, adicionalmente en la “Zona-Y” y “Zona-C” los promedios estuvieron alrededor de 0.020 mg/L y 0.016 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 24 y Gráfico 26.

Respecto a los resultados de la prueba de Tukey para los niveles de cobre y el factor “Periodo de las lluvias”, se aprecia contundentemente que los niveles de cobre al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.030 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.022 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.009 mg/L tal como se muestra en la Tabla 25 y Gráfico 27.

Gráfico 28

Interacción de niveles de Cobre según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

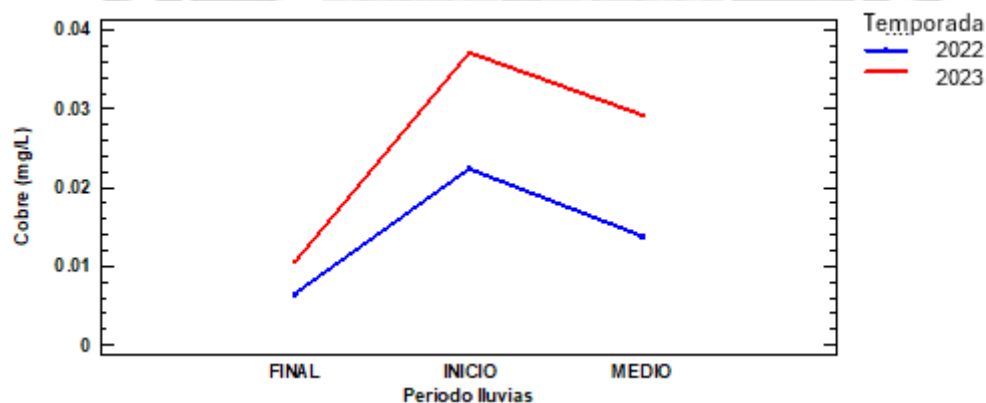


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 28, se muestra la interacción para los niveles de cobre entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-H” y “Zona-Y” los niveles de Cobre son más altos que en la “Zona-C” y “Zona-V”.

Gráfico 29

Interacción de niveles de Cobre según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

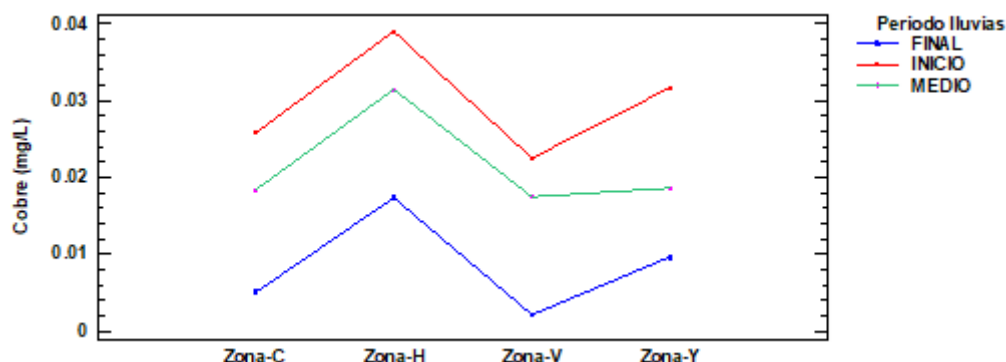


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 29, se muestra la interacción de los niveles de cobre entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de cobre para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 30

Interacción de niveles de Cobre según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 30, se muestra la interacción de los niveles de cobre entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-H” y “Zona-Y” los niveles de cobre son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y volverse a incrementar en la “Zona-C”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, repitiéndose para el periodo de lluvias “Final”.

3.5.6. Hierro

Un estudio reveló que la exposición a altos niveles de hierro en el aire durante la infancia, proveniente de la contaminación vehicular, afecta las habilidades motoras finas en los niños. La concentración de hierro se relacionó con un menor desempeño en tareas de precisión y coordinación (Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal), 2017).

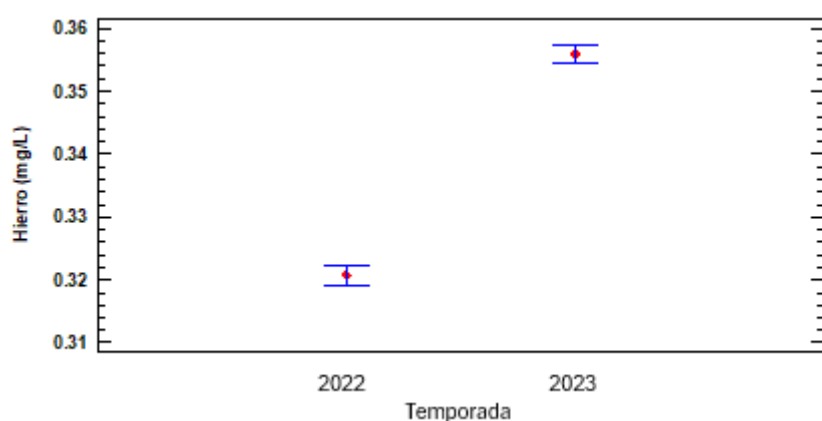
El análisis de varianza (véase Anexo IX) para hierro ha confirmado que la concentración de hierro en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el hierro:

Tabla 26
Pruebas de Múltiples Rangos para Hierro por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.321	0.000796162	a
2023	36	0.356	0.000796162	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 31
Comparación niveles de Hierro por “Temporadas”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

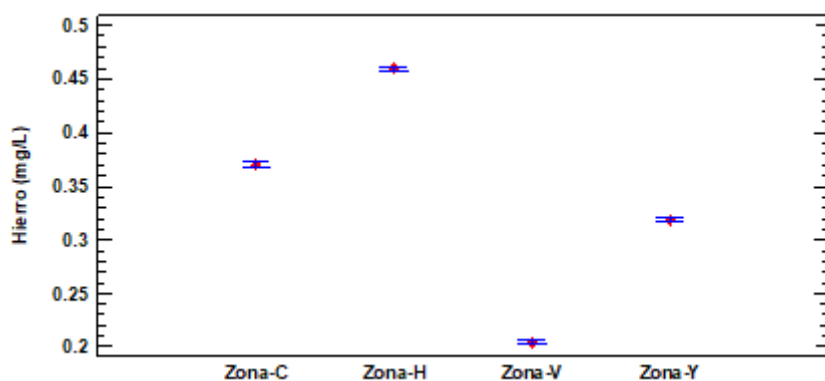
Tabla 27
Pruebas de Múltiples Rangos para Hierro por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.204	0.00112594	a
Zona-Y	18	0.319	0.00112594	b
Zona-C	18	0.370	0.00112594	c
Zona-H	18	0.459	0.00112594	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 32

Comparación niveles de Hierro por “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 28

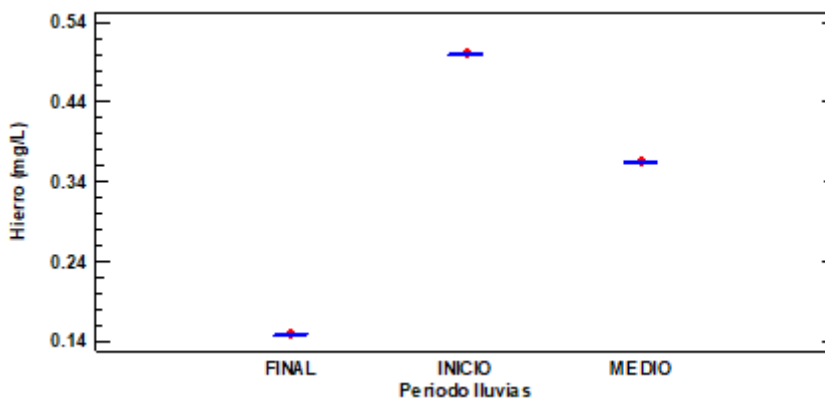
Pruebas de Múltiples Rangos para Hierro por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.149	0.000975095	a
MEDIO	24	0.365	0.000975095	b
INICIO	24	0.501	0.000975095	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 33

Comparación de niveles de Hierro por “Periodo de las lluvias”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

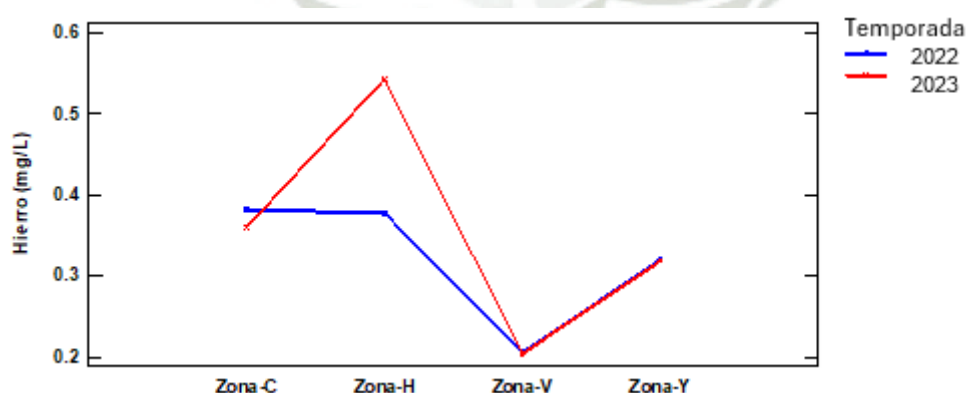
Para el factor “Temporada”, en el 2023 se alcanzan los mayores promedios para los niveles de hierro con un valor de 0.356 mg/L, y en la temporada 2022 el valor disminuye a 0.321 mg/L tal como se muestra en la Tabla 26 y Gráfico 31. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontró diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la “Zona-H” presentó el promedio más alto en los niveles de hierro, con un valor de 0.459 mg/L y la “Zona-V” que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.204 mg/L, adicionalmente en la “Zona-C” y “Zona-Y” los promedios estuvieron alrededor de 0.370 mg/L y 0.319 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 27 y Gráfico 32.

En relación a los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de hierro para el factor “Periodo de las lluvias”, se observó contundentemente que los niveles de Hierro al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.501 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.365 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.149 mg/L tal como se muestra en la Tabla 28 y Gráfico 33.

Gráfico 34

Interacción de niveles de Hierro según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

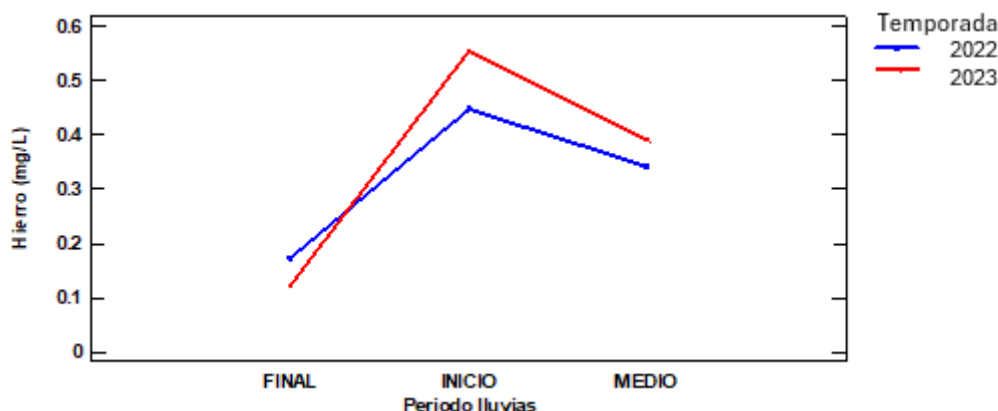


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 34, se muestra la interacción para los niveles de hierro entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-H” y “Zona-C” los niveles de hierro son más altos que en la “Zona-V” y “Zona-Y”.

Gráfico 35

Interacción de niveles de Hierro según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

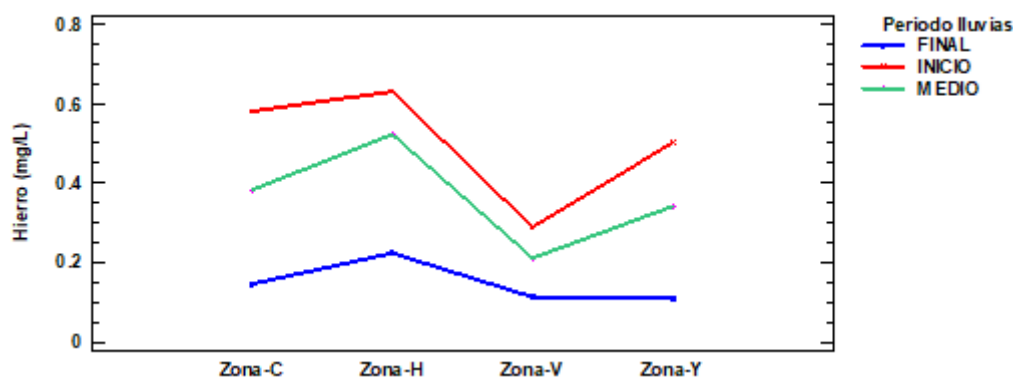


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 35, se muestra la interacción de los niveles de hierro entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de hierro para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 36

Interacción de niveles de Hierro según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 36, se muestra la interacción de los niveles de hierro entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-H” y “Zona-C” los niveles de hierro son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y volverse a incrementar en la “Zona-Y”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de Hierro se mantienen bajos.

3.5.7. Manganeseo

El manganeso es un elemento persistente en el medio ambiente, liberado durante su fabricación y uso en diversos productos. No se descompone, sino que cambia de forma o se adhiere a partículas en el aire, suelo o agua. En el agua, se une a partículas o sedimenta, contaminando ecosistemas (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para manganeso ha confirmado que la concentración de manganeso en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

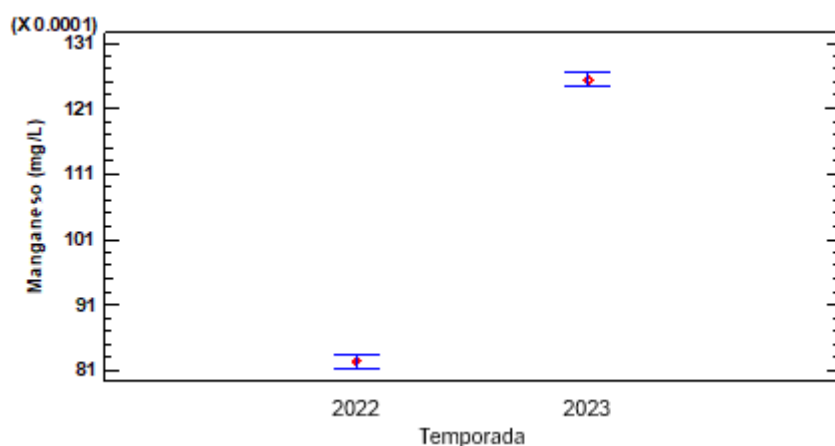
Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el manganeso:

Tabla 29

Pruebas de Múltiples Rangos para Manganeseo por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.0082	5.68258E-05	a
2023	36	0.0125	5.68258E-05	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

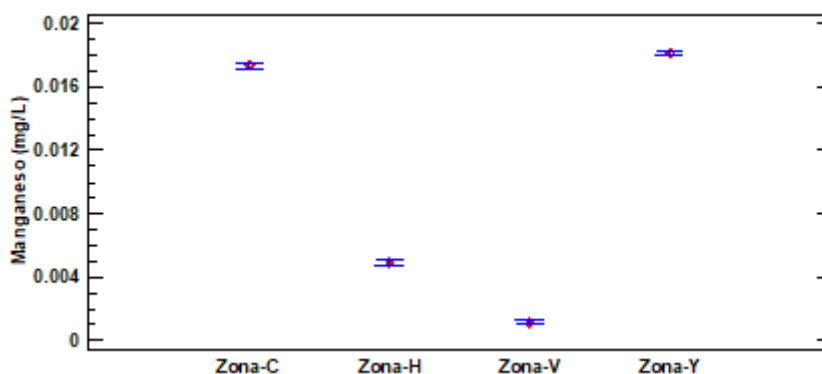
Gráfico 37
Comparación niveles de Manganeso por “Temporadas”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 30
Pruebas de Múltiples Rangos para Manganeso por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.0012	8.03638E-05	a
Zona-H	18	0.0049	8.03638E-05	b
Zona-C	18	0.0173	8.03638E-05	c
Zona-Y	18	0.0182	8.03638E-05	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

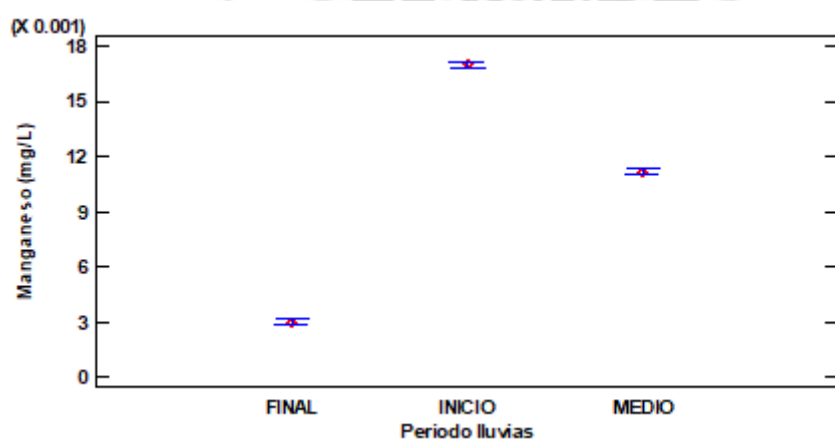
Gráfico 38
Comparación niveles de Manganeso por “Zonas de Estudio”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 31
Pruebas de Múltiples Rangos para Manganeso por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.0030	6.95971E-05	a
MEDIO	24	0.0112	6.95971E-05	b
INICIO	24	0.0170	6.95971E-05	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 39
Comparación de niveles de Manganeso por “Periodo de las lluvias”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

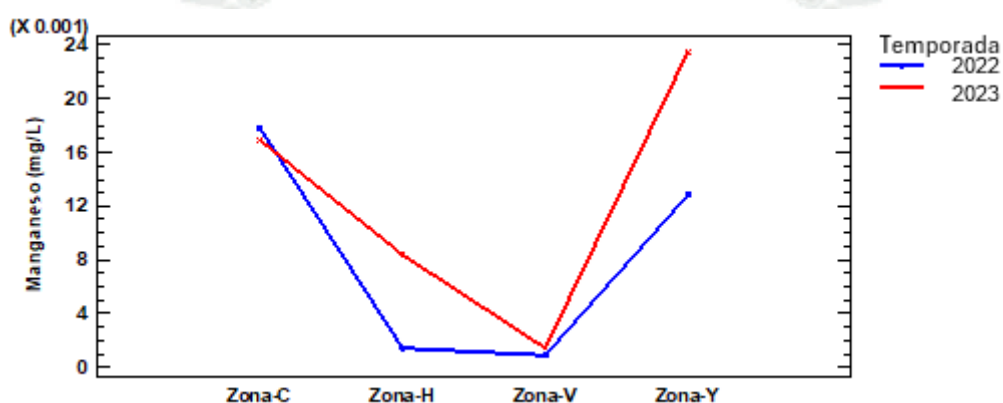
Para el factor “Temporada”, en el 2023 se alcanzan los mayores promedios para los niveles de manganeso con un valor de 0.0125 mg/L, y en la temporada 2022 el valor disminuye a 0.0082 mg/L tal como se muestra en la Tabla 29 y Gráfico 37. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontró diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la Zona-Y presentó el promedio más alto en los niveles de manganeso, con un valor de 0.0182 mg/L y la Zona-V que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.0012 mg/L, adicionalmente en la Zona-C y Zona-H los promedios estuvieron alrededor de 0.0173 mg/L y 0.0049 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 30 y Gráfico 38.

Según los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de manganeso para el factor “Periodo de las lluvias”, se notó que los niveles de manganeso al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.0170 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.0112 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.0030 mg/L tal como se muestra en la Tabla 31 y Gráfico 39.

Gráfico 40

Interacción de niveles de Manganeso según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

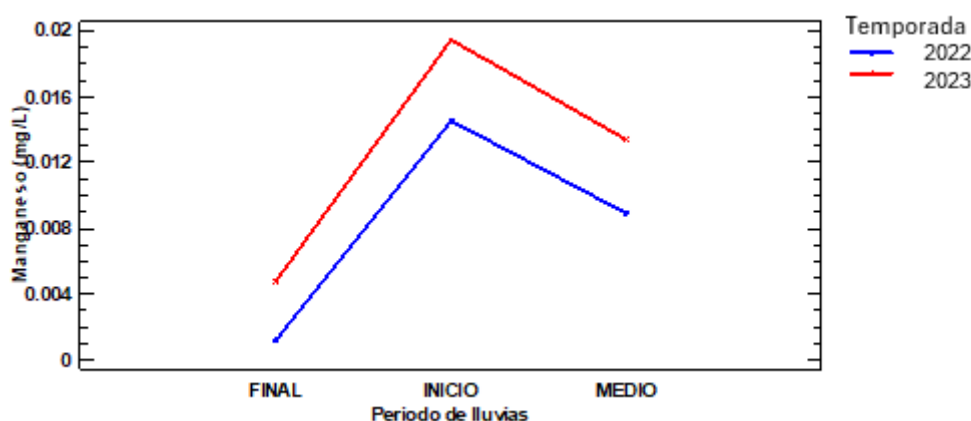


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 40, se muestra la interacción para los niveles de manganeso entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-Y” y “Zona-C” los niveles de manganeso son más altos que en la “Zona-V” y “Zona-H”.

Gráfico 41

Interacción de niveles de Manganeso según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

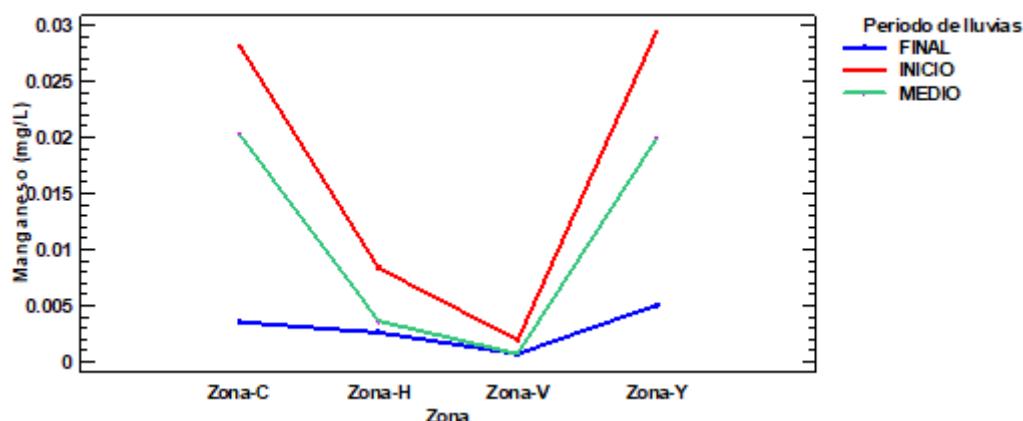


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 41, se muestra la interacción de los niveles de Manganeso entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de manganeso para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 42

Interacción de niveles de Manganeso según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 42, se muestra la interacción de los niveles de manganeso entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-Y” y “Zona-C” los niveles de manganeso son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-H” y volver a disminuir en la “Zona-V”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, sólo la “Zona Y” mantiene valores ligeramente superiores respecto a todas las zonas restantes en los que los niveles de manganeso se mantienen bajos, especialmente en la “Zona-V”.

3.5.8. Mercurio

El mercurio, un elemento natural, se encuentra en el aire, agua y suelo debido a causas naturales y actividades humanas, especialmente industriales. A pesar de la reducción de emisiones, persiste en el ambiente, viaja lejos, se deposita y se convierte en compuestos tóxicos como el metilmercurio, que afecta la salud humana y los ecosistemas (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

Dado que las concentraciones de mercurio en todas las muestras fueron inferiores al límite de detección de 0.0001 mg/L, no fue posible efectuar el análisis estadístico. Este resultado sugiere que los niveles de mercurio en las muestras analizadas son muy bajos.

3.5.9. Níquel

El níquel es un elemento común que se libera al medio ambiente por procesos naturales y actividades humanas. Se adhiere a partículas en el aire y puede depositarse en suelos y aguas. Las plantas lo absorben en diferentes cantidades, sin acumularse mucho en organismos acuáticos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para níquel ha confirmado que la concentración de níquel en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

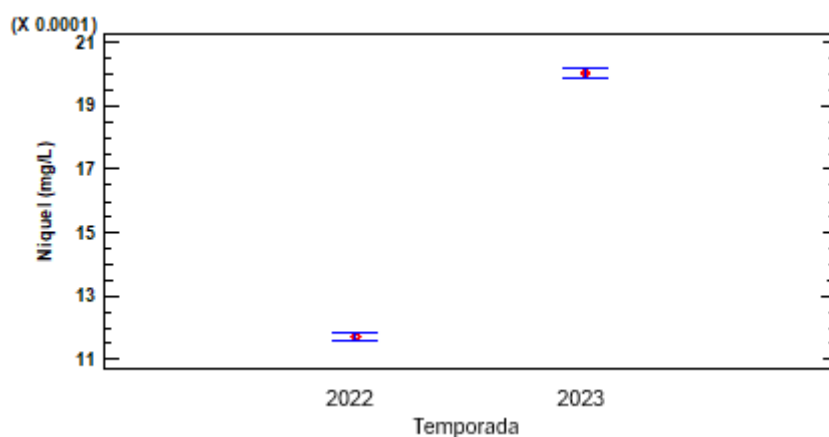
Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el níquel:

Tabla 32

Pruebas de Múltiples Rangos para Níquel por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.00117	7.80007E-06	a
2023	36	0.00201	7.80007E-06	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

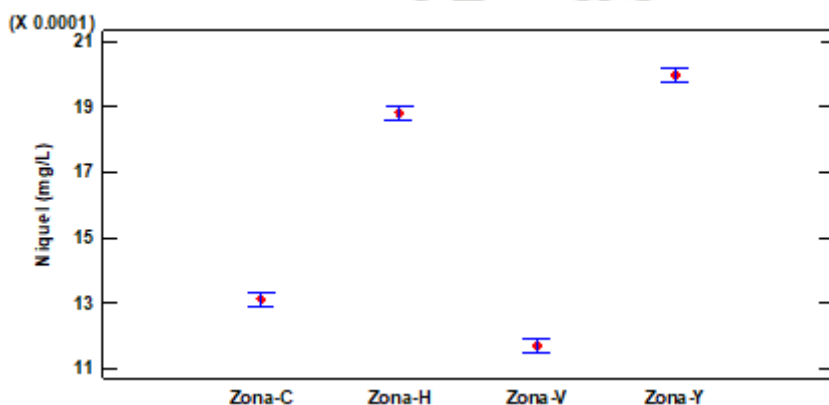
Gráfico 43
Comparación niveles de Níquel por “Temporadas”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 33
Pruebas de Múltiples Rangos para Níquel por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.00117	0.000011031	a
Zona-C	18	0.00131	0.000011031	b
Zona-H	18	0.00188	0.000011031	c
Zona-Y	18	0.00200	0.000011031	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

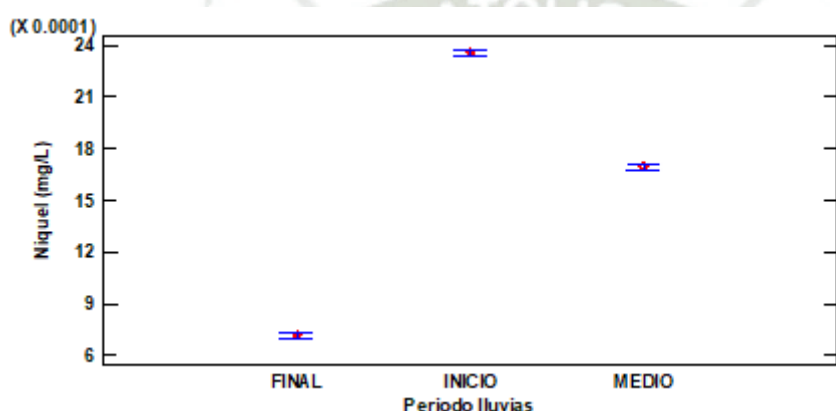
Gráfico 44
Comparación niveles de Níquel por “Zonas de Estudio”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 34
Pruebas de Múltiples Rangos para Níquel por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.00072	9.55309E-06	a
MEDIO	24	0.00170	9.55309E-06	b
INICIO	24	0.00236	9.55309E-06	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 45
Comparación de niveles de Níquel por “Periodo de las lluvias”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

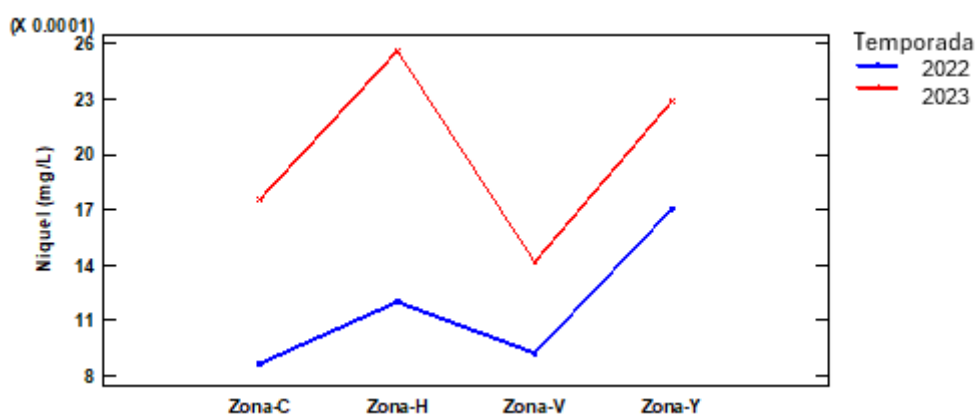
Para el factor “Temporada”, en el 2022 se alcanzan los menores promedios para los niveles de níquel con un valor de 0.00117 mg/L, y en la temporada 2023 el valor aumenta a 0.00201 mg/L tal como se muestra en la Tabla 32 y Gráfico 43. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontró diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la “Zona-Y” presentó el promedio más alto en los niveles de níquel, con un valor de 0.00200 mg/L y la “Zona-V” que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.00117 mg/L, adicionalmente en la “Zona-H” y “Zona-C” los promedios estuvieron alrededor de 0.00188 mg/L y 0.00131 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 33 y Gráfico 44.

En cuanto a los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de níquel para el factor “Periodo de las lluvias”, se aprecia que los niveles de níquel al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.00236 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.00170 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.00072 mg/L tal como se muestra en la Tabla 34 y Gráfico 45.

Gráfico 46

Interacción de niveles de Níquel según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

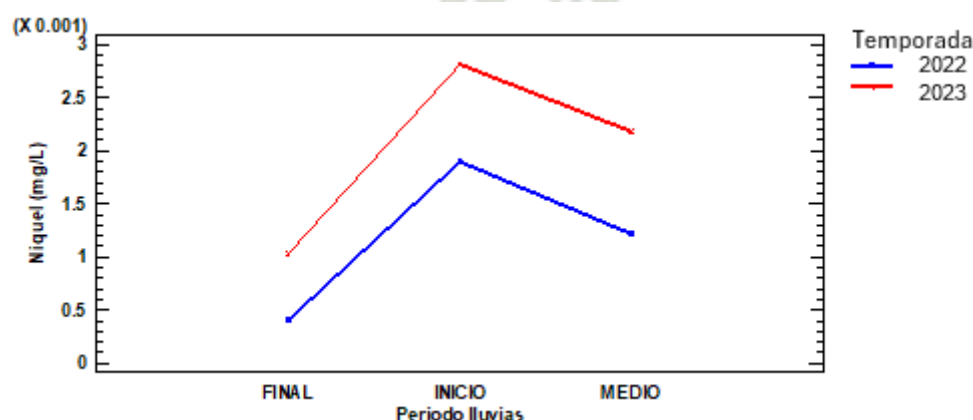


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 46, se muestra la interacción para los niveles de níquel entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-H” y “Zona-Y” los niveles de níquel son más altos que en la “Zona-V” y “Zona-C”.

Gráfico 47

Interacción de niveles de Níquel según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

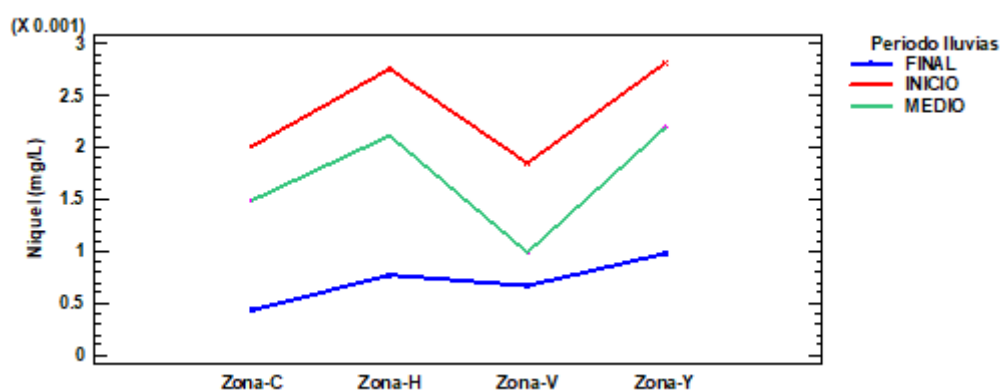


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 47 se muestra la interacción de los niveles de níquel entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de níquel para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 48

Interacción de niveles de Níquel según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 48 se muestra la interacción de los niveles de níquel entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-Y” y “Zona-H” los niveles de níquel son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y en la “Zona-C”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de níquel se mantienen bajos.

3.5.10. Plomo

El plomo es un elemento químico que se libera en el medio ambiente por actividades humanas y no se descompone. Puede viajar por el aire y depositarse en el suelo, donde se adhiere a partículas y puede filtrarse en aguas subterráneas (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

Los resultados indican que los factores: zona y periodo de lluvias tuvieron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre las concentraciones de plomo en el agua de lluvia. Aunque el factor temporada no resultó estadísticamente significativo (véase Anexo IX). Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el plomo:

Tabla 35

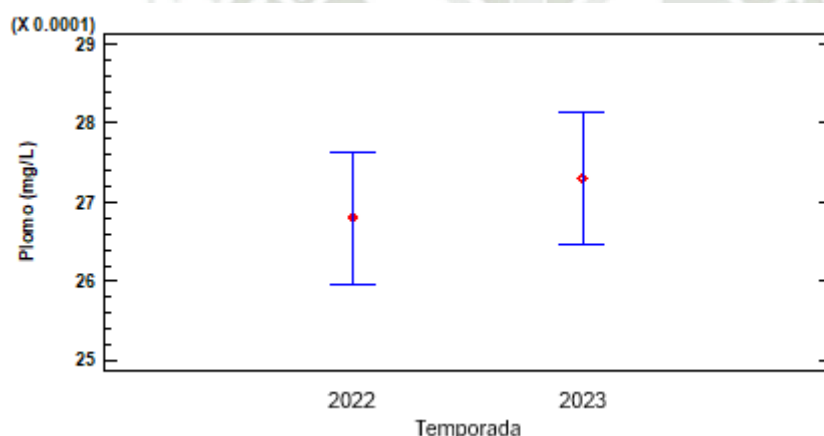
Pruebas de Múltiples Rangos para Plomo por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.0027	4.17129E-05	a
2023	36	0.0027	4.17129E-05	a

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 49

Comparación niveles de Plomo por “Temporadas”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 36

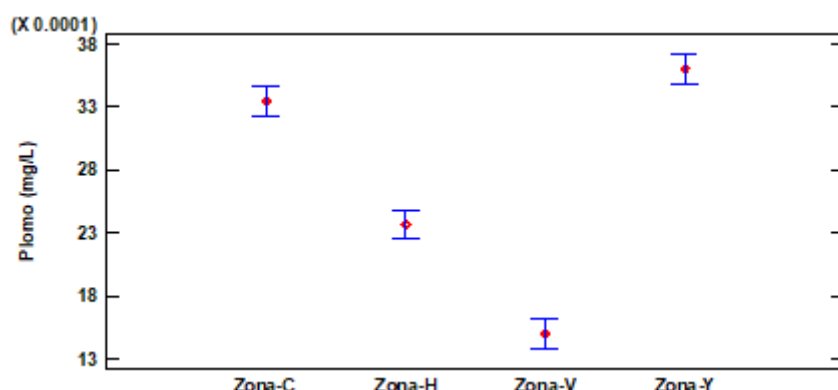
Pruebas de Múltiples Rangos para Plomo por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.0015	0.000058991	a
Zona-H	18	0.0024	0.000058991	b
Zona-C	18	0.0034	0.000058991	c
Zona-Y	18	0.0036	0.000058991	d

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 50

Comparación niveles de Plomo por “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 37

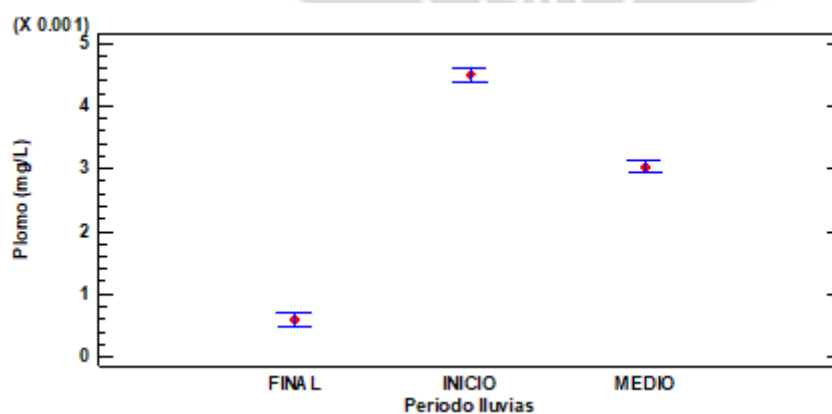
Pruebas de Múltiples Rangos para Plomo por “Periodo de las lluvias”

Periodo lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.0006	5.10877E-05	a
MEDIO	24	0.0030	5.10877E-05	b
INICIO	24	0.0045	5.10877E-05	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 51

Comparación de niveles de Plomo por “Periodo de las lluvias”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

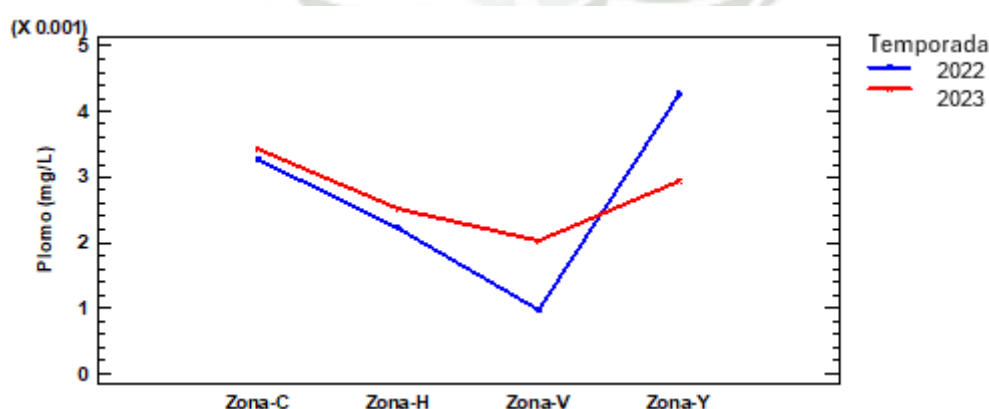
Para el factor “Temporada”, en el 2022 se alcanza un promedio para los niveles de plomo con un valor de 0.0027 mg/L, y en la temporada 2023 es 0.0027 mg/L tal como se muestra en la Tabla 35 y Gráfico 49. Ambas temporadas no presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontraron diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la “Zona-Y” presentó el promedio más alto en los niveles de plomo, con un valor de 0.0036 mg/L y la “Zona-V” que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.0015 mg/L, adicionalmente en la “Zona-C” y “Zona-H” los promedios estuvieron alrededor de 0.0034 mg/L y 0.0024 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 36 y Gráfico 50.

En relación con los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de plomo para el factor “Periodo de las lluvias”, observó que los niveles de plomo al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.0045 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.0030 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.0006 mg/L tal como se muestra en la Tabla 37 y Gráfico 51.

Gráfico 52

Interacción de niveles de Plomo según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

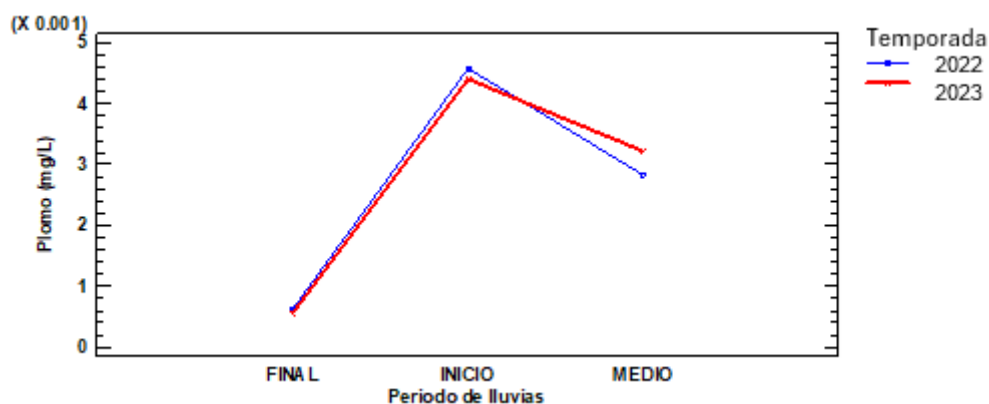


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 52 Se muestra la interacción para los niveles de plomo entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-C” y “Zona-Y” los niveles de plomo son más altos que en la “Zona-H” y “Zona-V”.

Gráfico 53

Interacción de niveles de Plomo según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

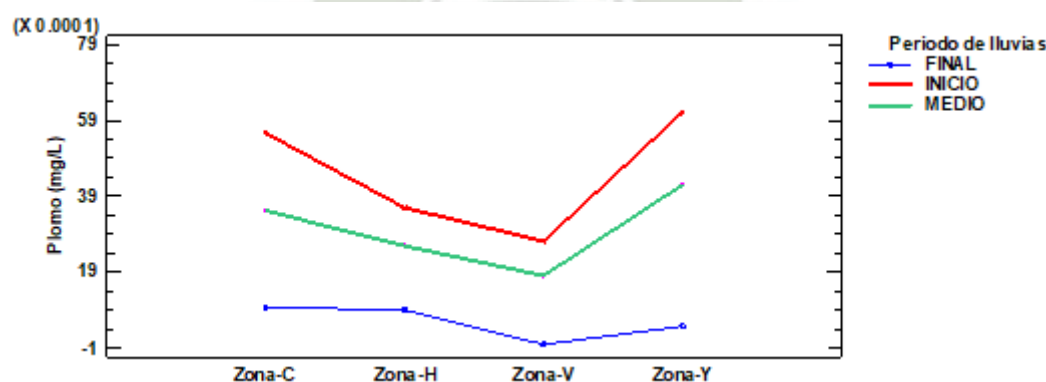


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 53 se muestra la interacción de los niveles de plomo entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de plomo para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 54

Interacción de niveles de Plomo según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 54, se muestra la interacción de los niveles de plomo entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-Y” y “Zona-C” los niveles de plomo son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y

volverse a incrementar en la “Zona-H”. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de plomo se mantienen bajos.

3.5.11. Vanadio

El vanadio, un elemento natural y en combustibles fósiles, se libera al ambiente por actividades humanas como la quema de petróleo. No se disuelve bien en agua, pero se une a suelo y sedimentos. Las plantas absorben poco, y su acumulación en animales es rara. Se adhiere a partículas, por lo que permanece en el ambiente mucho tiempo (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para vanadio ha confirmado que la concentración de vanadio en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el vanadio:

Tabla 38

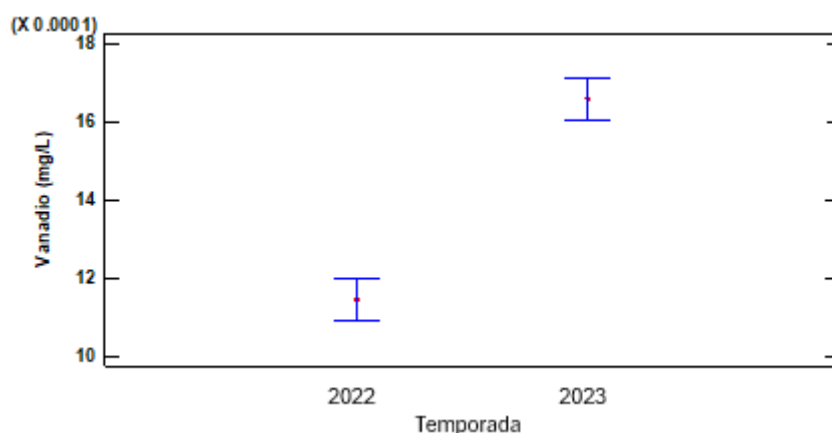
Pruebas de Múltiples Rangos para Vanadio por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.0011	2.66435E-05	a
2023	36	0.0017	2.66435E-05	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 55

Comparación niveles de Vanadio por “Temporadas”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 39

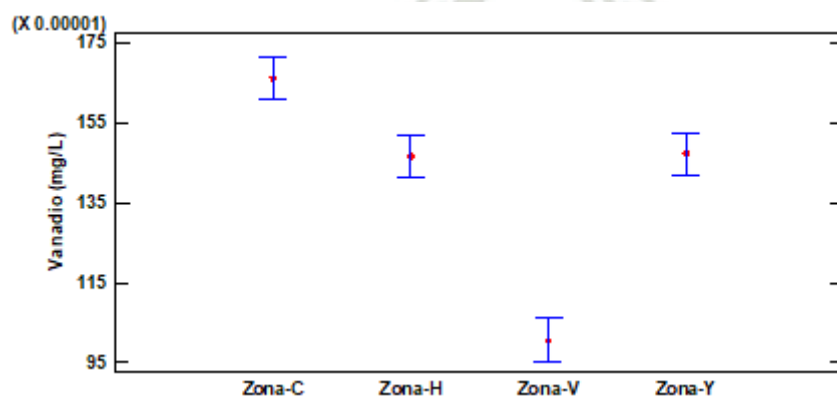
Pruebas de Múltiples Rangos para Vanadio por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.0010	3.76796E-05	a
Zona-H	18	0.0015	3.76796E-05	b
Zona-Y	18	0.0015	3.76796E-05	b
Zona-C	18	0.0017	3.76796E-05	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 56

Comparación niveles de Vanadio por “Zonas de Estudio”

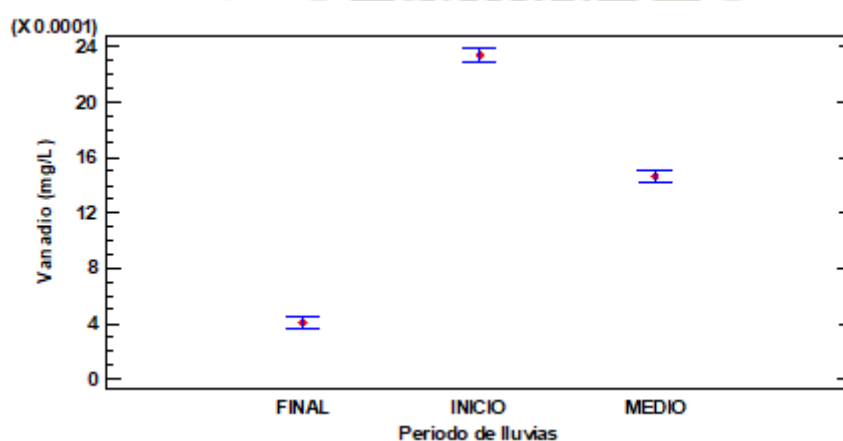


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 40
Pruebas de Múltiples Rangos para Vanadio por “Periodo de las lluvias”

Periodo de lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.0004	3.26315E-05	a
MEDIO	24	0.0015	3.26315E-05	b
INICIO	24	0.0023	3.26315E-05	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 57
Comparación de niveles de Vanadio por “Periodo de las lluvias”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

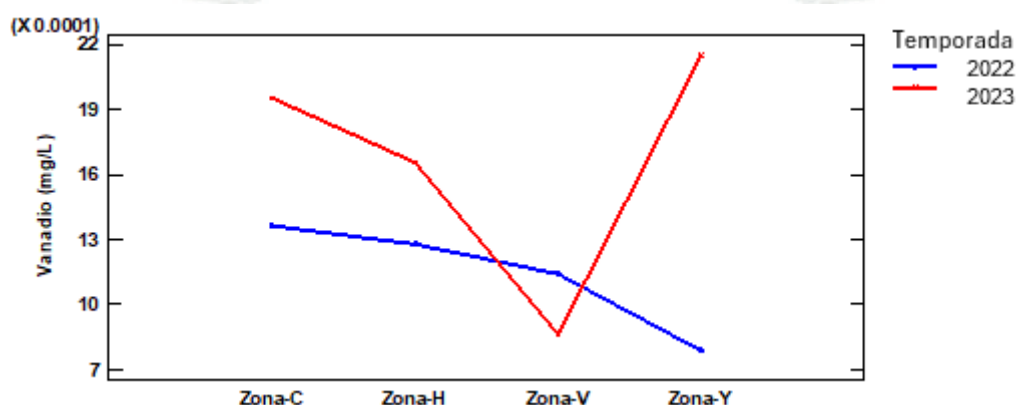
Para el factor “Temporada”, en el 2022 se alcanzan los menores promedios para los niveles de vanadio con un valor de 0.0011 mg/L, y en la temporada 2023 el valor aumenta a 0.0017 mg/L tal como se muestra en la Tabla 38 y Gráfico 55. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, de acuerdo la prueba de Tukey, se encuentra que en la “Zona-C” presentó el promedio más alto en los niveles de vanadio, con un valor de 0.0017 mg/L y la “Zona-V” que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.0010 mg/L, ambos con diferencias significativas, adicionalmente entre la “Zona-Y” y “Zona-H” los promedios estuvieron igualados en 0.0015 mg/L sin diferencias significativas, tal como se muestra en la Tabla 39 y Gráfico 56.

Considerando los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de vanadio para el factor “Periodo de las lluvias”, se aprecia claramente que los niveles de Vanadio al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.0023 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.0015 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.0004 mg/L tal como se muestra en la Tabla 40 y Gráfico 57.

Gráfico 58

Interacción de niveles de Vanadio según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

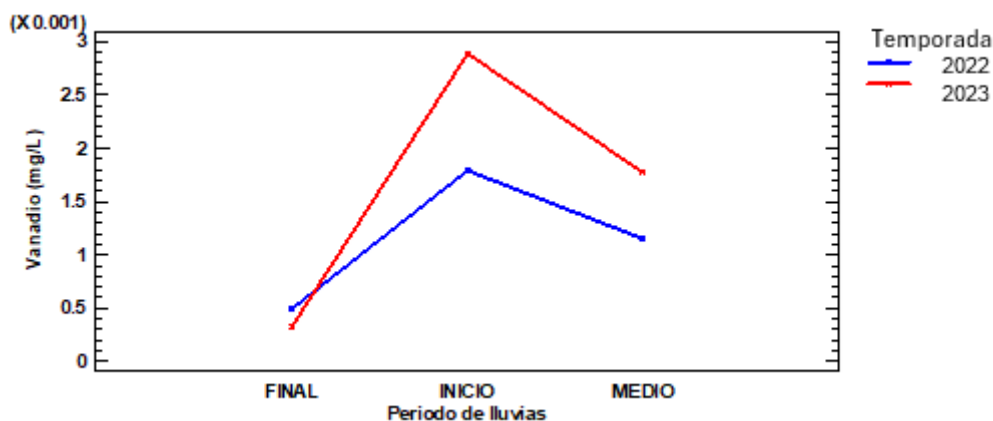


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 58, se muestra la interacción para los niveles de Vanadio entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en 2022 los niveles más altos de vanadio corresponden a la “Zona-Y” y “Zona-C” mientras que en el 2023 los niveles de Vanadio son más altos que en la “Zona-Y” y “Zona-H”. Adicionalmente en 2022 la “Zona-Y” es la ostenta la menor concentración de vanadio, mientras que en 2023 la “Zona-V” es la de menor concentración.

Gráfico 59

Interacción de niveles de Vanadio según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

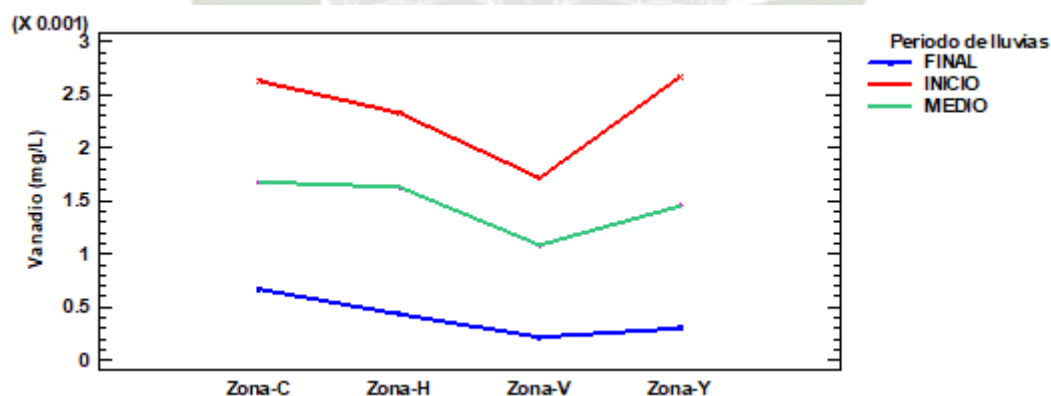


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 59, se muestra la interacción de los niveles de vanadio entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de vanadio para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 60

Interacción de niveles de Vanadio según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 60, se muestra la interacción de los niveles de Vanadio entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-Y” y “Zona-C” los niveles de vanadio son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y volverse a incrementar en la “Zona-H”. En el nivel “Medio” en la “Zona-Y” y “Zona-H” los niveles de vanadio son elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-V” y

volverse a incrementar en la “Zona-Y”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de vanadio se mantienen bajos.

3.5.12. Zinc

El zinc, un elemento vital, se libera al ambiente a través de procesos naturales y actividades humanas. La minería, la producción industrial y la quema de combustibles fósiles son las principales fuentes de zinc generado por el ser humano. Una vez en el ambiente, el zinc se adhiere a partículas de suelo y polvo, y puede ser transportado por el viento y la lluvia hacia el suelo y cuerpos de agua. La mayor parte del zinc permanece en el suelo (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023).

El análisis de varianza (véase Anexo IX) para zinc ha confirmado que la concentración de zinc en el agua de lluvia varía significativamente influenciada por los factores individuales (temporada, zona y periodo de lluvias) y sus interacciones. Al encontrar diferencias significativas entre los grupos definidos por estos factores, se justifica el uso posterior de la prueba de Tukey.

Es así como, se presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los diferentes factores en estudio: Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia para el zinc:

Tabla 41

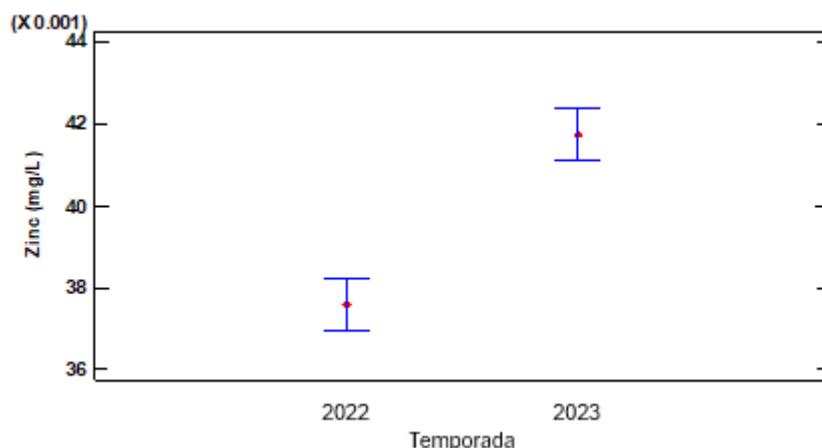
Pruebas de Múltiples Rangos para Zinc por “Temporadas”

Temporada	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2022	36	0.038	0.000455589	a
2023	36	0.042	0.000455589	b

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 61

Comparación niveles de Zinc por “Temporadas”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 42

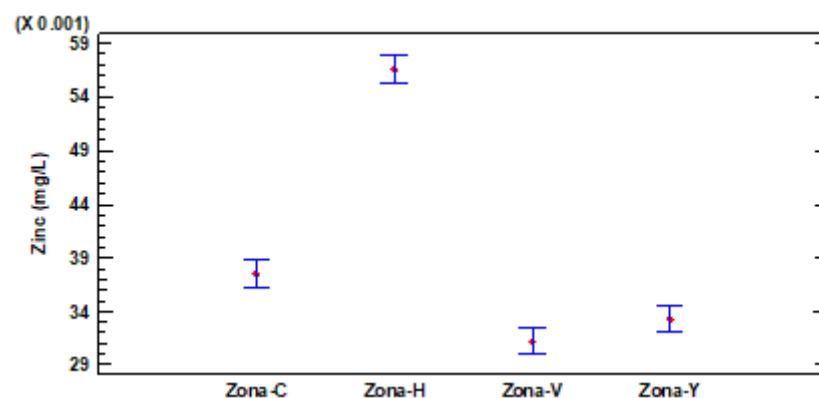
Pruebas de Múltiples Rangos para Zinc por “Zonas de Estudio”

Zona	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Zona-V	18	0.031	0.000644301	a
Zona-Y	18	0.033	0.000644301	a
Zona-C	18	0.038	0.000644301	b
Zona-H	18	0.057	0.000644301	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 62

Comparación niveles de Zinc por “Zonas de Estudio”

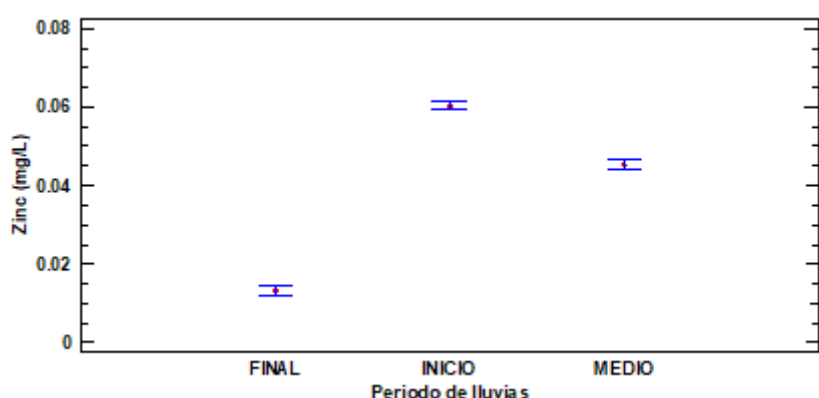


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Tabla 43
Pruebas de Múltiples Rangos para Zinc por “Periodo de las lluvias”

Periodo de lluvias	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
FINAL	24	0.013	0.000557981	a
MEDIO	24	0.045	0.000557981	b
INICIO	24	0.060	0.000557981	c

Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Gráfico 63
Comparación de niveles de Zinc por “Periodo de las lluvias”


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

Para los diferentes factores en estudio, (Temporada – Zona de Estudio - Periodo de la lluvia), se encontró que:

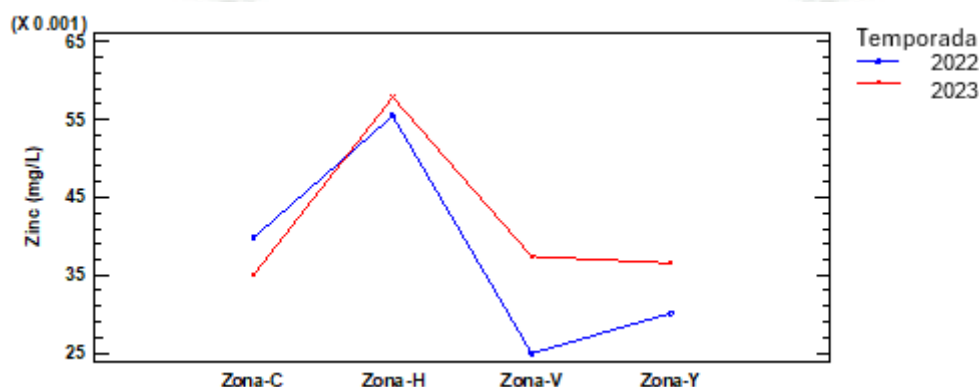
Para el factor “Temporada”, en el 2022 se alcanzan los menores promedios para los niveles de zinc con un valor de 0.038 mg/L, y en la temporada 2023 el valor aumenta a 0.043 mg/L tal como se muestra en la Tabla 41 y Gráfico 61. Ambas temporadas presentan diferencias significativas.

Para el factor “Zonas de Estudio”, también se encontró diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey, esto implica que en la “Zona-H” presentó el promedio más alto en los niveles de zinc, con un valor de 0.057 mg/L y la “Zona-V” que exhibe el valor más bajo, con un promedio de 0.031 mg/L, adicionalmente en la “Zona-C” y “Zona-Y” los promedios estuvieron alrededor de 0.038 mg/L y 0.033 mg/L respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 42 y Gráfico 62.

En lo concerniente a los resultados de la prueba de Tukey respecto a los niveles de zinc para el factor “Periodo de las lluvias”, se apreció que los niveles de zinc al “Inicio” del periodo de las lluvias presentaron el promedio más alto con un valor de 0.060 mg/L seguido por el periodo “Medio” con un contenido de 0.045 mg/L y para el periodo “Final” la disminución fue mucho más severa alcanzando un promedio de 0.013 mg/L tal como se muestra en la Tabla 43 y Gráfico 63.

Gráfico 64

Interacción de niveles de Zinc según “Zonas de Estudio” y “Temporadas”

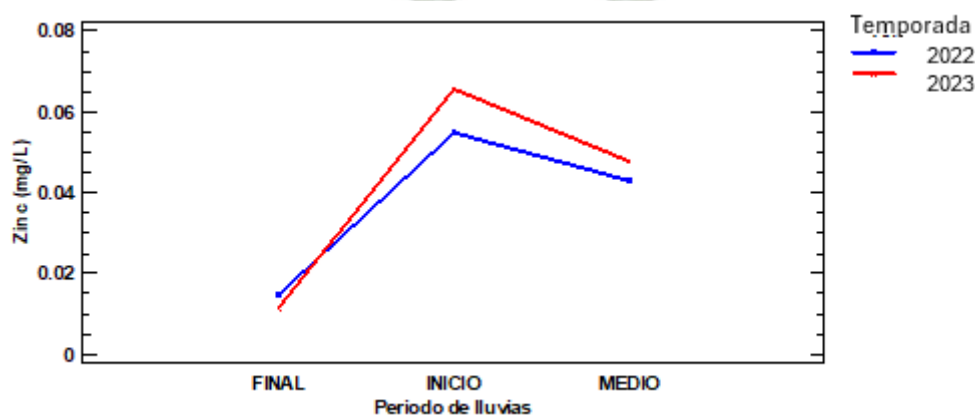


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 64, se muestra la interacción para los niveles de zinc entre “Zonas de Estudio” y “Temporadas” encontrándose que en ambas temporadas para la “Zona-H” se encuentran los niveles de zinc más altos que en la “Zona-C” y “Zona-Y”, adicionalmente la “Zona-V” muestra los valores más bajos de zinc.

Gráfico 65

Interacción de niveles de Zinc según “Periodo de las lluvias” y “Temporadas”

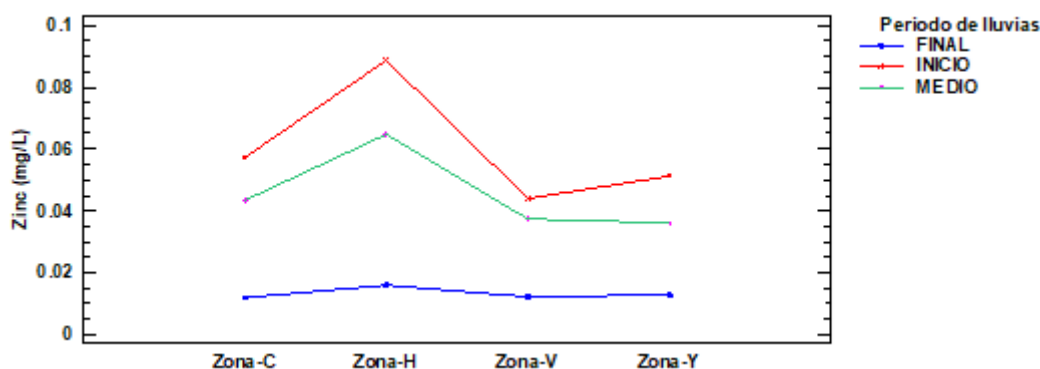


Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

En el Gráfico 65, se muestra la interacción de los niveles de zinc entre “Periodo de las lluvias” y “Temporadas” visualizándose claramente que en ambas temporadas el comportamiento es similar, es decir al “Inicio” se dan los mayores niveles de zinc para luego disminuir en el periodo “Medio” y mucho más en el periodo “Final”.

Gráfico 66

Interacción de niveles de Zinc según “Periodo de las lluvias” y “Zonas de Estudio”



Nota. Statgraphics Method: 95.0 porcentaje Tukey HSD.

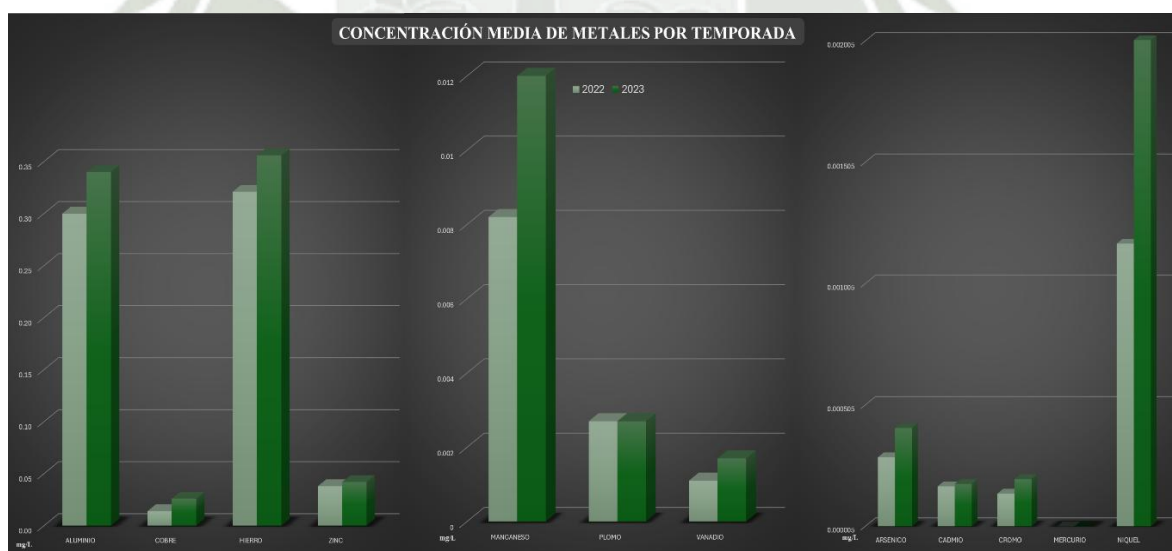
En el Gráfico 66, se muestra la interacción de los niveles de zinc entre “Periodo de las lluvias” y “Zonas” en donde evidenciamos que al “Inicio” en la “Zona-H” los niveles de zinc son los más elevados para luego mostrar una disminución en la “Zona-C” y “Zona-Y” y con la “Zona-V” con los menores niveles. Este mismo comportamiento se da en el nivel “Medio”, en cambio en el periodo de lluvias “Final”, en todas las zonas de estudio los niveles de zinc se mantienen bajos.

3.6. Discusión de resultados

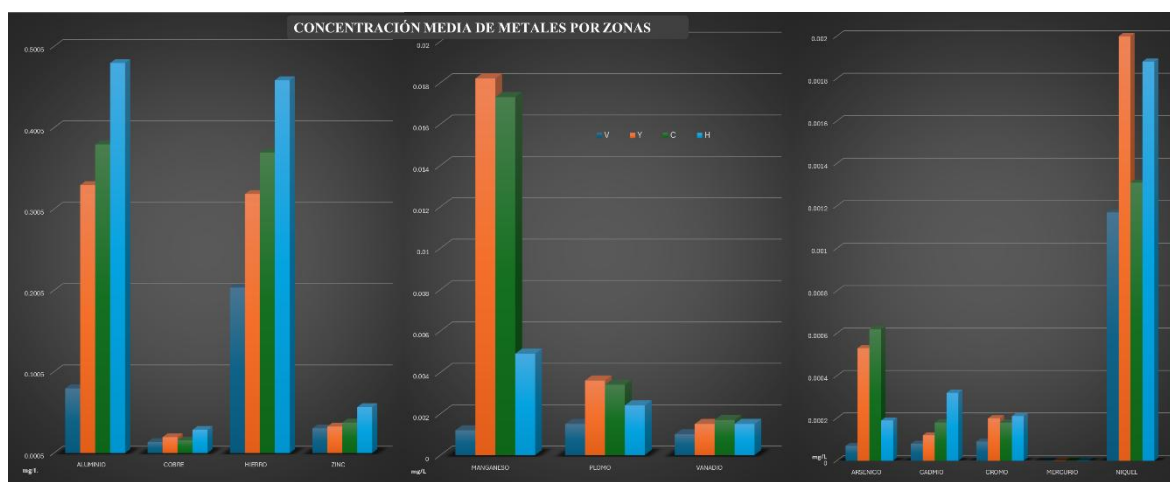
Resumiendo todos los resultados obtenidos podemos indicar que, respecto a la influencia de las temporadas en la concentración de los metales evaluados en el agua de lluvia, se observa que el aluminio, arsénico, cromo, cobre, hierro, manganeso, níquel, vanadio y zinc presentan mayores concentraciones medias en la temporada 2023 a excepción del cadmio y el plomo que no presentan diferencias significativas para sus concentraciones medias entre ambas temporadas como se aprecia en la Figura 28, al respecto no se ha podido vincular dichos resultados con un evento o condición específica que puedan explicar estas diferencias o si es que se trata de una condición aleatoria de la contaminación atmosférica. En cuanto al efecto de las zonas en la concentración de los metales evaluados en el agua de lluvia, como se muestra en la Figura 29 y se observa que la zona H es que la que tiene las

mayores concentraciones de aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc, así mismo la zona Y tiene las concentraciones más altas de manganeso, níquel, plomo, seguido por la zona C que presenta las concentraciones más elevadas de arsénico y vanadio. Ahora, si bien la zona H no es la más comercial ni transitada respecto a las zonas Y y C, está caracterizada por tener zonas áridas y de suelo desnudo, así como la presencia cercana de los cerros que estarían expuestas a la erosión, tornándose en aportantes de materiales particulados a la atmósfera. En contraste, la Zona V presentó las concentraciones más bajas de todos los metales, confirmándose como la zona con menor contaminación atmosférica metálica entre las estudiadas, lo cual era previsible dada su ausencia de actividad comercial y bajo tránsito vehicular. El comportamiento de los metales a lo largo de los periodos de precipitación, según lo ilustrado en la Figura 30, refleja una tendencia compartida; las concentraciones más altas se registran en la etapa inicial, posteriormente dichas concentraciones disminuyen en el período medio y luego vuelven a disminuir aún más en el periodo final; lo cual se explica lógicamente bajo la figura de que la precipitación en su camino hacia la tierra arrastra los materiales particulados suspendidos en la atmósfera (USGS, 2019).

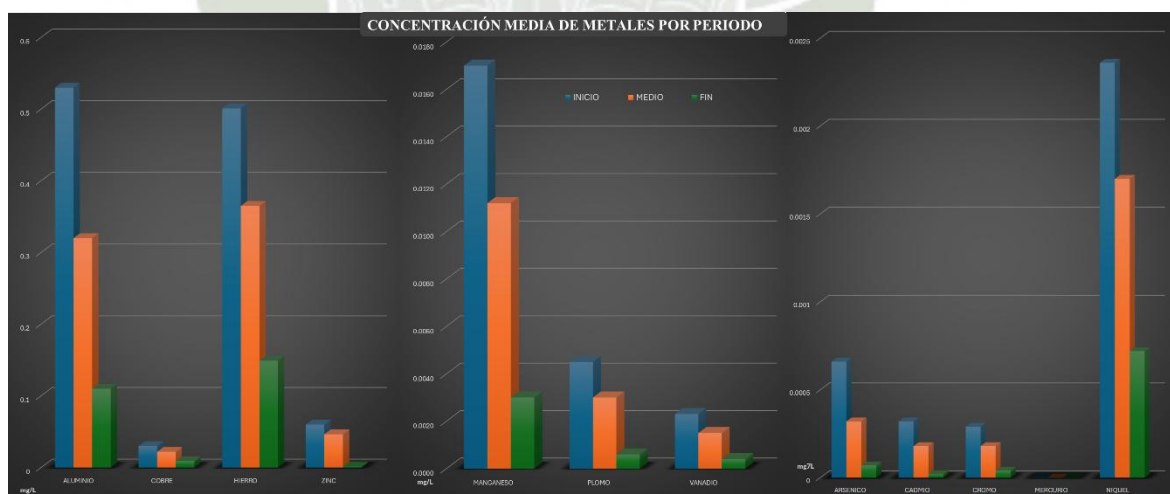
Figura 28
Concentración media de metales por Temporadas



Nota. Este gráfico presenta un resumen de los hallazgos obtenidos tras aplicar un análisis post-hoc de Tukey a los datos originales. Es importante observar que las escalas del eje Y difieren entre los gráficos, ajustándose a los distintos rangos de concentración de cada metal. El mercurio fue incluido solo con fines comparativos.

Figura 29
Concentración media de metales por Zonas


Nota. Este gráfico presenta un resumen de los hallazgos obtenidos tras aplicar un análisis post-hoc de Tukey a los datos originales. Es importante observar que las escalas del eje Y difieren entre los gráficos, ajustándose a los distintos rangos de concentración de cada metal. El mercurio fue incluido solo con fines comparativos.

Figura 30
Concentración media de metales por Periodo


Nota. Este gráfico presenta un resumen de los hallazgos obtenidos tras aplicar un análisis post-hoc de Tukey a los datos originales. Es importante observar que las escalas del eje Y difieren entre los gráficos, ajustándose a los distintos rangos de concentración de cada metal. El mercurio fue incluido solo con fines comparativos.

El Anexo VI detalla los resultados de un estudio que evaluó la calidad del aire en cuatro zonas urbanas de Arequipa. Este análisis se realizó midiendo la concentración de metales en el agua de lluvia durante las temporadas de lluvias de 2022 y 2023. Estos datos revelan que la interacción entre la polución y el ciclo del agua ha hecho que la lluvia no sea solo H_2O , al ser los niveles encontrados una prueba de que dichos elementos se encuentran en la atmósfera y al llover estos son arrastrados en su camino hacia la tierra. La detección de estos elementos en la precipitación subraya la importancia de evaluar la calidad del agua de lluvia como un indicador de la contaminación ambiental. Estos hallazgos presentan potenciales implicaciones para la salud y los ecosistemas, ya que estos metales pueden acumularse en el suelo, los cuerpos de agua y los organismos vivos, generando riesgos para la salud y el medio ambiente (Pabón S. E. et al., 2020).

Asimismo, las lluvias torrenciales en Arequipa provocan un aumento en la turbidez del agua de los ríos y debido a las dificultades que presenta su tratamiento, SEDAPAR se ve forzado a suspender el suministro de agua potable. En consecuencia, el agua de lluvia, al no estar conectada a otras fuentes de agua, representaría una alternativa no tradicional para abastecernos pero a pesar de ser una opción viable, es esencial garantizar su calidad (Hernández Avilés & Chaparro, 2020), de ahí que podríamos contrastar las concentraciones máximas (Tabla 9 - Tabla 10) para los metales de interés: aluminio, arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, vanadio, zinc; que a su vez coinciden con el período inicial de las temporadas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (DS N.º 004-2017-MINAM), categoría A1, establecidos para cuerpos de agua destinados al consumo humano, dado que al tomarlos como punto de referencia es posible examinar si el agua de lluvia recolectada en las zonas estudiadas presenta niveles de metales que podrían representar un peligro para la salud humana o el entorno, especialmente en caso de que esta agua sea almacenada o aprovechada. Esta comparación nos ayudará a entender qué tan limpia o contaminada está el agua de lluvia. A ello se suma la revisión de ciertos estudios realizados en otras regiones, los cuales, si bien presentan diferencias en cuanto a las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas frente al presente estudio, lo que limita una comparación directa, ofrecen datos útiles que enriquecen el análisis. Con respecto a esto, se encuentra que:

Para el caso del aluminio, las concentraciones máximas (0.68 mg/L, 0.76 mg/L), se encuentran por debajo del ECA (0.9 mg/L) durante la temporada 2022 y la temporada 2023.

No obstante, el valor es relativamente elevado, lo que podría reflejar una acumulación significativa de partículas atmosféricas asociadas a actividades humanas.

Asimismo, si bien los resultados de Hernández Avilés (2016), reportan en Turquía, Singapur, Jordania, EE. UU. y Corea del Sur, niveles preocupantes de aluminio en al agua de lluvia, siendo el máximo valor encontrado 1.303 mg/L. Estos niveles los refiere como peligrosos para la salud si se consume el agua y como fuente antropogénica de contaminación, al deterioro de los motores de los vehículos que tienen componentes de este metal. Al respecto, los resultados en este estudio sugieren que la concentración de aluminio no es uniforme en las áreas de estudio, sino que varía significativamente entre las diferentes zonas, como se mostró anteriormente en Tabla 12. Esta presencia metálica puede verse explicada también por el flujo vehicular considerablemente mayor para el caso de las Zona-C y Zona -Y en comparación a la Zona-V y Zona-H (Tabla 6), y para el caso de la Zona-H (0.48 mg/L) estos niveles encontrados pueden estar influenciados por la erosión del suelo y rocas al ser una zona relativamente árida.

Referente al hierro, todas las concentraciones máximas (0.555 mg/L, 0.714 mg/L) y medias superan ampliamente los ECA (0.3 mg/L) durante la temporada 2023, lo que sugiere una fuerte influencia de contaminantes atmosféricos, posiblemente de origen antrópico, sobre la calidad del agua de lluvia en las zonas evaluadas. Durante la temporada 2022, únicamente la Zona-V presenta concentraciones por debajo del valor establecido por el estándar.

En el estudio de Hernández Avilés (2016), en Turquía, Nigeria, Jordania, Corea del Sur y Malasia encontró niveles preocupantes de hierro en al agua de lluvia, el máximo valor encontrado fue 3.43 mg/L, así también Igbiosa & Aighewi (2017), encontró 8 mg/L Fe en Nigeria como nivel máximo en el agua de lluvia, en ambos casos representando un peligro tanto para el medio ambiente como para la salud de quienes la consuman y el origen en algunos casos se debe al transporte de contaminantes y a uso de techos de hierro galvanizado y corrugado. La concentración promedio en el estudio de Rivera-Rivera et al. (2020), en una región mexicana encontró 0.395 mg/L Fe. Al ser las características y condiciones de los lugares que estudiaron los autores diferentes a la nuestra, una comparación directa con los resultados del presente estudio es complicada. Al respecto, los resultados de este estudio sugieren que la concentración de hierro es heterogénea en las zonas de estudio, como se mostró anteriormente en Tabla 12. Estos niveles de hierro pueden verse explicados en la

Zona- H (0.459 mg/L) por la influencia de la erosión y el polvo del suelo que contiene óxido de hierro (Acevedo-Sandoval et al., 2004) que es levantado por los vehículos que transitan por las vías, así como las partículas de hierro provenientes del desgaste de los frenos, neumáticos y diésel (Selley, 2020).

Desde el análisis del arsénico, cadmio, cromo, cobre, manganeso, mercurio, níquel, plomo, zinc todas las concentraciones máximas (Tabla 9, Tabla 10) y medias están por debajo de los ECA (0.01 mg/L As, 0.003 mg/L Cd, 0.05 mg/L Cr, 2 mg/L Cu, 0.4 mg/L Mn, 0.001 mg/L Hg, 0.07 mg/L Ni, 0.01 mg/L Pb y 3 mg/L Zn) para ambas temporadas. En cuanto al vanadio, si bien fue detectado en las muestras de agua de lluvia analizadas en ambas temporadas en todas las zonas, es importante señalar que este elemento no cuenta con un valor límite establecido en los ECA Esta ausencia impide una comparación normativa directa a nivel nacional; sin embargo, su presencia resulta relevante, ya que podría reflejar la influencia de fuentes de emisión atmosférica, como procesos industriales, combustión de hidrocarburos o tráfico vehicular, lo cual merece atención desde el enfoque de vigilancia ambiental y estudios futuros.

El valor máximo de arsénico en el agua de lluvia reportado por Hernández Avilés (2016) es 0.0058 mg/L, así también como valor promedio en el estudio de Rivera-Rivera et al. (2020) tenemos 0,0003 mg/L en el presente estudio se encontró como valor máximo 0.00107 mg/L (temporada 2022) y 0.00129 mg/L (temporada 2023) y como valor medio 0.00062 mg/L (zona-C). El arsénico en el aire y la lluvia suele aumentar cerca de fábricas que lo usan para hacer productos como vidrio, papel y pesticidas (Hernández Avilés, 2016). Los niveles reportados en este estudio pueden sugerir la ausencia de emisiones industriales de arsénico en las zonas estudiadas, sin embargo, este metal puede estar presente de forma natural en las rocas de la zona y cuando se extraen y procesan estos minerales, el arsénico se libera al aire.

La presencia más alta de cadmio reportada por Hernández Avilés (2016) es de 0.384 mg/L, el nivel promedio para Rivera-Rivera et al. (2020) alcanza 0.02 mg/L, 0.00472 mg/L para Carlos Doria-Argumedo (2017), 0.0001 mg/L en el estudio de Anabtawi et al. (2022) y 0.02 mg/L encontrado en el estudio de Arauz-Solís et al. (2023). Los resultados de este estudio reportan niveles máximos de 0.00081 mg/L y 0.00043 mg/L en la temporada 2022 y 2023 respectivamente, así también 0.00032 mg/L (zona- H) como valor medio encontrado,

estos niveles pueden ser resultado de la quema de combustibles fósiles en industrias y vehículos, así como la disposición inadecuada de residuos y actividad minera.

Los niveles más altos de cromo reportados en este estudio 0.00031 mg/L y 0.00048 mg/L en la temporada 2022 y 2023 respectivamente, el valor medio corresponde a 0.00021 mg/L (zona-H), esta presencia metálica en las zonas de estudio en Arequipa sugiere la combinación de actividades industriales (curtiembre, minería), basta recordar la huella aún persistente del curtido del cuero para el medio ambiente local donde la erosión de suelos contaminados podría ser una fuente aportante a los valores encontrados. Así también, Arequipa no solo carece de un relleno sanitario autorizado y una gestión inadecuada de residuos, aún se practica la quema ilegal de basura que no solo contamina el aire con partículas y gases tóxicos, sino que también libera metales entre de ellos el cromo. Otros estudios, Hernández Avilés (2016), reporta valor más alto de 0.06692 mg/L Cr, 0.00431 mg/L en Anabtawi et al. (2022) y 0.041 mg/L en Rivera-Rivera et al. (2020).

Las concentraciones de cobre registradas en este estudio, 0.029 mg/L (zona -H) y como valor máximo 0.044 mg/L en temporada 2023 indican la presencia de este metal en el aire probablemente producto la composición metálica del polvo de frenos del parque vehicular en las zonas de estudio, que incluye además de hierro, cobre, magnesio y titanio (Selley, 2020). Esta presencia de cobre en las zonas de Arequipa puede deberse tanto a procesos naturales (erosión del suelo y la descomposición de materia orgánica) así como actividades humanas (minería), que contribuyen a la liberación de cobre al entorno, incrementando su valor en el aire, ya sea a través de la erosión del suelo o de la quema de combustibles fósiles (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2023). Otros estudios han llegado a reportar niveles preocupantes de hasta 0.993 mg/L Cu en agua de lluvia (Hernández Avilés, 2016).

Según un estudio reciente, la principal vía por la cual el manganeso afecta la salud humana es a través de la inhalación de partículas finas contaminadas con este metal (Markiv et al., 2023). Este estudio encontró los valores máximos en Zona- C (0.0289 mg/L) y Zona-Y (0.0341 mg/L) así también la cantidad media (0.0182 mg/L) encontrada para la Zona-Y es mayor en relación con las demás zonas. Estas zonas tienen mayor flujo vehicular en relación con el resto, lo que sugiere que podría estar usando aditivos mejoradores de octanaje que contienen manganeso (tricarbonilo de metilciclopentadienil manganeso- MMT), en la quema la gasolina que contiene MMT, el manganeso se libera en forma de partículas finas

que son emitidas por el tubo de escape de los vehículos principalmente (Dorman et al., 2006). La determinación exacta de su origen es limitada, dado que puede estar influenciada por múltiples factores, como el polvo resuspendido de las vías, las corrientes de viento o diversas actividades. En el estudio de Hernández Avilés (2016) se reportó para Brasil concentraciones de 0.07532 mg/L y 0.083 mg/L en Rivera-Rivera et al. (2020).

La no detección de mercurio en las muestras analizadas no implica necesariamente la ausencia absoluta de este elemento en el entorno arequipeño. Las concentraciones de mercurio pueden experimentar variaciones temporales y espaciales debido a factores climáticos y antropogénicos. Así lo menciona Hernández Avilés (2016), donde muestra un estudio en Sudáfrica con niveles de mercurio en la lluvia muy variables, con un pico de 0.00991 mg/L asociado al fenómeno del Niño.

La presencia de níquel alcanza un valor máximo en la temporada 2023 (0.00347 mg/L) y un valor medio de 0.00200 mg/L en este estudio, sin embargo, en Hernández Avilés (2016) se reporta como valor más alto encontrado en Turquía 0.06634 mg/L. Las actividades industriales metalúrgicas y mineras en la ciudad, junto con la erosión de suelos contaminados, podrían ser las principales causas de la presencia de níquel en el agua de lluvia de Arequipa.

El tránsito vehicular produce mayores concentraciones de plomo en el aire. La era de la gasolina con plomo llegó a su fin a nivel mundial cuando Argelia, el último país en utilizarla, agotó sus existencias en julio de 2021 (Naciones Unidas, 2021). No obstante, las concentraciones aún son cuantificables (valor medio 0.0036 mg/L, valor máximo 0.0081 mg/L) no solo en las zonas de estudio, sino en varias partes del mundo, esto probablemente esté relacionado con el efecto residual de las partículas de plomo que han quedado suspendidas en el aire como un recordatorio del daño ambiental causado por el uso prolongado de la gasolina con plomo. Así también, el revestimiento y desgaste de los neumáticos, la quema de basura, vertederos no regulados industria minera y metalúrgica continúan siendo una fuente persistente de este metal en el aire. En Hernández Avilés (2016) se reporta como valor máximo 1.71 mg/L Pb para una localidad de Taiwán y otros estudios han llegado a reportar hasta 0.22 mg/L (Arauz-Solís et al., 2023) en agua de lluvia.

El vanadio, presente en combustibles como el diésel y la gasolina, se libera al ambiente durante la combustión vehicular en forma de partículas finas, representando un riesgo para la salud. (Santillán, 2014). En Hernández Avilés (2016), se reporta 0.05341 mg/l,

no obstante, este estudio encontró valores máximos de 0.0039 mg/L y la media más alta en la Zona- C 0.0017 mg/L.

Así también, el tráfico vehicular es una fuente importante de zinc en el ambiente, ya que este metal se adhiere a las partículas finas generadas durante la combustión y el desgaste de los componentes de los vehículos, neumáticos y frenos. (Manchado et al., 2008) Los valores de zinc de 0.057 mg/L (Zona-H) confirman la presencia de este elemento en la atmósfera, y su diferencia respecto a las otras zonas sugiere la combinación de actividades de minería, así como de la presencia potencial de estructuras como calaminas que tienen gran difusión en la zona y que la presentar corrosión liberan este metal a los vientos de manera directa, así como proveniente del polvo del suelo. En Hernández Avilés (2016), los estudios realizados en Sídney han revelado que la contaminación del agua de lluvia por zinc es considerable (59 mg/L). Estos niveles indican que, además de la influencia del material utilizado en la captación del agua, otras fuentes como el tráfico vehicular, con sus emisiones de partículas, y el desgaste de neumáticos, contribuyen significativamente a la presencia de zinc en el agua de lluvia. Situación no menos importante es reportada en Igbinsa & Aighewi (2017), con valores de 3.24 mg/L.

Finalmente, es importante mencionar que la mala calidad del aire es un problema en todo el mundo que afecta a países ricos y pobres por igual. Como se ve, las partículas metálicas en el aire provienen de dos fuentes; procesos naturales, como la erosión del suelo donde el polvo es arrastrado por el viento y actividades humanas, donde la industria y el transporte motorizado siguen siendo las principales causas del deterioro de la calidad del aire en las ciudades. Esto convierte al material particulado en el punto de partida para conocer los metales presentes en el aire, ya que la actual normativa solo regula la presencia de cinco metales: plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo (Ministerio del Ambiente, 2017b), (Ministerio del Ambiente, 2023).

La evaluación del agua de lluvia como vía indirecta para analizar la calidad del aire representa una estrategia novedosa para el estudio de la contaminación metálica de origen atmosférico. Si bien esta metodología no permite estimar con precisión las concentraciones de metales en el aire, facilita la identificación de patrones espaciales y temporales en función de las zonas y periodos de precipitación analizados. Los resultados obtenidos evidencian la presencia de diversos metales en el agua de lluvia, lo que refleja su incorporación desde la atmósfera. Sin embargo, al no existir estándares específicos para el agua de lluvia ni una

normativa nacional que regule la mayoría de estos elementos en el aire, la comparación se realizó con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, que establece límites para diversos metales relevantes desde el punto de vista sanitario y ambiental. Esta aproximación permite contextualizar la magnitud de la contaminación metálica depositada a través de la lluvia y pone en evidencia la necesidad de profundizar en investigaciones que analicen el origen, la dinámica y el posible impacto a largo plazo de estos elementos en el entorno urbano.

En este contexto, y considerando el agua de lluvia como una posible fuente alternativa de abastecimiento para consumo humano contrastada, precisamente, con la normativa de los ECA para agua, su uso podría ser factible en los periodos de lluvia donde las concentraciones metálicas presenten una baja considerable. Es importante señalar que, incluso con esta disminución, los metales pueden seguir siendo contaminantes, por lo que es crucial aplicar restricciones en las zonas de recolección y, fundamentalmente, verificar la calidad microbiológica del agua antes de su consumo.

CONCLUSIONES

Se determina el nivel de concentración de metales en el agua de lluvia como indicador de la calidad del aire en cuatro zonas urbanas de Arequipa durante la temporada de lluvias 2022 y 2023, encontrándose que, de 35 metales analizados en cada una de las muestras de agua de lluvia, sólo fueron cuantificables 29 metales: plata, aluminio, arsénico, boro, bario, calcio, cadmio, cerio, cobalto, cromo, cobre, hierro, potasio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fósforo, plomo, antimonio, selenio, silicio, estaño, estroncio, titanio, vanadio y zinc, y los 06 restantes no fueron detectables en ninguna de las muestras: berilio, bismuto, cesio, mercurio, talio y uranio

Se identifica los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia en las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023: aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, vanadio y zinc.

Se compara los niveles de metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023 encontrándose que, existen diferencias significativas entre las temporadas, así los valores de aluminio, arsénico, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, vanadio y zinc son mayores en la temporada 2023, mientras que cadmio y plomo no muestran diferencias significativas entre las temporadas evaluadas.

Se compara los niveles de metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023 encontrándose que, existen diferencias significativas entre todas las zonas, para aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, níquel y plomo, mientras que, cromo y vanadio no difieren significativamente entre las zonas de Hunter y Yanahuara, y zinc no difiere significativamente entre las zonas de Yanahuara y Vallecito. Adicionalmente se encontró que la zona de Vallecito es la que exhibe las menores concentraciones de metales en el agua de lluvia entre todas las zonas evaluadas.

Se compara los niveles de metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en

el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023 encontrándose que para todos los metales estudiados: aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo, vanadio y zinc, existen diferencias significativas entre los periodos, así los valores más altos encontrados corresponden al “periodo inicial” para luego reducirse en el “periodo medio” y disminuir aún más en el “periodo final” de la temporada de lluvia.



RECOMENDACIONES

Realizar un estudio comparativo de contenido de metales en muestras de agua de lluvia dentro de una misma zona para evaluar el grado de variabilidad en las concentraciones de metales.

Incluir un estudio del contenido de metales en muestras de agua de lluvia de una zona agrícola alejada de la población y de una zona industrial para evaluar el efecto antropogénico respecto a las muestras urbanas del presente.

Llevar a cabo un estudio del contenido de metales en muestras de agua de lluvia en una misma estación asociando la cantidad de días sin precipitación (previos la lluvia) como un parámetro de comparación respecto a la disminución de la concentración de estos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Sandoval, O., Ortiz-Hernández, E., Cruz-Sánchez, M., & Cruz-Chávez, E. (2004). El papel de óxido de hierro en los suelos. *Terra Latinoamericana*, 22, 485–497. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311096013>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2023). *Resúmenes de Salud Pública*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phsindex.html
- Alegre Bustamante, L. M. (2022). *Evaluación del riesgo de exposición de metales pesados en el agua sobre las poblaciones adyacentes de las quebradas Pacchac y Pucaurán Huaraz-Ancash, entre los años 1996 al 2014*.
- Al-Khashman, O. A. (2009). Chemical characteristics of rainwater collected at a western site of Jordan. *Atmospheric Research*, 91(1). <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.05.007>
- Anabtawi, F., Mahmoud, N., Al-Khatib, I. A., & Hung, Y.-T. (2022). Heavy Metals in Harvested Rainwater Used for Domestic Purposes in Rural Areas: Yatta Area, Palestine as a Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2683. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052683>
- Angelica Rubio, M., Lissi, E., Riveros, V., Maritza, Y., & Paez, A. (2001). Remoción de contaminantes por lluvias y rocíos en la región metropolitana. *Boletín de La Sociedad Chilena de Química*, 46(3). <https://doi.org/10.4067/s0366-16442001000300014>
- Arauz-Solís, M. D., Salas-Alemán, J. G., Florencio-Martínez, M. S., Colunga-Urbina, E. M., & De la Garza-Rodríguez, I. M. (2023). Análisis de la composición de agua de lluvia en la ciudad de Saltillo, Coahuila. *Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 11(Especial). <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iespecial.10355>
- Arias Gonzales, J. M. C. G. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf
- Baird, C. (2001). *Química Ambiental*. <https://books.google.com.pe/books?id=bgUaHUqGPYIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

- Baker, A. R., Thomas, M., Bange, H. W., & Plasencia Sánchez, E. (2015). Soluble trace metals in aerosols over the tropical south-east Pacific offshore of Peru. *Biogeosciences*, 13(3). <https://doi.org/10.5194/bg-13-817-2016>
- Başak, B., & Alagha, O. (2010). Trace metals solubility in rainwater: evaluation of rainwater quality at a watershed area, Istanbul. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(1–4), 493–503. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1066-7>
- Cárdenas Silva, J. M. (2014). *Guía para realizar el monitoreo de la precipitación: Midiendo la cantidad de precipitación.* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://globeperu.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/04/d-guia-midiendo-la-cantidad-de-precipitacion3b3n.pdf>
- Carlos Doria-Argumedo. (2017). Metales pesados (Cd, Cu, V, Pb) en agua lluvia de la zona de mayor influencia de la mina de carbón en La Guajira, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 46(2), 37–44. <https://doi.org/doi.org/https://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n2.60533>
- Christina Nunez. (2017). La contaminación del aire. *Revista Nat Geo*, 1–2. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-aire-atmosferica>
- Cohen, A. J., Samet, J. M., Straif, K., & International Agency for Research on Cancer. (2013). *Air pollution and cancer*. International Agency for Research on Cancer.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2017). *Clasificación de los contaminantes del aire ambiente.*
- Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, & Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento de México. (2021, September 15). *NOM-026-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.* https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634085&fecha=29/10/2021
- Consejo de la Unión Europea. (1998). Directiva 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. In *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.

- Cristina, P., Moscoso, N., Rojas Sánchez, J. M., Rodas Espinoza, C., & Pesados, S. M. (2021). Metales pesados. *COLOQUIO*, 66, 72–77. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/coloquio/article/view/429>
- Cruz Campas, M. E., Gómez Álvarez, A., Ramírez Leal, R., Villalba Villalba, A. G., Monge Amaya, O., Varela Salazar, J., Quiroz Castillo, J. M., & Duarte Tagles, H. F. (2017). Calidad del aire respecto de metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) y relación con salud respiratoria: Caso Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(esp02), 23–34. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.02>
- Delgado, C., Bautista, F., Gogichaishvili, A., Cortés, J. L., Quintana, P., Aguilar, D., & Cejudo, R. (2019). Identificación de las zonas contaminadas con metales pesados en El polvo urbano de la Ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(1), 81–100. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.06>
- Dirección General de Salud Ambiental DIGESA. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*.
- Dirección General de Salud Ambiental DIGESA. (2009). *Inventario de Emisiones de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Arequipa*. 2009.
- Dorman, D. C., Struve, M. F., Clewell, H. J., & Andersen, M. E. (2006). Application of pharmacokinetic data to the risk assessment of inhaled manganese. *NeuroToxicology*, 27(5), 752–764. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2006.03.003>
- Encinas Malagón, M. D. (2011). *Medio ambiente y contaminación. Principios básicos*. (1ª Edición).
- Enriquez Vicuña, J. F. (2021). *Caracterización del material particulado para la evaluación de la calidad del aire en el ovalo San Lázaro - Arequipa*.
- Environmental Protection Agency. (2023, September 29). *Criteria Air Pollutants*.
- Fabián Camilo Lesmes, C. L. Á. C. Y. A. (2023). *Economía e innovación ambiental: conceptos, herramientas y aplicaciones*. (Primera). https://www.researchgate.net/publication/371952069_Economia_e_Innovacion_Ambiental_Conceptos_Herramientas_y_Aplicaciones
- Fernández Bao, S. (2020). *Diseño de experimentos: Diseño factorial*. [Universitat Politècnica de Catalunya]. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf?sequence=1

Frías, L. (2018). El agua de lluvia no sirve para beber. *Gaceta UNAM*.
<https://www.gaceta.unam.mx/el-agua-de-lluvia-no-sirve-para-beber/>

Gerencia Regional de Salud Arequipa. (2023). *Reporte - Material Particulado PM10 Bajo Volumen*. <https://www.saludarequipa.gob.pe/unidades-organicas-3/dir-ejec-de-salud-ambiental/ecologia-proteccion-del-ambiente-y-salud-ocupacional/vigilancia-de-la-calidad-del-aire/material-particulado-bajo/>

Google Earth Pro. (n.d.). Retrieved October 20, 2021, from
<https://maps.google.com/intl/es/earth/download/gep/agree.html>

Han, Y., Xu, H., Bi, X., Lin, F., Jiao, L., Zhang, Y., & Feng, Y. (2019). The effect of atmospheric particulates on the rainwater chemistry in the Yangtze River Delta, China. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(12), 1452–1466.
<https://doi.org/10.1080/10962247.2019.1674750>

Hernández Avilés, D. M. (2016). *Metales pesados en el agua de lluvia* [Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/528>

Hernández Avilés, D. M., & Chaparro, T. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 97–107.
<https://doi.org/10.18359/rcin.4409>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Diseño y metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (McGraw-Hill.
<https://ebooks7-24-com.ucsp.lookproxy.com/?il=6443>, Ed.).

Herrera-Murillo, J., & Rodríguez-Román, S. (2009). Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica. Primera parte. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(2).

Huamán Torres, L. J. (2019). *Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en la población infantil del centro poblado de Paragsha para determinar la incidencia probable de la exposición ambiental frente a las sustancias producidas por la actividad minera - Distrito de Simón Bolívar- Cerro de Pasco – 2018*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1663>

- Ibáñez Cornejo, J. G. et all. (2013). *Química ambiental*. (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, Ed.; 1° Edición).
- Igbinosa, I. H., & Aighewi, I. T. (2017). Assessment of the Physicochemical and Heavy Metal Qualities of Rooftop Harvested Rainwater in a Rural Community. *Global Challenges*, 1(6). <https://doi.org/10.1002/gch2.201700011>
- ILI Logística Internacional. (2009). *Estudio de localización, factibilidad y diseños de esquemas de gestión de Plataforma Logística al Sur de Perú*.
- INEI. (2018). *Resultados definitivos Arequipa - Instituto Nacional de Estadística e Informática*.
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1551/04TOMO_01.pdf
- Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal), 2018. (2017, November 2). *La exposición al hierro presente en el aire podría afectar a la motricidad fina*.
<https://www.isglobal.org/-/la-exposicion-al-hierro-presente-en-el-aire-podria-afectar-a-la-motricidad-fina>
- Jomolca-Parra, Y., Lima-Cazorla, L., & Manduca-Artiles, M. (2013). Determinación de concentraciones y flujos atmosféricos de metales pesados y radionucleidos de interés ambiental en deposiciones atmosféricas totales. *Revista Cubana de Química*, XXV, 345–363.
- Khayan, K., Heru Husodo, A., Astuti, I., Sudarmadji, S., & Sugandawaty Djohan, T. (2019). Rainwater as a Source of Drinking Water: Health Impacts and Rainwater Treatment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2019, 1–10.
<https://doi.org/10.1155/2019/1760950>
- Manchado, A., García, N., García César, 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*. 24, 171–182.
- Markiv, B., Expósito, A., Ruiz-Azcona, L., Santibáñez, M., & Fernández-Olmo, I. (2023). Environmental exposure to manganese and health risk assessment from personal sampling near an industrial source of airborne manganese. *Environmental Research*, 224, 115478. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115478>

- Meteoblue. (2023). *Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Arequipa*.
https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/arequipa_per%C3%BA_3947322
- Migliavacca, D., Teixeira, E., Wiegand, F., Machado, A., & Sánchez, J. (2005). Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaíba hydrographic basin, Brazil. *Atmospheric Environment*, 39(10), 1829–1844.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.12.005>
- Ministerio de la Presidencia, R. con las C. y M. Democrática. (2023). *Real Decreto 34/2023, de 24 de enero, por el que se modifican el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire; el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, aprobado mediante el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre; y el Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos*.
- Ministerio de Medio Ambiente, conservación y parques de O. (2020, December 9). *Criterios de calidad del aire ambiental de Ontario. Canadá*.
<https://www.ontario.ca/page/ontarios-ambient-air-quality-criteria>
- Ministerio de Salud. (2010). *Decreto Supremo N° 031-2010-SA: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*.
- Ministerio de Salud. (2020). *Resolución Ministerial N.° 1026-2020-MINSA. Directiva Sanitaria que establece el procedimiento para el abordaje integral de la población expuesta a metales pesados, metaloides y otras sustancias químicas*.
- Ministerio de Salud, M. (2023, October). *¿Qué son los metales pesados?*
<https://www.gob.pe/47991-que-son-los-metales-pesados>
- Ministerio del Ambiente. (2017a). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*.
- Ministerio del Ambiente. (2017b, June 7). *Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias*. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/>

- Ministerio del Ambiente. (2019, December 2). *Decreto Supremo N.º 10-2019-MINAM. Aprobación del protocolo Nacional de monitoreo de la calidad Ambiental del Aire.*
- Ministerio del Ambiente. (2021, June 29). *Efectos de la contaminación del aire.*
<https://infoaireperu.minam.gob.pe/efectos-de-la-contaminacion-del-aire/>
- Ministerio del Ambiente. (2023, November 22). *Decreto Supremo N.º 0011-2023-MINAM Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de aire de los parámetros cadmio, arsénico y cromo en material particulado menor a diez micras (PM10).*
<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/4880911-0011-2023-minam>
- Mora, J., Sibaja, J., & Borbón, H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología En Marcha*, 34(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2022). *Plan de desarrollo local concertado de Arequipa 2016 - 2021.*
- Naciones Unidas. (2021, August 30). *El mundo pone fin a la era de la gasolina con plomo y elimina una grave amenaza para la salud humana y ambiental.*
<https://news.un.org/es/story/2021/08/1496062>
- Ordoñez-Aquino, C., & Gonzales, G. F. (2023). Calidad del aire en Perú no se ajusta a los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). *Revista Médica Herediana*, 34(4), 236–238. <https://doi.org/10.20453/rmh.v34i4.5155>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2015). *Instrumentos Básicos para la fiscalización ambiental.*
- Organización Meteorológica Mundial. (2022, September). La calidad del aire y el clima. *Boletín de La OMM Sobre La Calidad Del Aire y El Clima*; 2, 1–10.
https://library.wmo.int/records/item/58192-n-2-septiembre-de-2022?language_id=13&back=&offset=
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda.*
- Organización Mundial de la Salud. (2019, July 30). *Air pollution.* Organización Mundial de La Salud. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

- Pabón S. E., Benítez R., Sarria-Villa R. A., & Gallo J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14, 9–18.
- Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea. (2004). *Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente*.
- Pedro Jiménez. (2019). *Estudio de la contaminación* (1st ed.).
- Perú. Consejo Nacional del Ambiente Programa Regional de Aire Limpio. (2005). *Plan a limpiar el aire. Gesta Zonal de Aire Arequipa*.
<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/281>
- Quenaya Calle, E. C. (2018). *Impacto de la contaminación del aire por el parque automotor en la población del área urbana de Arequipa 2016 – 2017*.
<https://repositorio.unsa.edu.pe/items/168de091-f261-46fe-8ebb-7a5a1a7377e9>
- Raffa, C. M., Chiampo, F., & Shanthakumar, S. (2021). Remediation of Metal/Metalloid-Polluted Soils: A Short Review. *Applied Sciences*, 11(9), 4134.
<https://doi.org/10.3390/app11094134>
- Rivera-Rivera, D. M., Escobedo-Urías, D. C., Jonathan, M. P., Sujitha, S. B., & Chidambaram, S. (2020). Evidence of Natural and Anthropogenic Impacts on Rainwater Trace Metal Geochemistry in Central Mexico: A Statistical Approach. *Water*, 12(1), 192. <https://doi.org/10.3390/w12010192>
- Santillán, M. L. (2014, July 9). Respiramos vanadio, un contaminante dañino. *Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de Divulgación de La Ciencia*.
https://ciencia.unam.mx/leer/367/Respiramos_vanadio_un_contaminante_danino
- Selley, L. (2020, January 30). *La contaminación del polvo de frenos podría ser tan dañina para los pulmones como las emisiones de diésel*. The Conversation.
<https://theconversation.com/la-contaminacion-del-polvo-de-frenos-podria-ser-tan-danina-para-los-pulmones-como-las-emisiones-de-diesel-129920>
- SENAMHI. (2023). *Tiempo / Pronóstico del Tiempo*. 2023.
<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=pronostico-detalle>

- Teutli León, M. M. M., Sánchez Hernández, A. A., & Moreno Gutiérrez, E. (2021). Calidad del agua de lluvia en Atlixco, Puebla. *DECUMANUS*, 6(6), 1–17. <https://doi.org/10.20983/decumanus.2021.1.1>
- Thermo Fisher Scientific. (2012). *iCAP Q Operating Manual*. . chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/1288090-iCAP-Q-Operating-Manual-RevB.pdf>
- Thomas, R. (2003). *Practical Guide to ICP-MS: A Tutorial for Beginners*.
- Trujillo, J. E., Caballero, J. E., & Ramón, J. D. (2021). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM10 del Municipio de San José de Cúcuta, norte de Santander. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 10(1). <https://doi.org/10.24054/aaas.v10i1.402>
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1). <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.12.003>
- UNSA, UCSM, & UCSP. (2023). *Agenda para el Desarrollo de Arequipa 2023-2026*.
- USGS. (2019). *O Ciclo d'água, The water cycle, Portuguese*. Water Science School.
- V. P. Singh. (2005). *Toxic Metals and Environmental Issues*. https://books.google.com.pe/books/about/Toxic_Metals_and_Environmental_Issues.html?id=0VDSLdpODvkC&redir_esc=y
- Vithanage, M., Bandara, P. C., Novo, L. A. B., Kumar, A., Ambade, B., Naveendrakumar, G., Ranagalage, M., & Magana-Arachchi, D. N. (2022). Deposition of trace metals associated with atmospheric particulate matter: Environmental fate and health risk assessment. *Chemosphere*, 303, 135051. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135051>
- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Zona Rubio, D. C., Páez Mora, C. D., Ramírez Arenas, N. S., & Soler Guatibonza, A. M. (2022). Efectos de la contaminación ambiental sobre la salud de la población mediante

una revisión narrativa. *Revista Colombiana de Neumología*, 34(2).

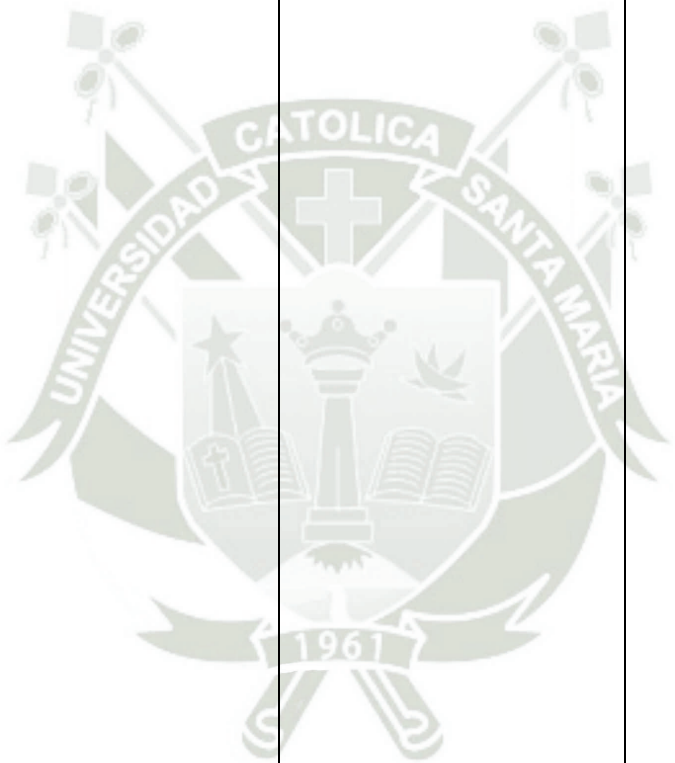
<https://doi.org/10.30789/rcneumologia.v34.n2.2022.553>



ANEXOS

Anexo I. Matriz de Consistencia

			OPERACIONALIZACIÓN		
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema principal: ¿Cuál es el nivel de concentración de metales en el agua de lluvia y como reflejan la calidad del aire en cuatro zonas urbanas de Arequipa durante la temporada de lluvias 2022 y 2023? Problemas secundarios ¿Cuáles son los metales relevantes asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia? ¿Existen diferencias significativas en las	Objetivo general: Determinar el nivel de concentración de metales en el agua de lluvia como indicador de la calidad del aire en cuatro zonas urbanas de Arequipa durante la temporada de lluvias 2022 y 2023. Objetivos específicos: Identificar los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia en las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023 Comparar los niveles de los metales más relevantes,	Se plantea que las concentraciones de metales más relevantes, asociados a contaminación del aire en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Cayma, Vallecito y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023 presentarán variaciones significativas, tanto espacial como temporalmente, lo que reflejará diferencias en sus concentraciones.	Variable Dependiente (VD) Concentración de metales en el agua de lluvia. Variable Independiente (VI) Temporada de lluvia Zona de estudio Periodo de lluvia	Niveles de concentración de cada metal medidos en el agua de lluvia y expresados en miligramos por litro (mg/L). Lluvias registradas desde el 01 de diciembre del 2021 al 30 de abril 2022 y desde 01 de diciembre del 2022 al 30 de abril del 2023 Coordenadas geográficas y características de actividad económica-comercial y flujo vehicular de cada zona: Cayma, Hunter, Vallecito y Yanahuara. Etapas dentro de la temporada de lluvia: inicio, medio y final.	Tipo de investigación: correlacional comparativa Enfoque: Cuantitativo, cuasiexperimental, longitudinal. Población: El agua de lluvia que cayó en cada zona de estudio durante la temporada de lluvia 2022 y 2023. Muestra: El agua de lluvia correspondiente a las zonas de estudio en los periodos inicio, medio y final de cada temporada de lluvia Técnicas: Muestreo de agua de lluvia en cada zona urbana durante eventos de precipitación en la temporada de lluvia 2022 y 2023. Análisis de muestras en laboratorio para determinar la concentración de metales. Comparación estadística de los datos recolectados en distintos momentos para observar comportamientos y diferencias entre temporadas, zonas y periodos. Instrumentos: Colectores de PEAD para recolección de agua de lluvia.

concentraciones de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia entre la temporada de lluvia 2022 y 2023?	asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023, para evaluar si existen diferencias significativas entre temporadas.				Equipo de espectrometría ICP-MS para análisis de concentración de metales. Software estadístico: Statgraphics Centurion
¿Existen diferencias significativas en las concentraciones de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia entre las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara?	Comparar los niveles de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023, para evaluar si existen diferencias significativas entre zonas.				
¿Existen diferencias significativas en las concentraciones de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia, entre los periodos inicial, medio y final?	Comparar los niveles de los metales más relevantes, asociados a contaminación del aire, en el agua de lluvia de las zonas urbanas de Hunter, Vallecito, Cayma y Yanahuara, en el periodo				

	inicial, medio y final de la temporada de lluvia 2022 y 2023, para evaluar si existen diferencias significativas entre periodos.				
--	--	--	--	--	--



Anexo II. Resultados de Blancos de Campo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 6717 - 2021

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-V Blanco R-1	T-2022 Zona-V Blanco R-2	T-2022 Zona-V Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

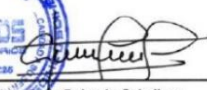
- * mg/L.: miligramos por litro de muestra
- * N.D.: No detectado
- * Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

- * Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2021


Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-05-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6716 - 2021

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-H Blanco R-1	T-2022 Zona-H Blanco R-2	T-2022 Zona-H Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 8020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2021



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6715 - 2021

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-C Blanco R-1	T-2022 Zona-C Blanco R-2	T-2022 Zona-C Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 8020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2021



Lic. Celia Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6714 - 2021

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-Y Blanco R-1	T-2022 Zona-Y Blanco R-2	T-2022 Zona-Y Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estañó)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 8020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2021



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6159 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-V Blanco R-1	T-2023 Zona-V Blanco R-2	T-2023 Zona-V Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2022



Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-06-06-IE Version 02

Av. Quíñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6158 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-H Blanco R-1	T-2023 Zona-H Blanco R-2	T-2023 Zona-H Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefa de Operaciones

PRP-06-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6157 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-C Blanco R-1	T-2023 Zona-C Blanco R-2	T-2023 Zona-C Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 6156 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-Y Blanco R-1	T-2023 Zona-Y Blanco R-2	T-2023 Zona-Y Blanco R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
P (Fósforo)	0.004	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

27 de noviembre de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo III. Registro de muestras de lluvia – Temporada 2022

REGISTRO DE MUESTRAS DE LLUVIA – TEMPORADA 2022																																	
DÍA / MES / AÑO	1/12/2021	2/12/2021	3/12/2021	4/12/2021	5/12/2021	6/12/2021	7/12/2021	8/12/2021	9/12/2021	10/12/2021	11/12/2021	12/12/2021	13/12/2021	14/12/2021	15/12/2021	16/12/2021	17/12/2021	18/12/2021	19/12/2021	20/12/2021	21/12/2021	22/12/2021	23/12/2021	24/12/2021	25/12/2021	26/12/2021	27/12/2021	28/12/2021	29/12/2021	30/12/2021	31/12/2021		
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	0	0	0	T	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DÍA / MES / AÑO	1/01/2022	2/01/2022	3/01/2022	4/01/2022	5/01/2022	6/01/2022	7/01/2022	8/01/2022	9/01/2022	10/01/2022	11/01/2022	12/01/2022	13/01/2022	14/01/2022	15/01/2022	16/01/2022	17/01/2022	18/01/2022	19/01/2022	20/01/2022	21/01/2022	22/01/2022	23/01/2022	24/01/2022	25/01/2022	26/01/2022	27/01/2022	28/01/2022	29/01/2022	30/01/2022	31/01/2022		
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	0	0	0	0	0	5.3	T	0.2	0.7	0	T	1.9	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	2.8	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-Y	0	0	0	0	0	3	0	C.I.	0	0	0	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-C	0	0	0	0	0	3	0	C.I.	0	0	0	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-H	0	0	0	0	0	3	0	0	C.I.	0	0	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zona-V	0	0	0	0	0	3	0	C.I.	C.I.	0	0	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DÍA / MES / AÑO	1/02/2022	2/02/2022	3/02/2022	4/02/2022	5/02/2022	6/02/2022	7/02/2022	8/02/2022	9/02/2022	10/02/2022	11/02/2022	12/02/2022	13/02/2022	14/02/2022	15/02/2022	16/02/2022	17/02/2022	18/02/2022	19/02/2022	20/02/2022	21/02/2022	22/02/2022	23/02/2022	24/02/2022	25/02/2022	26/02/2022	27/02/2022	28/02/2022	-	-	-		
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	4.8	T	0.1	0.1	0	0	0.4	0	3.8	4.3	1.9	T	1.6	-	-	-		
Zona-Y	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	C.I.	C.I.	0	0	C.I.	0	3	3	3	0	3	-	-	-		
Zona-C	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	C.I.	C.I.	0	0	C.I.	0	3	3	3	0	3	-	-	-		
Zona-H	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	C.I.	C.I.	0	0	C.I.	0	3	3	3	0	3	-	-	-		

Zona-V	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	C.I.	C.I.	0	0	C.I.	0	3	3	3	0	3	-	-	-
DÍA / MES / AÑO	1/03/2022	2/03/2022	3/03/2022	4/03/2022	5/03/2022	6/03/2022	7/03/2022	8/03/2022	9/03/2022	10/03/2022	11/03/2022	12/03/2022	13/03/2022	14/03/2022	15/03/2022	16/03/2022	17/03/2022	18/03/2022	19/03/2022	20/03/2022	21/03/2022	22/03/2022	23/03/2022	24/03/2022	25/03/2022	26/03/2022	27/03/2022	28/03/2022	29/03/2022	30/03/2022	31/03/2022
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	0.3	3.7	T	4.9	6.3	2	6.2	0.9	1.3	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona-Y	0	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona-C	0	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona-H	C.I.	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona-V	0	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DÍA / MES / AÑO	1/04/2022	2/04/2022	3/04/2022	4/04/2022	5/04/2022	6/04/2022	7/04/2022	8/04/2022	9/04/2022	10/04/2022	11/04/2022	12/04/2022	13/04/2022	14/04/2022	15/04/2022	16/04/2022	17/04/2022	18/04/2022	19/04/2022	20/04/2022	21/04/2022	22/04/2022	23/04/2022	24/04/2022	25/04/2022	26/04/2022	27/04/2022	28/04/2022	29/04/2022	30/04/2022	-
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-Y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

0 Sin muestra

3 Cantidad de muestra recolectada

C.I. Muestra recolectada/cantidad insuficiente para análisis.

* Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024)

Anexo IV. Registro de muestras de lluvia – Temporada 2023

REGISTRO DE MUESTRAS DE LLUVIA - TEMPORADA 2023																																	
DÍA / MES / AÑO	1/12/2022	2/12/2022	3/12/2022	4/12/2022	5/12/2022	6/12/2022	7/12/2022	8/12/2022	9/12/2022	10/12/2022	11/12/2022	12/12/2022	13/12/2022	14/12/2022	15/12/2022	16/12/2022	17/12/2022	18/12/2022	19/12/2022	20/12/2022	21/12/2022	22/12/2022	23/12/2022	24/12/2022	25/12/2022	26/12/2022	27/12/2022	28/12/2022	29/12/2022	30/12/2022	31/12/2022		
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	0	0	0	0	0	0	1.8	2.8	0	0.9	0	0.4	0.5	0	4.8	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	6.4		
Zona-Y	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3	0	C.I.	C.I.	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3		
Zona-C	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3	0	C.I.	C.I.	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3		
Zona-H	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3		
Zona-V	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3		
DÍA / MES / AÑO	1/01/2023	2/01/2023	3/01/2023	4/01/2023	5/01/2023	6/01/2023	7/01/2023	8/01/2023	9/01/2023	10/01/2023	11/01/2023	12/01/2023	13/01/2023	14/01/2023	15/01/2023	16/01/2023	17/01/2023	18/01/2023	19/01/2023	20/01/2023	21/01/2023	22/01/2023	23/01/2023	24/01/2023	25/01/2023	26/01/2023	27/01/2023	28/01/2023	29/01/2023	30/01/2023	31/01/2023		
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0	0	0	17	4.5	2.6	2.7	10	4.1	1.4		
Zona-Y	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3		
Zona-C	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3		
Zona-H	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3		
Zona-V	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3		
DÍA / MES / AÑO	1/02/2023	2/02/2023	3/02/2023	4/02/2023	5/02/2023	6/02/2023	7/02/2023	8/02/2023	9/02/2023	10/02/2023	11/02/2023	12/02/2023	13/02/2023	14/02/2023	15/02/2023	16/02/2023	17/02/2023	18/02/2023	19/02/2023	20/02/2023	21/02/2023	22/02/2023	23/02/2023	24/02/2023	25/02/2023	26/02/2023	27/02/2023	28/02/2023	-	-	-		
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	3.1	7.6	6.1	1.4	12	2.3	0	4.1	0	1.5	0.3	2.2	0	6.7	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-		
Zona-Y	3	3	3	3	3	3	0	3	0	3	C.I.	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-		
Zona-C	3	3	3	3	3	3	0	3	0	3	C.I.	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-		
Zona-H	3	3	3	3	3	3	0	3	0	3	C.I.	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-		

Zona-V	3	3	3	3	3	3	0	3	0	3	C.I.	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
DÍA / MES / AÑO	1/03/2023	2/03/2023	3/03/2023	4/03/2023	5/03/2023	6/03/2023	7/03/2023	8/03/2023	9/03/2023	10/03/2023	11/03/2023	12/03/2023	13/03/2023	14/03/2023	15/03/2023	16/03/2023	17/03/2023	18/03/2023	19/03/2023	20/03/2023	21/03/2023	22/03/2023	23/03/2023	24/03/2023	25/03/2023	26/03/2023	27/03/2023	28/03/2023	29/03/2023	30/03/2023	31/03/2023
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	0	0	0	0	4.4	0	0.1	0	0	1.7	0.7	0	0	5	0	0	3.7	T	1.5	1.5	0	0	0	3.1	S/D	0	0	0	0	T	T
Zona-Y	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	C.I.	0	0	3	0	0	3	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Zona-C	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	C.I.	0	0	3	0	0	3	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Zona-H	0	0	0	0	3	0	C.I.	0	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Zona-V	0	0	0	0	3	0	C.I.	0	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
DÍA / MES / AÑO	1/04/2023	2/04/2023	3/04/2023	4/04/2023	5/04/2023	6/04/2023	7/04/2023	8/04/2023	9/04/2023	10/04/2023	11/04/2023	12/04/2023	13/04/2023	14/04/2023	15/04/2023	16/04/2023	17/04/2023	18/04/2023	19/04/2023	20/04/2023	21/04/2023	22/04/2023	23/04/2023	24/04/2023	25/04/2023	26/04/2023	27/04/2023	28/04/2023	29/04/2023	30/04/2023	-
PRECIPITACIÓN (mm/día) *	0	0	1.8	2.3	3	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-Y	0	0	3	3	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-C	0	0	3	3	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-H	0	0	3	3	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Zona-V	0	0	3	3	3	0	0	C.I.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

0 Sin muestra

3 Cantidad de muestra recolectada

C.I. Muestra recolectada/cantidad insuficiente para análisis.

* Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024)

Método 6020B: Procedimiento de Análisis Químico para Muestras Líquidas

1. Objetivo y alcance

Objetivo: Determinar concentraciones de elementos en muestras líquidas utilizando ICP-MS.

Alcance: Aplicable a agua y extractos de desechos, con capacidad para analizar más de 60 elementos.

2. Toma de muestra y preparación

Filtración: Filtrar las muestras para eliminar sólidos suspendidos.

Preservación: Acidificar las muestras con ácido (por ejemplo, HNO_3) para preservar los analitos.

Almacenamiento: Conservar las muestras en condiciones adecuadas (refrigeración) hasta el análisis.

Digestión: Para muestras que requieren análisis de elementos totales, realizar una digestión ácida (por ejemplo, usando HNO_3 y HCl) según el tipo de muestra.

Dilución: Diluir las muestras si es necesario para que caigan dentro del rango de calibración del instrumento.

3. Equipos, materiales y reactivos

Espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): Debe tener una resolución de al menos 1.0 u y un rango de masas de 6 a 240 u.

Gases: Argón de alta pureza (99.99%).

Material de laboratorio: Matraz volumétrico, pipetas volumétricas, y otros utensilios de vidrio de calidad analítica.

Ácidos: Utilizar ácidos de alta pureza (HNO_3 , HCl , HF) para la preparación de estándares y muestras.

Estándares de calibración: Preparar soluciones estándar a partir de soluciones madre de alta pureza, asegurando que sean compatibles con los analitos de interés.

4. Calibración del Instrumento

Calibración inicial: Realizar una curva de calibración utilizando estándares de concentración conocida.

Verificación de calibración: Utilizar un estándar de verificación inicial (ICV) y un blank de calibración (ICB) para asegurar la precisión de la calibración.

5. Análisis de Muestras

Condiciones de operación: Ajustar el instrumento según las especificaciones del fabricante y permitir un tiempo de estabilización de al menos 30 minutos.

Nebulización: Nebulizar cada muestra hasta alcanzar un estado de señal estable antes de la recolección de datos.

Corrección de interferencias: Evaluar y corregir interferencias espectrales, químicas y físicas durante el análisis.

6. Control de Calidad

Blancos: Incluir un blanco de método y un blanco de calibración en cada serie de análisis.

Matriz de control: Realizar análisis de muestras de control y duplicados para evaluar la precisión y exactitud del método.

Verificación continua: Realizar verificaciones de calibración (CCV) después de cada 10 muestras analizadas.

7. Tratamiento de Datos

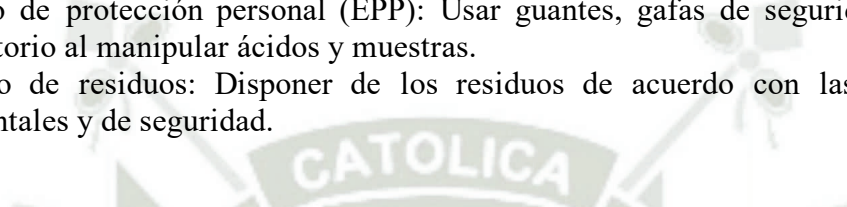
Cálculos: Aplicar correcciones necesarias para interferencias y calcular concentraciones en base a los resultados obtenidos.

Informe de resultados: Documentar todos los resultados, incluyendo cualquier anomalía o interferencia observada durante el análisis.

8. Seguridad

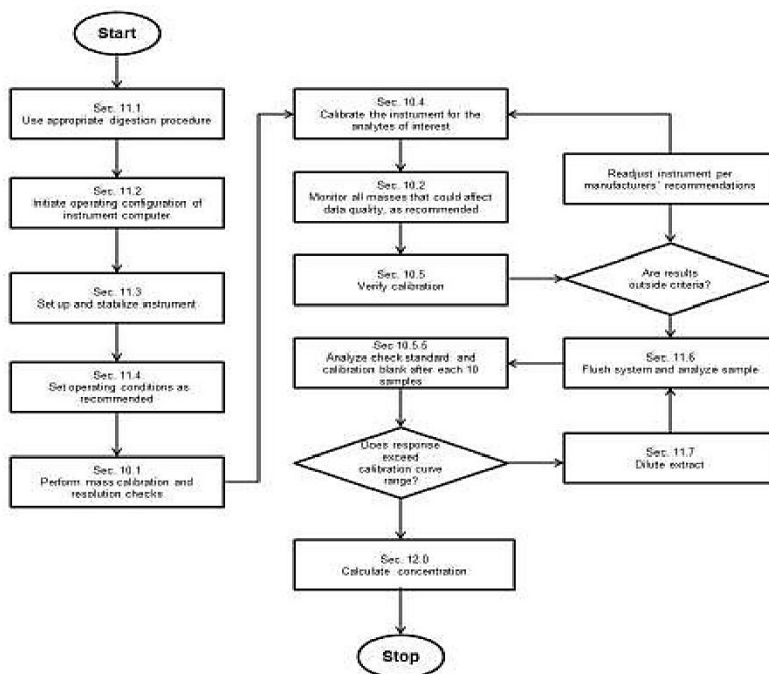
Equipo de protección personal (EPP): Usar guantes, gafas de seguridad y bata de laboratorio al manipular ácidos y muestras.

Manejo de residuos: Disponer de los residuos de acuerdo con las regulaciones ambientales y de seguridad.



METHOD 6020A

INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY



Anexo VI. Informes de Ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



INFORME DE ENSAYOS N° 1923 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-Y FINAL R-1	T-2022 Zona-Y FINAL R-2	T-2022 Zona-Y FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00008	0.00005	0.00005	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.05	0.05	0.01	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00004	0.00008	0.00002	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.045	0.038	0.049	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	1.433	1.439	1.441	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00005	0.00006	0.00007	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.005	0.007	0.004	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.162	0.156	0.171	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.412	0.428	0.424	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00008	0.00009	0.00008	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.232	0.244	0.223	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	mg/L
Mo (Molibdenu)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.195	1.188	1.185	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	0.00085	0.00074	0.00071	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.022	0.022	0.022	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0004	0.0007	0.0005	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.472	0.461	0.459	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.011	0.013	0.012	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 8020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PAP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1922 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-Y MEDIO R-1	T-2022 Zona-Y MEDIO R-2	T-2022 Zona-Y MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00053	0.00048	0.00041	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.34	0.39	0.34	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00089	0.00054	0.00050	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.095	0.102	0.091	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0070	0.0075	0.0079	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.930	2.939	2.932	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00005	0.00003	0.00001	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00011	0.00005	0.00018	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00007	0.00009	0.00004	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00014	0.00017	0.00012	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.009	0.008	0.011	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.361	0.353	0.363	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.945	0.950	0.938	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00044	0.00041	0.00037	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.614	0.635	0.655	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0131	0.0127	0.0122	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00015	0.00015	0.00015	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.825	1.834	1.811	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00191	0.00182	0.00186	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.054	0.066	0.072	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0048	0.0051	0.0047	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00011	0.00017	0.00021	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.169	1.175	1.181	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00005	0.00006	0.00009	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0007	0.0005	0.0006	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0108	0.0098	0.0104	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0009	0.0006	0.0008	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.031	0.029	0.033	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1921 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-Y INICIO R-1	T-2022 Zona-Y INICIO R-2	T-2022 Zona-Y INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00072	0.00066	0.00079	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.59	0.58	0.59	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00080	0.00076	0.00084	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.122	0.128	0.133	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0101	0.0095	0.0094	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	3.435	3.420	3.429	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00015	0.00022	0.00028	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00013	0.00008	0.00005	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00014	0.00018	0.00009	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00029	0.00031	0.00030	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.026	0.028	0.029	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.439	0.431	0.442	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	1.250	1.272	1.255	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00041	0.00052	0.00055	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	1.193	0.864	1.053	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0256	0.0256	0.0256	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00024	0.00019	0.00027	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.959	1.948	1.976	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00250	0.00249	0.00247	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.073	0.084	0.090	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0088	0.0072	0.0081	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00021	0.00027	0.00019	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0006	0.0004	0.0009	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.491	1.485	1.474	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00012	0.00021	0.00016	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0016	0.0012	0.0019	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0169	0.0172	0.0188	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0015	0.0017	0.0016	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.051	0.044	0.047	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-06-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1932 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-V FINAL R-1	T-2022 Zona-V FINAL R-2	T-2022 Zona-V FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.02	0.03	0.02	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.021	0.018	0.023	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	1.479	1.469	1.472	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.003	0.002	0.003	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.123	0.129	0.125	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.291	0.293	0.288	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00009	0.00010	0.00008	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.162	0.154	0.159	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0007	0.0008	0.0005	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.316	1.324	1.321	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00038	0.00037	0.00039	mg/L
P (Fósforo)	0.004	0.020	0.024	0.031	0.028	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.349	0.345	0.343	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.012	0.008	0.014	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Celia Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1931 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-V MEDIO R-1	T-2022 Zona-V MEDIO R-2	T-2022 Zona-V MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.09	0.07	0.06	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.031	0.028	0.032	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0014	0.0011	0.0009	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.091	2.082	2.088	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00009	0.00008	0.00007	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00006	0.00005	0.00007	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.006	0.009	0.007	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.229	0.225	0.222	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.522	0.528	0.529	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00006	0.00010	0.00010	0.00010	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.212	0.218	0.221	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0007	0.0006	0.0004	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.618	1.627	1.620	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00057	0.00061	0.00064	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.030	0.031	0.037	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0011	0.0009	0.0013	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00018	0.00013	0.00011	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0008	0.0004	0.0003	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.615	0.611	0.619	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0006	0.0004	0.0005	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0011	0.0013	0.0014	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.027	0.029	0.033	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1930 - 2022
PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-V INICIO R-1	T-2022 Zona-V INICIO R-2	T-2022 Zona-V INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00007	0.00006	0.00009	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.24	0.26	0.23	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00002	0.00003	0.00003	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.043	0.049	0.051	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0019	0.0018	0.0015	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.735	2.739	2.742	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00017	0.00016	0.00022	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00004	0.00002	0.00005	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00017	0.00015	0.00019	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.008	0.009	0.012	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.255	0.266	0.269	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.694	0.699	0.671	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00006	0.00016	0.00018	0.00021	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.338	0.329	0.333	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0014	0.0018	0.0013	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00011	0.00014	0.00016	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.853	1.861	1.855	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00189	0.00182	0.00164	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.059	0.052	0.055	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0015	0.0022	0.0018	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00028	0.00023	0.00027	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0007	0.0005	0.0010	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.887	0.881	0.890	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00006	0.00011	0.00008	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0016	0.0021	0.0018	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0043	0.0049	0.0050	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0017	0.0019	0.0016	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.031	0.035	0.036	mg/L

ABREVIATURAS:
 * mg/L : miligramos por litro de muestra
 * N.D. : No detectado
 * Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
 * Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
 Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
 e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1929 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-H FINAL R-1	T-2022 Zona-H FINAL R-2	T-2022 Zona-H FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00005	0.00006	0.00005	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.13	0.15	0.11	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00003	0.00005	0.00004	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.141	0.148	0.150	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0005	0.0004	0.0005	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.692	2.694	2.701	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00005	0.00003	0.00006	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00008	0.00006	0.00005	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00007	0.00006	0.00009	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.013	0.015	0.012	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.195	0.186	0.192	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.136	0.134	0.132	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00012	0.00009	0.00010	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.231	0.222	0.227	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0005	0.0003	0.0004	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.646	1.644	1.649	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00012	0.00015	0.00017	mg/L
P (Fósforo)	0.004	0.020	0.029	0.032	0.034	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0006	0.0008	0.0010	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00012	0.00015	0.00013	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.355	0.348	0.346	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00005	0.00007	0.00005	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0019	0.0019	0.0019	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0009	0.0007	0.0010	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.021	0.026	0.018	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1928 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-H MEDIO R-1	T-2022 Zona-H MEDIO R-2	T-2022 Zona-H MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00015	0.00018	0.00011	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.51	0.46	0.52	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00009	0.00007	0.00008	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.298	0.295	0.292	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0037	0.0041	0.0046	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	4.938	4.946	4.948	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00033	0.00039	0.00040	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00015	0.00023	0.00018	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00011	0.00009	0.00007	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00018	0.00019	0.00023	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.028	0.029	0.032	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.382	0.389	0.392	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.384	0.377	0.386	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00031	0.00038	0.00031	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.459	0.461	0.466	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0011	0.0012	0.0013	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00018	0.00014	0.00015	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	3.866	3.874	3.889	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00134	0.00143	0.00136	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.095	0.089	0.091	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0023	0.0025	0.0021	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00018	0.00025	0.00019	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.979	0.988	0.985	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00009	0.00011	0.00009	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0019	0.0012	0.0014	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0025	0.0022	0.0027	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0013	0.0011	0.0012	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.064	0.081	0.070	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1927 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-H INICIO R-1	T-2022 Zona-H INICIO R-2	T-2022 Zona-H INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00033	0.00029	0.00026	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.68	0.64	0.63	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00014	0.00016	0.00015	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.314	0.316	0.323	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0084	0.0089	0.0087	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	5.712	5.718	5.715	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00078	0.00081	0.00077	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00016	0.00019	0.00020	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00012	0.00016	0.00018	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00028	0.00024	0.00026	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.037	0.039	0.035	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.548	0.555	0.552	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.745	0.737	0.741	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00045	0.00049	0.00043	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.718	0.711	0.708	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0024	0.0028	0.0026	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00021	0.00023	0.00027	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	4.842	4.837	4.833	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00208	0.00201	0.00211	mg/L
P (Fósforo)	0.004	0.020	0.126	0.124	0.129	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0034	0.0036	0.0037	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00024	0.00031	0.00028	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0011	0.0014	0.0012	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.756	1.764	1.759	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00015	0.00013	0.00018	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0023	0.0028	0.0024	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0085	0.0092	0.0089	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0018	0.0018	0.0019	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.084	0.076	0.079	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1926 - 2022

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-C FINAL R-1	T-2022 Zona-C FINAL R-2	T-2022 Zona-C FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00007	0.00005	0.00008	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.09	0.07	0.11	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00005	0.00004	0.00007	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.043	0.051	0.048	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0006	0.0007	0.0005	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	1.777	1.769	1.775	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00005	0.00007	0.00006	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.005	0.004	0.006	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.219	0.212	0.222	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.531	0.524	0.528	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00009	0.00010	0.00008	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.177	0.186	0.184	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0033	0.0039	0.0035	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.231	1.238	1.236	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00034	0.00029	0.00038	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	<0.020	<0.020	<0.020	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0012	0.0011	0.0012	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00015	0.00018	0.00017	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.450	0.450	0.450	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0007	0.0005	0.0008	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.015	0.013	0.016	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 8200 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-06-05-1E Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1925 - 2022
PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-C MEDIO R-1	T-2022 Zona-C MEDIO R-2	T-2022 Zona-C MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00029	0.00033	0.00034	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.29	0.26	0.24	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00068	0.00061	0.00064	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.138	0.143	0.141	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0075	0.0082	0.0088	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.855	2.850	2.858	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00012	0.00013	0.00016	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00008	0.00009	0.00011	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00012	0.00008	0.00015	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00017	0.00018	0.00015	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.008	0.009	0.010	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.391	0.387	0.395	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.832	0.839	0.835	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00042	0.00048	0.00049	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.441	0.434	0.446	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0211	0.0218	0.0212	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00010	0.00012	0.00011	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.541	1.545	1.548	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00099	0.00096	0.00104	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.088	0.079	0.083	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0034	0.0027	0.0031	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00022	0.00021	0.00024	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.098	1.098	1.098	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00010	0.00008	0.00005	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0107	0.0092	0.0101	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0014	0.0012	0.0015	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.044	0.049	0.046	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carja Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 1924 - 2022
PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2022 Zona-C INICIO R-1	T-2022 Zona-C INICIO R-2	T-2022 Zona-C INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00077	0.00061	0.00084	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.59	0.67	0.61	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00107	0.00097	0.00102	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.182	0.174	0.188	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0107	0.0114	0.0118	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	3.047	3.040	3.044	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00029	0.00025	0.00026	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00018	0.00015	0.00014	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00022	0.00026	0.00027	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00021	0.00021	0.00021	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.014	0.015	0.017	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.541	0.532	0.536	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.985	0.976	0.981	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00069	0.00061	0.00072	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.612	0.619	0.615	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0289	0.0278	0.0288	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00012	0.00016	0.00014	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.644	1.649	1.652	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00125	0.00129	0.00126	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.097	0.091	0.104	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0058	0.0054	0.0055	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00031	0.00039	0.00029	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0004	0.0005	0.0006	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.669	1.668	1.674	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00025	0.00019	0.00021	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0019	0.0018	0.0024	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0145	0.0139	0.0148	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0019	0.0022	0.0021	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.058	0.061	0.057	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2022



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2290 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-V FINAL R-1	T-2023 Zona-V FINAL R-2	T-2023 Zona-V FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.010	0.008	0.011	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	1.242	1.245	1.244	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.002	0.001	0.002	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.101	0.098	0.102	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.159	0.162	0.158	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00012	0.00009	0.00010	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.114	0.118	0.111	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0010	0.0007	0.0008	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	0.657	0.652	0.654	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00101	0.00092	0.00097	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.038	0.039	0.036	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.452	0.454	0.451	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.015	0.014	0.011	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-06-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2289 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-V MEDIO R-1	T-2023 Zona-V MEDIO R-2	T-2023 Zona-V MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.02	0.03	0.02	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00003	0.00002	0.00004	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.016	0.016	0.016	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	1.390	1.390	1.390	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00005	0.00008	0.00007	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00006	0.00008	0.00007	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.029	0.026	0.028	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.199	0.203	0.195	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.470	0.470	0.470	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00019	0.00019	0.00019	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.450	0.450	0.450	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0009	0.0007	0.0010	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00010	0.00012	0.00008	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.230	1.230	1.230	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	0.00132	0.00139	0.00141	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.054	0.054	0.054	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0025	0.0025	0.0025	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.684	0.684	0.684	mg/L
Sn (Estanho)	0.00002	0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0011	0.0009	0.0007	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.045	0.045	0.045	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2288 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-V INICIO R-1	T-2023 Zona-V INICIO R-2	T-2023 Zona-V INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	<0.00005	0.00005	<0.00005	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.11	0.12	0.14	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00035	0.00031	0.00037	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.027	0.025	0.028	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0012	0.0013	0.0009	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.664	2.668	2.666	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00012	0.00014	0.00011	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00010	0.00008	0.00012	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00024	0.00023	0.00021	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.034	0.035	0.037	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.312	0.311	0.315	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.584	0.582	0.587	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00082	0.00078	0.00076	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.678	0.682	0.677	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0023	0.0025	0.0027	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00012	0.00018	0.00014	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.563	1.559	1.561	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00191	0.00193	0.00190	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.099	0.102	0.097	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0035	0.0036	0.0037	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00018	0.00015	0.00021	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0006	0.0008	0.0010	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.875	0.872	0.878	mg/L
Sn (Estañio)	0.00002	0.00005	0.00006	0.00007	0.00005	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0011	0.0012	0.0008	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0022	0.0024	0.0027	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0019	0.0015	0.0017	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.054	0.056	0.052	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L: miligramos por litro de muestra

* N.D.: No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2287 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-H FINAL R-1	T-2023 Zona-H FINAL R-2	T-2023 Zona-H FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.35	0.38	0.39	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00005	0.00004	0.00006	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.029	0.028	0.027	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	<0.0003	<0.0003	<0.0003	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	3.011	3.018	3.015	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00005	0.00003	0.00002	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.018	0.022	0.024	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.254	0.261	0.258	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.140	0.140	0.140	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	<0.00008	<0.00008	<0.00008	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.160	0.160	0.160	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0052	0.0049	0.0047	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.726	1.733	1.728	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	0.00143	0.00138	0.00139	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.077	0.074	0.072	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0008	0.0012	0.0011	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00011	0.00010	0.00011	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.129	1.127	1.124	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0005	0.0007	0.0004	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0005	0.0004	0.0003	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.011	0.009	0.012	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023

PRP-05-05-IE Version 02



Lic. Caria Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2286 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-H MEDIO R-1	T-2023 Zona-H MEDIO R-2	T-2023 Zona-H MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00005	0.00006	0.00005	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.54	0.58	0.58	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00025	0.00033	0.00028	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.182	0.187	0.185	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0048	0.0046	0.0043	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	4.341	4.345	4.342	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00035	0.00031	0.00034	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00009	0.00008	0.00011	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00032	0.00029	0.00027	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.033	0.035	0.032	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.665	0.658	0.649	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.492	0.488	0.493	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00077	0.00079	0.00074	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.738	0.732	0.737	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.00002	0.0062	0.0058	0.0066	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00015	0.00012	0.00013	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	2.642	2.638	2.637	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00281	0.00289	0.00283	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.088	0.085	0.087	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0029	0.0030	0.0027	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00012	0.00014	0.00018	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0004	0.0006	0.0008	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.871	1.869	1.867	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00012	0.00015	0.00014	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0010	0.0013	0.0011	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0013	0.0012	0.0010	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0021	0.0019	0.0022	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.065	0.062	0.067	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L : miligramos por litro de muestra
* N.D. : No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quíñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2285 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-H INICIO R-1	T-2023 Zona-H INICIO R-2	T-2023 Zona-H INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00015	0.00023	0.00018	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.65	0.63	0.67	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00055	0.00052	0.00047	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.126	0.129	0.125	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0068	0.0072	0.0065	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	6.876	6.881	6.879	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00041	0.00039	0.00043	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00009	0.00014	0.00001	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00015	0.00011	0.00009	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00046	0.00041	0.00048	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.040	0.039	0.044	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.714	0.708	0.711	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.851	0.855	0.859	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00141	0.00142	0.00147	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.999	0.996	0.992	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0138	0.0143	0.0142	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00035	0.00037	0.00031	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	2.818	2.824	2.822	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	0.00346	0.00341	0.00347	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.108	0.112	0.114	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0039	0.0034	0.0036	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00022	0.00019	0.00025	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0007	0.0005	0.0009	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	2.155	2.150	2.157	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00016	0.00021	0.00019	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0015	0.0012	0.0018	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0019	0.0017	0.0014	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0029	0.0027	0.0031	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.095	0.101	0.098	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L: miligramos por litro de muestra
* N.D.: No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Caria Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2284 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-C FINAL R-1	T-2023 Zona-C FINAL R-2	T-2023 Zona-C FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00005	0.00006	0.00005	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.12	0.14	0.11	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00016	0.00012	0.00019	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.025	0.019	0.023	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0015	0.0014	0.0016	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	1.529	1.525	1.527	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00007	0.00005	0.00008	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00006	0.00004	0.00008	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00007	0.00005	0.00006	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.005	0.006	0.004	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.072	0.079	0.076	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.169	0.172	0.175	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00020	0.00024	0.00027	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.195	0.192	0.191	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0038	0.0036	0.0031	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	0.329	0.322	0.370	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00052	0.00056	0.00053	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.024	0.027	0.029	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0006	0.0008	0.0010	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.691	0.698	0.692	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0003	0.0005	0.0004	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0007	0.0008	0.0005	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.009	0.010	0.008	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L: miligramos por litro de muestra

* N.D.: No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2283 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-C MEDIO R-1	T-2023 Zona-C MEDIO R-2	T-2023 Zona-C MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00021	0.00026	0.00027	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.47	0.46	0.44	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00058	0.00061	0.00055	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.131	0.134	0.136	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0079	0.0083	0.0075	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.912	2.921	2.918	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00028	0.00031	0.00027	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00006	0.00005	0.00007	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00016	0.00022	0.00018	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00024	0.00028	0.00025	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.027	0.025	0.031	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.372	0.376	0.379	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	1.285	1.289	1.287	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00114	0.00101	0.00118	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.987	0.992	0.989	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0198	0.0188	0.0191	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00014	0.00018	0.00011	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.646	1.642	1.648	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00194	0.00199	0.00202	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.063	0.068	0.066	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0041	0.0035	0.0043	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00015	0.00012	0.00013	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.373	1.374	1.377	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0011	0.0015	0.0012	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0014	0.0013	0.0018	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0018	0.0023	0.0019	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.039	0.044	0.038	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L: miligramos por litro de muestra
* N.D.: No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-06-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2282 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-C INICIO R-1	T-2023 Zona-C INICIO R-2	T-2023 Zona-C INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00058	0.00054	0.00062	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.74	0.76	0.71	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00129	0.00123	0.00125	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.201	0.196	0.194	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0082	0.0088	0.0081	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	4.955	4.949	4.952	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00037	0.00032	0.00034	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00019	0.00014	0.00018	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00026	0.00024	0.00029	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00033	0.00035	0.00029	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.033	0.037	0.039	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.622	0.631	0.626	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	1.288	1.294	1.286	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00129	0.00132	0.00123	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	1.438	1.441	1.445	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0274	0.0282	0.0281	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00021	0.00024	0.00026	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.911	1.902	1.918	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00271	0.00279	0.00275	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.149	0.154	0.148	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0052	0.0056	0.0058	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00032	0.00037	0.00038	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0007	0.0009	0.0010	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.688	1.695	1.693	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00011	0.00008	0.00009	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0019	0.0014	0.0013	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0021	0.0024	0.0032	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0029	0.0034	0.0033	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.058	0.054	0.056	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L: miligramos por litro de muestra
* N.D.: No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023

PRP-08-05-IE Version 02



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2281 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-Y FINAL R-1	T-2023 Zona-Y FINAL R-2	T-2023 Zona-Y FINAL R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.05	0.07	0.04	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00024	0.00022	0.00019	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.071	0.067	0.069	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0007	0.0005	0.0008	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	1.191	1.186	1.192	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00008	0.00006	0.00009	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00004	0.00006	0.00003	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00007	0.00006	0.00008	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.00002	0.001	0.012	0.017	0.013	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.064	0.055	0.058	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	0.193	0.188	0.191	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00011	0.00013	0.00009	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.288	0.282	0.284	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0097	0.0103	0.0096	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	0.261	0.269	0.265	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	0.00119	0.00118	0.00124	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.027	0.025	0.031	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0004	0.0006	0.0003	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	0.753	0.747	0.752	mg/L
Sn (Estafío)	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0005	0.0006	0.0007	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0005	0.0007	0.0006	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.016	0.014	0.011	mg/L

ABREVIATURAS:
* mg/L: miligramos por litro de muestra
* N.D.: No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:
* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2280 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-Y MEDIO R-1	T-2023 Zona-Y MEDIO R-2	T-2023 Zona-Y MEDIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00032	0.00031	0.00028	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.35	0.33	0.31	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00043	0.00035	0.00038	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.121	0.125	0.128	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0052	0.0057	0.0059	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	2.435	2.428	2.434	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00015	0.00019	0.00016	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00011	0.00012	0.00017	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00018	0.00016	0.00015	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00027	0.00029	0.00024	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.028	0.031	0.025	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.333	0.328	0.322	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	1.312	1.318	1.315	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00112	0.00118	0.00121	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	0.763	0.769	0.771	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0275	0.0268	0.0273	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00012	0.00014	0.00011	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	1.458	1.463	1.453	mg/L
Ni (Níquel)	0.00001	0.00006	0.00252	0.00256	0.00249	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.116	0.114	0.119	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0034	0.0035	0.0037	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00012	0.00011	0.00015	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0003	0.0004	0.0002	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.421	1.426	1.429	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00006	0.00005	0.00005	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0010	0.0011	0.0009	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0012	0.0009	0.0013	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0021	0.0024	0.0019	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.037	0.044	0.042	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L: miligramos por litro de muestra
* N.D.: No detectado
* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS EPA METHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 2279 - 2023

PÁGINA 02 DE 02

RESULTADOS ICP-MS

DETERMINACIÓN	LD	LC	T-2023 Zona-Y INICIO R-1	T-2023 Zona-Y INICIO R-2	T-2023 Zona-Y INICIO R-3	UNIDADES
Ag (Plata)	0.00001	0.00005	0.00055	0.00058	0.00049	mg/L
Al (Aluminio)	0.004	0.02	0.58	0.62	0.67	mg/L
As (Arsénico)	0.000004	0.00002	0.00112	0.00118	0.00115	mg/L
B (Boro)	0.001	0.005	0.154	0.151	0.159	mg/L
Ba (Bario)	0.0001	0.0004	0.0086	0.0079	0.0084	mg/L
Be (Berilio)	0.000003	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Bi (Bismuto)	0.00002	0.00010	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Ca (Calcio)	0.010	0.050	5.438	5.429	5.434	mg/L
Cd (Cadmio)	0.00000	0.00001	0.00025	0.00022	0.00029	mg/L
Ce (Cerio)	0.00000	0.00002	0.00023	0.00016	0.00024	mg/L
Co (Cobalto)	0.00000	0.00001	0.00021	0.00028	0.00022	mg/L
Cr (Cromo)	0.00001	0.00005	0.00037	0.00042	0.00037	mg/L
Cs (Cesio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
Cu (Cobre)	0.0002	0.001	0.035	0.038	0.034	mg/L
Fe (Hierro)	0.002	0.010	0.574	0.564	0.568	mg/L
Hg (Mercurio)	0.0001	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
K (Potasio)	0.004	0.020	1.645	1.641	1.636	mg/L
Li (Litio)	0.00002	0.00008	0.00146	0.00139	0.00141	mg/L
Mg (Magnesio)	0.004	0.020	1.342	1.351	1.347	mg/L
Mn (Manganeso)	0.00003	0.0002	0.0326	0.0334	0.0341	mg/L
Mo (Molibdeno)	0.00002	0.00010	0.00022	0.00024	0.00029	mg/L
Na (Sodio)	0.010	0.050	2.841	2.835	2.844	mg/L
Ni (Niquel)	0.00001	0.00006	0.00314	0.00308	0.00320	mg/L
P (Fosforo)	0.004	0.020	0.181	0.178	0.185	mg/L
Pb (Plomo)	0.0000	0.0002	0.0051	0.0049	0.0046	mg/L
Sb (Antimonio)	0.00002	0.00010	0.00031	0.00037	0.00033	mg/L
Se (Selenio)	0.0000	0.0001	0.0005	0.0004	0.0006	mg/L
Si (Silicio)	0.020	0.100	1.867	1.862	1.866	mg/L
Sn (Estaño)	0.00002	0.00005	0.00009	0.00008	0.00008	mg/L
Sr (Estroncio)	0.0001	0.0004	0.0016	0.0015	0.0019	mg/L
Ti (Titanio)	0.0000	0.0002	0.0017	0.0016	0.0019	mg/L
Tl (Talio)	0.00000	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
U (Uranio)	0.00000	0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	mg/L
V (Vanadio)	0.0001	0.0004	0.0036	0.0039	0.0037	mg/L
Zn (Zinc)	0.001	0.003	0.052	0.058	0.055	mg/L

ABREVIATURAS:

* mg/L : miligramos por litro de muestra

* N.D. : No detectado

* Todo valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

MÉTODOS UTILIZADOS:

* Metales Totales por ICP-MS

EPA METHOD 8020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

Fecha de emisión del presente informe de ensayos

9 de mayo de 2023



Lic. Carla Delgado Caballero
Jefe de Operaciones

PRP-08-05-IE Version 02

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Anexo VII. Metales temporada 2022 por zona

METALES	6/01/2022	6/01/2022	6/01/2022	1/02/2022	1/02/2022	1/02/2022	9/03/2022	9/03/2022	9/03/2022
	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	0.00072	0.00066	0.00079	0.00053	0.00048	0.00041	0.00008	0.00005	0.00005
Al (Aluminio)	0.59	0.58	0.59	0.34	0.39	0.34	0.05	0.05	0.01
As (Arsénico)	0.00080	0.00076	0.00084	0.00069	0.00054	0.00050	0.00004	0.00008	0.00002
B (Boro)	0.122	0.128	0.133	0.095	0.102	0.091	0.045	0.038	0.049
Ba (Bario)	0.0101	0.0095	0.0094	0.0070	0.0075	0.0079	0.0004	0.0004	0.0004
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	3.435	3.420	3.429	2.930	2.939	2.932	1.433	1.439	1.441
Cd (Cadmio)	0.00015	0.00022	0.00028	0.00005	0.00003	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.
Ce (Cerio)	0.00013	0.00008	0.00005	0.00011	0.00005	0.00018	N.D.	N.D.	N.D.
Co (Cobalto)	0.00014	0.00018	0.00009	0.00007	0.00009	0.00004	N.D.	N.D.	N.D.
Cr (Cromo)	0.00029	0.00031	0.00030	0.00014	0.00017	0.00012	0.00005	0.00006	0.00007
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.026	0.028	0.029	0.009	0.008	0.011	0.005	0.007	0.004
Fe (Hierro)	0.439	0.431	0.442	0.361	0.353	0.363	0.162	0.156	0.171
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	1.250	1.272	1.255	0.945	0.950	0.938	0.412	0.428	0.424
Li (Litio)	0.00041	0.00052	0.00055	0.00044	0.00041	0.00037	0.00008	0.00009	0.00008
Mg (Magnesio)	1.193	0.864	1.053	0.614	0.635	0.655	0.232	0.244	0.223
Mn (Manganeso)	0.0256	0.0256	0.0256	0.0131	0.0127	0.0122	0.0002	0.0003	0.0002
Mo (Molibdeno)	0.00024	0.00019	0.00027	0.00015	0.00015	0.00015	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	1.959	1.948	1.976	1.825	1.834	1.811	1.195	1.188	1.185
Ni (Níquel)	0.00250	0.00249	0.00247	0.00191	0.00182	0.00186	0.00085	0.00074	0.00071
P (Fosforo)	0.073	0.084	0.090	0.054	0.066	0.072	0.022	0.022	0.022
Pb (Plomo)	0.0068	0.0072	0.0081	0.0048	0.0051	0.0047	0.0004	0.0007	0.0005
Sb (Antimonio)	0.00021	0.00027	0.00019	0.00011	0.00017	0.00021	N.D.	N.D.	N.D.
Se (Selenio)	0.0006	0.0004	0.0009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Si (Silicio)	1.491	1.485	1.474	1.169	1.175	1.181	0.472	0.461	0.459
Sn (Estaño)	0.00012	0.00021	0.00016	0.00005	0.00006	0.00009	N.D.	N.D.	N.D.
Sr (Estroncio)	0.0016	0.0012	0.0019	0.0007	0.0005	0.0006	N.D.	N.D.	N.D.
Ti (Titanio)	0.0169	0.0172	0.0188	0.0108	0.0098	0.0104	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0015	0.0017	0.0016	0.0009	0.0006	0.0008	N.D.	N.D.	N.D.
Zn (Zinc)	0.051	0.044	0.047	0.031	0.029	0.033	0.011	0.013	0.012

Unidades: mg/L, N.D. No detectable

METALES	6/01/2022	6/01/2022	6/01/2022	1/02/2022	1/02/2022	1/02/2022	9/03/2022	9/03/2022	9/03/2022
	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	0.00077	0.00081	0.00084	0.00029	0.00033	0.00034	0.00007	0.00005	0.00008
Al (Aluminio)	0.59	0.67	0.61	0.29	0.26	0.24	0.09	0.07	0.11
As (Arsénico)	0.00107	0.00097	0.00102	0.00068	0.00061	0.00064	0.00005	0.00004	0.00007
B (Boro)	0.182	0.174	0.188	0.138	0.143	0.141	0.043	0.051	0.048
Ba (Bario)	0.0107	0.0114	0.0118	0.0075	0.0082	0.0088	0.0006	0.0007	0.0005
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	3.047	3.040	3.044	2.855	2.850	2.858	1.777	1.769	1.775
Cd (Cadmio)	0.00029	0.00025	0.00026	0.00012	0.00013	0.00016	N.D.	N.D.	N.D.
Ce (Cerio)	0.00018	0.00015	0.00014	0.00008	0.00009	0.00011	N.D.	N.D.	N.D.
Co (Cobalto)	0.00022	0.00026	0.00027	0.00012	0.00008	0.00015	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Cr (Cromo)	0.00021	0.00021	0.00021	0.00017	0.00018	0.00015	0.00005	0.00007	0.00006
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.014	0.015	0.017	0.008	0.009	0.010	0.005	0.004	0.006
Fe (Hierro)	0.541	0.532	0.536	0.391	0.387	0.395	0.219	0.212	0.222
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	0.985	0.976	0.981	0.832	0.839	0.835	0.531	0.524	0.528
Li (Litio)	0.00069	0.00061	0.00072	0.00042	0.00048	0.00049	0.00009	0.00010	0.00008
Mg (Magnesio)	0.612	0.619	0.615	0.441	0.434	0.446	0.177	0.186	0.184
Mn (Manganeso)	0.0289	0.0278	0.0288	0.0211	0.0218	0.0212	0.0033	0.0039	0.0035
Mo (Molibdeno)	0.00012	0.00016	0.00014	0.00010	0.00012	0.00011	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	1.644	1.649	1.652	1.541	1.545	1.548	1.231	1.238	1.236
Ni (Níquel)	0.00125	0.00129	0.00126	0.00099	0.00096	0.00104	0.00034	0.00029	0.00038
P (Fosforo)	0.097	0.091	0.104	0.088	0.079	0.083	<0.020	<0.020	<0.020
Pb (Plomo)	0.0058	0.0054	0.0055	0.0034	0.0027	0.0031	0.0012	0.0011	0.0012
Sb (Antimonio)	0.00031	0.00039	0.00029	0.00022	0.00021	0.00024	0.00015	0.00018	0.00017
Se (Selenio)	0.0004	0.0005	0.0006	0.0002	0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Si (Silicio)	1.669	1.668	1.674	1.098	1.098	1.098	0.450	0.450	0.450
Sn (Estaño)	0.00025	0.00019	0.00021	0.00010	0.00008	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.
Sr (Estroncio)	0.0019	0.0018	0.0024	0.0005	0.0006	0.0007	N.D.	N.D.	N.D.
Ti (Titanio)	0.0145	0.0139	0.0148	0.0107	0.0092	0.0101	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0019	0.0022	0.0021	0.0014	0.0012	0.0015	0.0007	0.0005	0.0008
Zn (Zinc)	0.058	0.061	0.057	0.044	0.049	0.046	0.015	0.013	0.016

Unidades: mg/L N.D. No detectable

METALES	6/01/2022	6/01/2022	6/01/2022	1/02/2022	1/02/2022	1/02/2022	9/03/2022	9/03/2022	9/03/2022
	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	0.00033	0.00029	0.00026	0.00015	0.00018	0.00011	0.00005	0.00006	0.00005
Al (Aluminio)	0.68	0.64	0.63	0.51	0.46	0.52	0.13	0.15	0.11
As (Arsénico)	0.00014	0.00016	0.00015	0.00009	0.00007	0.00008	0.00003	0.00005	0.00004
B (Boro)	0.314	0.316	0.323	0.298	0.295	0.292	0.141	0.148	0.150
Ba (Bario)	0.0084	0.0089	0.0087	0.0037	0.0041	0.0046	0.0005	0.0004	0.0005
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	5.712	5.718	5.715	4.938	4.946	4.948	2.692	2.694	2.701
Cd (Cadmio)	0.00078	0.00081	0.00077	0.00033	0.00039	0.00040	N.D.	N.D.	N.D.
Ce (Cerio)	0.00016	0.00019	0.00020	0.00015	0.00023	0.00018	0.00005	0.00003	0.00006
Co (Cobalto)	0.00012	0.00016	0.00018	0.00011	0.00009	0.00007	0.00008	0.00006	0.00005
Cr (Cromo)	0.00028	0.00024	0.00026	0.00018	0.00019	0.00023	0.00007	0.00006	0.00009
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.037	0.039	0.035	0.028	0.029	0.032	0.013	0.015	0.012
Fe (Hierro)	0.548	0.555	0.552	0.382	0.389	0.392	0.195	0.186	0.192
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	0.745	0.737	0.741	0.384	0.377	0.386	0.136	0.134	0.132
Li (Litio)	0.00045	0.00049	0.00043	0.00031	0.00038	0.00031	0.00012	0.00009	0.00010
Mg (Magnesio)	0.718	0.711	0.708	0.459	0.461	0.466	0.231	0.222	0.227
Mn (Manganeso)	0.0024	0.0028	0.0026	0.0011	0.0012	0.0013	0.0005	0.0003	0.0004
Mo (Molibdeno)	0.00021	0.00023	0.00027	0.00016	0.00014	0.00015	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	4.842	4.837	4.833	3.866	3.874	3.869	1.646	1.644	1.649
Ni (Niquel)	0.00208	0.00201	0.00211	0.00134	0.00143	0.00138	0.00012	0.00015	0.00017
P (Fosforo)	0.126	0.124	0.129	0.095	0.089	0.091	0.029	0.032	0.034
Pb (Plomo)	0.0034	0.0036	0.0037	0.0023	0.0025	0.0021	0.0006	0.0008	0.0010
Sb (Antimonio)	0.00024	0.00031	0.00028	0.00018	0.00025	0.00019	0.00012	0.00015	0.00013
Se (Selenio)	0.0011	0.0014	0.0012	<0.0001	<0.0001	<0.0001	N.D.	N.D.	N.D.
Si (Silicio)	1.756	1.764	1.759	0.979	0.988	0.985	0.355	0.348	0.346
Sn (Estaño)	0.00015	0.00013	0.00018	0.00009	0.00011	0.00009	0.00005	0.00007	0.00005
Sr (Estroncio)	0.0023	0.0028	0.0024	0.0019	0.0012	0.0014	N.D.	N.D.	N.D.
Ti (Titanio)	0.0085	0.0092	0.0089	0.0025	0.0022	0.0027	0.0019	0.0019	0.0019
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0016	0.0018	0.0019	0.0013	0.0011	0.0012	0.0009	0.0007	0.0010
Zn (Zinc)	0.084	0.076	0.079	0.064	0.061	0.070	0.021	0.026	0.018

Unidades: mg/L N.D. No detectable

METALES	6/01/2022	6/01/2022	6/01/2022	1/02/2022	1/02/2022	1/02/2022	9/03/2022	9/03/2022	9/03/2022
	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	0.00007	0.00006	0.00009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Al (Aluminio)	0.24	0.26	0.23	0.09	0.07	0.06	0.02	0.03	0.02
As (Arsénico)	0.00002	0.00003	0.00003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
B (Boro)	0.043	0.049	0.051	0.031	0.028	0.032	0.021	0.018	0.023
Ba (Bario)	0.0019	0.0018	0.0015	0.0014	0.0011	0.0009	N.D.	N.D.	N.D.
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	2.735	2.739	2.742	2.091	2.082	2.088	1.479	1.469	1.472
Cd (Cadmio)	0.00017	0.00016	0.00022	0.00009	0.00008	0.00007	N.D.	N.D.	N.D.
Ce (Cerio)	0.00004	0.00002	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Co (Cobalto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cr (Cromo)	0.00017	0.00015	0.00019	0.00006	0.00005	0.00007	N.D.	N.D.	N.D.
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.008	0.009	0.012	0.006	0.009	0.007	0.003	0.002	0.003
Fe (Hierro)	0.255	0.266	0.269	0.229	0.225	0.222	0.123	0.129	0.125
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	0.694	0.699	0.671	0.522	0.528	0.529	0.291	0.293	0.288
Li (Litio)	0.00016	0.00018	0.00021	0.00010	0.00010	0.00010	0.00009	0.00010	0.00008
Mg (Magnesio)	0.338	0.329	0.333	0.212	0.218	0.221	0.162	0.154	0.159
Mn (Manganeso)	0.0014	0.0018	0.0013	0.0007	0.0006	0.0004	0.0007	0.0008	0.0005
Mo (Molibdeno)	0.00011	0.00014	0.00016	<0.00010	<0.00010	<0.00010	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	1.853	1.861	1.855	1.618	1.627	1.620	1.316	1.324	1.321
Ni (Níquel)	0.00189	0.00182	0.00164	0.00057	0.00061	0.00064	0.00038	0.00037	0.00039
P (Fosforo)	0.059	0.052	0.055	0.030	0.031	0.037	0.024	0.031	0.028
Pb (Plomo)	0.0015	0.0022	0.0018	0.0011	0.0009	0.0013	N.D.	N.D.	N.D.
Sb (Antimonio)	0.00028	0.00023	0.00027	0.00018	0.00013	0.00011	N.D.	N.D.	N.D.
Se (Selenio)	0.0007	0.0005	0.0010	0.0008	0.0004	0.0003	N.D.	N.D.	N.D.
Si (Silicio)	0.887	0.881	0.890	0.615	0.611	0.619	0.349	0.345	0.343
Sn (Estaño)	0.00006	0.00011	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sr (Estroncio)	0.0016	0.0021	0.0018	0.0006	0.0004	0.0005	N.D.	N.D.	N.D.
Ti (Titanio)	0.0043	0.0049	0.0050	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0017	0.0019	0.0016	0.0011	0.0013	0.0014	0.0005	0.0004	0.0004
Zn (Zinc)	0.031	0.035	0.036	0.027	0.029	0.033	0.012	0.008	0.014

Unidades: mg/L N.D. No detectable

Anexo VIII. Metales temporada 2023 por zona

METALES	7/12/2022	7/12/2022	7/12/2022	4/02/2023	4/02/2023	4/02/2023	5/04/2023	5/04/2023	5/04/2023
	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y	Zona-Y
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	0.00055	0.00058	0.00049	0.00032	0.00031	0.00028	0.00005	0.00005	0.00005
Al (Aluminio)	0.58	0.62	0.67	0.35	0.33	0.31	0.05	0.07	0.04
As (Arsénico)	0.00112	0.00118	0.00115	0.00043	0.00035	0.00038	0.00024	0.00022	0.00019
B (Boro)	0.154	0.151	0.159	0.121	0.125	0.128	0.071	0.067	0.069
Ba (Bario)	0.0086	0.0079	0.0084	0.0052	0.0057	0.0059	0.0007	0.0005	0.0008
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	5.438	5.429	5.434	2.435	2.428	2.434	1.191	1.186	1.192
Cd (Cadmio)	0.00025	0.00022	0.00029	0.00015	0.00019	0.00016	0.00008	0.00006	0.00009
Ce (Cerio)	0.00023	0.00016	0.00024	0.00011	0.00012	0.00017	N.D.	N.D.	N.D.
Co (Cobalto)	0.00021	0.00028	0.00022	0.00018	0.00016	0.00015	0.00004	0.00006	0.00003
Cr (Cromo)	0.00037	0.00042	0.00037	0.00027	0.00029	0.00024	0.00007	0.00006	0.00008
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.035	0.038	0.034	0.028	0.031	0.025	0.012	0.017	0.013
Fe (Hierro)	0.574	0.564	0.568	0.333	0.328	0.322	0.064	0.055	0.058
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	1.645	1.641	1.636	1.312	1.318	1.315	0.193	0.188	0.191
Li (Litio)	0.00146	0.00139	0.00141	0.00112	0.00118	0.00121	0.00011	0.00013	0.00009
Mg (Magnesio)	1.342	1.351	1.347	0.763	0.769	0.771	0.288	0.282	0.284
Mn (Manganeso)	0.0326	0.0334	0.0341	0.0275	0.0268	0.0273	0.0097	0.0103	0.0096
Mo (Molibdeno)	0.00022	0.00024	0.00029	0.00012	0.00014	0.00011	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	2.841	2.835	2.844	1.458	1.463	1.453	0.261	0.269	0.265
Ni (Níquel)	0.00314	0.00308	0.00320	0.00252	0.00256	0.00249	0.00119	0.00118	0.00124
P (Fosforo)	0.181	0.178	0.185	0.116	0.114	0.119	0.027	0.025	0.031
Pb (Plomo)	0.0051	0.0049	0.0046	0.0034	0.0035	0.0037	0.0004	0.0006	0.0003
Sb (Antimonio)	0.00031	0.00037	0.00033	0.00012	0.00011	0.00015	N.D.	N.D.	N.D.
Se (Selenio)	0.0005	0.0004	0.0006	0.0003	0.0004	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.
Si (Silicio)	1.867	1.862	1.866	1.421	1.426	1.429	0.753	0.747	0.752
Sn (Estaño)	0.00009	0.00008	0.00008	0.00006	0.00005	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.
Sr (Estroncio)	0.0016	0.0015	0.0019	0.0010	0.0011	0.0009	N.D.	N.D.	N.D.
Ti (Titanio)	0.0017	0.0016	0.0019	0.0012	0.0009	0.0013	0.0005	0.0006	0.0007
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0036	0.0039	0.0037	0.0021	0.0024	0.0019	0.0005	0.0007	0.0006
Zn (Zinc)	0.052	0.058	0.055	0.037	0.044	0.042	0.016	0.014	0.011

Unidades: mg/L N.D. No detectable

METALES	7/12/2022	7/12/2022	7/12/2022	4/02/2023	4/02/2023	4/02/2023	5/04/2023	5/04/2023	5/04/2023
	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C	Zona-C
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	0.00058	0.00054	0.00062	0.00021	0.00026	0.00027	0.00005	0.00006	0.00005
Al (Aluminio)	0.74	0.76	0.71	0.47	0.46	0.44	0.12	0.14	0.11
As (Arsénico)	0.00129	0.00123	0.00125	0.00058	0.00061	0.00055	0.00016	0.00012	0.00019
B (Boro)	0.201	0.196	0.194	0.131	0.134	0.136	0.025	0.019	0.023
Ba (Bario)	0.0082	0.0088	0.0081	0.0079	0.0083	0.0075	0.0015	0.0014	0.0016
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	4.955	4.949	4.952	2.912	2.921	2.918	1.529	1.525	1.527
Cd (Cadmio)	0.00037	0.00032	0.00034	0.00028	0.00031	0.00027	0.00007	0.00005	0.00008
Ce (Cerio)	0.00019	0.00014	0.00018	0.00006	0.00005	0.00007	N.D.	N.D.	N.D.
Co (Cobalto)	0.00026	0.00024	0.00029	0.00016	0.00022	0.00018	0.00006	0.00004	0.00008
Cr (Cromo)	0.00033	0.00035	0.00029	0.00024	0.00028	0.00025	0.00007	0.00005	0.00006
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.033	0.037	0.039	0.027	0.025	0.031	0.005	0.006	0.004
Fe (Hierro)	0.622	0.631	0.626	0.372	0.376	0.379	0.072	0.079	0.076
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	1.288	1.294	1.286	1.285	1.289	1.287	0.169	0.172	0.175
Li (Litio)	0.00129	0.00132	0.00123	0.00114	0.00101	0.00118	0.00020	0.00024	0.00027
Mg (Magnesio)	1.438	1.441	1.445	0.987	0.992	0.989	0.195	0.192	0.191
Mn (Manganeso)	0.0274	0.0282	0.0281	0.0198	0.0188	0.0191	0.0038	0.0036	0.0031
Mo (Molibdeno)	0.00021	0.00024	0.00026	0.00014	0.00018	0.00011	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	1.911	1.902	1.918	1.646	1.642	1.648	0.329	0.322	0.370
Ni (Níquel)	0.00271	0.00279	0.00275	0.00194	0.00199	0.00202	0.00052	0.00056	0.00053
P (Fosforo)	0.149	0.154	0.148	0.063	0.068	0.066	0.024	0.027	0.029
Pb (Plomo)	0.0052	0.0056	0.0058	0.0041	0.0035	0.0043	0.0006	0.0008	0.0010
Sb (Antimonio)	0.00032	0.00037	0.00038	0.00015	0.00012	0.00013	N.D.	N.D.	N.D.
Se (Selenio)	0.0007	0.0009	0.0010	0.0002	0.0003	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.
Si (Silicio)	1.688	1.695	1.693	1.373	1.374	1.377	0.691	0.698	0.692
Sn (Estaño)	0.00011	0.00008	0.00009	<0.00005	<0.00005	<0.00005	N.D.	N.D.	N.D.
Sr (Estroncio)	0.0019	0.0014	0.0013	0.0011	0.0015	0.0012	N.D.	N.D.	N.D.
Ti (Titanio)	0.0021	0.0024	0.0032	0.0014	0.0013	0.0018	0.0003	0.0005	0.0004
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0029	0.0034	0.0033	0.0018	0.0023	0.0019	0.0007	0.0008	0.0005
Zn (Zinc)	0.058	0.054	0.056	0.039	0.044	0.038	0.009	0.010	0.008

Unidades: mg/L N.D. No detectable

METALES	7/12/2022	7/12/2022	7/12/2022	4/02/2023	4/02/2023	4/02/2023	5/04/2023	5/04/2023	5/04/2023
	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H	Zona-H
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	0.00015	0.00023	0.00018	0.00005	0.00006	0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
Al (Aluminio)	0.65	0.63	0.67	0.54	0.56	0.58	0.35	0.38	0.39
As (Arsénico)	0.00055	0.00052	0.00047	0.00025	0.00033	0.00028	0.00005	0.00004	0.00006
B (Boro)	0.126	0.129	0.125	0.182	0.187	0.185	0.029	0.028	0.027
Ba (Bario)	0.0068	0.0072	0.0065	0.0048	0.0046	0.0043	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	6.876	6.881	6.879	4.341	4.345	4.342	3.011	3.018	3.015
Cd (Cadmio)	0.00041	0.00039	0.00043	0.00035	0.00031	0.00034	0.00005	0.00003	0.00002
Ce (Cerio)	0.00009	0.00014	0.00001	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002
Co (Cobalto)	0.00015	0.00011	0.00009	0.00009	0.00008	0.00011	N.D.	N.D.	N.D.
Cr (Cromo)	0.00046	0.00041	0.00048	0.00032	0.00029	0.00027	N.D.	N.D.	N.D.
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.040	0.039	0.044	0.033	0.035	0.032	0.018	0.022	0.024
Fe (Hierro)	0.714	0.708	0.711	0.665	0.658	0.649	0.254	0.261	0.258
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	0.851	0.855	0.859	0.492	0.488	0.493	0.140	0.140	0.140
Li (Litio)	0.00141	0.00142	0.00147	0.00077	0.00079	0.00074	<0.00008	<0.00008	<0.00008
Mg (Magnesio)	0.999	0.996	0.992	0.738	0.732	0.737	0.160	0.160	0.160
Mn (Manganeso)	0.0138	0.0143	0.0142	0.0062	0.0058	0.0066	0.0052	0.0049	0.0047
Mo (Molibdeno)	0.00035	0.00037	0.00031	0.00015	0.00012	0.00013	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	2.818	2.824	2.822	2.642	2.638	2.637	1.726	1.733	1.728
Ni (Níquel)	0.00346	0.00341	0.00347	0.00281	0.00289	0.00283	0.00143	0.00138	0.00139
P (Fosforo)	0.108	0.112	0.114	0.088	0.085	0.087	0.077	0.074	0.072
Pb (Plomo)	0.0039	0.0034	0.0036	0.0029	0.0030	0.0027	0.0008	0.0012	0.0011
Sb (Antimonio)	0.00022	0.00019	0.00025	0.00012	0.00014	0.00018	0.00011	0.00010	0.00011
Se (Selenio)	0.0007	0.0005	0.0009	0.0004	0.0006	0.0008	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Si (Silicio)	2.155	2.150	2.157	1.871	1.869	1.867	1.129	1.127	1.124
Sn (Estaño)	0.00016	0.00021	0.00019	0.00012	0.00015	0.00014	N.D.	N.D.	N.D.
Sr (Estroncio)	0.0015	0.0012	0.0018	0.0010	0.0013	0.0011	0.0005	0.0007	0.0004
Ti (Titanio)	0.0019	0.0017	0.0014	0.0013	0.0012	0.0010	0.0005	0.0004	0.0003
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0029	0.0027	0.0031	0.0021	0.0019	0.0022	N.D.	N.D.	N.D.
Zn (Zinc)	0.095	0.101	0.098	0.065	0.062	0.067	0.011	0.009	0.012

Unidades: mg/L N.D. No detectable

METALES	7/12/2022	7/12/2022	7/12/2022	4/02/2023	4/02/2023	4/02/2023	5/04/2023	5/04/2023	5/04/2023
	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V	Zona-V
	INICIO	INICIO	INICIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	FINAL	FINAL	FINAL
	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3	R-1	R-2	R-3
Ag (Plata)	<0.00005	0.00005	<0.00005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Al (Aluminio)	0.11	0.12	0.14	0.02	0.03	0.02	<0.02	<0.02	<0.02
As (Arsénico)	0.00035	0.00031	0.00037	0.00003	0.00002	0.00004	N.D.	N.D.	N.D.
B (Boro)	0.027	0.025	0.028	0.016	0.016	0.016	0.010	0.008	0.011
Ba (Bario)	0.0012	0.0013	0.0009	0.0004	0.0004	0.0004	N.D.	N.D.	N.D.
Be (Berilio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bi (Bismuto)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ca (Calcio)	2.664	2.668	2.666	1.390	1.390	1.390	1.242	1.245	1.244
Cd (Cadmio)	0.00012	0.00014	0.00011	0.00005	0.00008	0.00007	N.D.	N.D.	N.D.
Ce (Cerio)	<0.00002	<0.00002	<0.00002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Co (Cobalto)	0.00010	0.00008	0.00012	<0.00001	<0.00001	<0.00001	N.D.	N.D.	N.D.
Cr (Cromo)	0.00024	0.00023	0.00021	0.00006	0.00008	0.00007	N.D.	N.D.	N.D.
Cs (Cesio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cu (Cobre)	0.034	0.035	0.037	0.029	0.026	0.028	0.002	0.001	0.002
Fe (Hierro)	0.312	0.311	0.315	0.199	0.203	0.195	0.101	0.098	0.102
Hg (Mercurio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
K (Potasio)	0.584	0.582	0.587	0.470	0.470	0.470	0.159	0.162	0.158
Li (Litio)	0.00082	0.00078	0.00076	0.00019	0.00019	0.00019	0.00012	0.00009	0.00010
Mg (Magnesio)	0.678	0.682	0.677	0.450	0.450	0.450	0.114	0.118	0.111
Mn (Manganeso)	0.0023	0.0025	0.0027	0.0009	0.0007	0.0010	0.0010	0.0007	0.0008
Mo (Molibdeno)	0.00012	0.00018	0.00014	0.00010	0.00012	0.00008	N.D.	N.D.	N.D.
Na (Sodio)	1.563	1.559	1.561	1.230	1.230	1.230	0.657	0.652	0.654
Ni (Níquel)	0.00191	0.00193	0.00190	0.00132	0.00139	0.00141	0.00101	0.00092	0.00097
P (Fosforo)	0.099	0.102	0.097	0.054	0.054	0.054	0.038	0.039	0.036
Pb (Plomo)	0.0035	0.0036	0.0037	0.0025	0.0025	0.0025	N.D.	N.D.	N.D.
Sb (Antimonio)	0.00018	0.00015	0.00021	<0.00010	<0.00010	<0.00010	N.D.	N.D.	N.D.
Se (Selenio)	0.0006	0.0008	0.0010	0.0002	0.0002	0.0002	N.D.	N.D.	N.D.
Si (Silicio)	0.875	0.872	0.878	0.684	0.684	0.684	0.452	0.454	0.451
Sn (Estaño)	0.00006	0.00007	0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	N.D.	N.D.	N.D.
Sr (Estroncio)	0.0011	0.0012	0.0008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ti (Titanio)	0.0022	0.0024	0.0027	<0.0002	<0.0002	<0.0002	N.D.	N.D.	N.D.
Tl (Talio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
U (Uranio)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
V (Vanadio)	0.0019	0.0015	0.0017	0.0011	0.0009	0.0007	N.D.	N.D.	N.D.
Zn (Zinc)	0.054	0.056	0.052	0.045	0.045	0.045	0.015	0.014	0.011

Unidades: mg/L N.D. No detectable

Anexo IX. Análisis de Varianza Multifactorial - ANOVA

Análisis de Varianza para Aluminio - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	0.030217	1	0.030217	60.06	0
B:Zona	1.52406	3	0.508021	1009.73	0
C:Periodo lluvias	2.16124	2	1.08062	2147.81	0
INTERACCIONES					
AB	0.0914622	3	0.0304874	60.6	0
AC	0.0120215	2	0.00601076	11.95	0.0001
BC	0.36487	6	0.0608117	120.87	0
ABC	0.0671868	6	0.0111978	22.26	0
RESIDUOS	0.02415	48	0.000503125		
TOTAL (CORREGIDO)	4.27521	71			

Análisis de Varianza para Arsénico - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	2.93889E-07	1	2.93889E-07	256.48	0
B:Zona	3.80085E-06	3	1.26695E-06	1105.7	0
C:Periodo lluvias	4.16295E-06	2	2.08148E-06	1816.56	0
INTERACCIONES					
AB	2.71222E-08	3	9.04074E-09	7.89	0.0002
AC	3.37986E-07	2	1.68993E-07	147.48	0
BC	1.56829E-06	6	2.61382E-07	228.12	0
ABC	1.42303E-07	6	2.37171E-08	20.7	0
RESIDUOS	0.000000055	48	1.14583E-09		
TOTAL (CORREGIDO)	1.03884E-05	71			

Análisis de Varianza para Cadmio - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	9.38889E-10	1	9.38889E-10	1.7	0.1981
B:Zona	6.19228E-07	3	2.06409E-07	374.34	0
C:Periodo lluvias	1.08819E-06	2	5.44093E-07	986.77	0
INTERACCIONES					
AB	1.49494E-07	3	4.98315E-08	90.37	0
AC	7.03861E-08	2	3.51931E-08	63.83	0
BC	3.56347E-07	6	5.93912E-08	107.71	0
ABC	8.98139E-08	6	1.4969E-08	27.15	0
RESIDUOS	2.64667E-08	48	5.51389E-10		
TOTAL (CORREGIDO)	2.40086E-06	71			

Análisis de Varianza para Cromo - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	6.125E-08	1	6.125E-08	177.11	0
B:Zona	1.775E-07	3	5.91667E-08	171.08	0
C:Periodo lluvias	7.56836E-07	2	3.78418E-07	1094.22	0
INTERACCIONES					
AB	7.89444E-09	3	2.63148E-09	7.61	0.0003
AC	5.2675E-08	2	2.63375E-08	76.16	0
BC	5.0075E-08	6	8.34583E-09	24.13	0
ABC	2.40806E-08	6	4.01343E-09	11.61	0
RESIDUOS	1.66E-08	48	3.45833E-10		
TOTAL (CORREGIDO)	1.14691E-06	71			

Análisis de Varianza para Cobre - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	0.00230068	1	0.00230068	595.86	0
B:Zona	0.00241982	3	0.000806606	208.91	0
C:Periodo lluvias	0.00548619	2	0.0027431	710.44	0
INTERACCIONES					
AB	0.000245486	3	8.18287E-05	21.19	0
AC	0.000492694	2	0.000246347	63.8	0
BC	0.000117806	6	1.96343E-05	5.09	0.0004
ABC	0.000626639	6	0.00010444	27.05	0
RESIDUOS	0.000185333	48	3.86111E-06		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0118747	71			

Análisis de Varianza para Hierro - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	0.0222605	1	0.0222605	975.51	0
B:Zona	0.611931	3	0.203977	8938.74	0
C:Periodo lluvias	1.5145	2	0.75725	33184.43	0
INTERACCIONES					
AB	0.10286	3	0.0342866	1502.52	0
AC	0.0772893	2	0.0386447	1693.5	0
BC	0.145286	6	0.0242144	1061.13	0
ABC	0.0433893	6	0.00723156	316.9	0
RESIDUOS	0.00109533	48	2.28194E-05		
TOTAL (CORREGIDO)	2.51861	71			

Análisis de Varianza para Manganeso - Suma de Cuadrados Tipo II

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	0.00033325	1	0.00033325	2866.67	0
B:Zona	0.0040324	3	0.00134413	11562.44	0
C:Periodo lluvias	0.00237627	2	0.00118813	10220.51	0
INTERACCIONES					
AB	0.000402815	3	0.000134272	1155.02	0
AC	5.60194E-06	2	2.80097E-06	24.09	0
BC	0.00146349	6	0.000243915	2098.2	0
ABC	8.05947E-05	6	1.34325E-05	115.55	0
RESIDUOS	0.00000558	48	1.1625E-07		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0087	71			

Análisis de Varianza para Níquel - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	1.24917E-05	1	1.24917E-05	5703.23	0
B:Zona	9.07162E-06	3	3.02387E-06	1380.59	0
C:Periodo lluvias	3.26673E-05	2	1.63337E-05	7457.35	0
INTERACCIONES					
AB	2.08186E-06	3	6.93953E-07	316.83	0
AC	4.21369E-07	2	2.10685E-07	96.19	0
BC	2.1253E-06	6	3.54216E-07	161.72	0
ABC	1.23902E-06	6	2.06503E-07	94.28	0
RESIDUOS	1.05133E-07	48	2.19028E-09		
TOTAL (CORREGIDO)	6.02033E-05	71			

Análisis de Varianza para Plomo - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	0.000000045	1	0.000000045	0.72	0.4009
B:Zona	4.98633E-05	3	1.66211E-05	265.35	0
C:Periodo lluvias	0.000186194	2	9.30968E-05	1486.25	0
INTERACCIONES					
AB	0.000013205	3	4.40167E-06	70.27	0
AC	1.04083E-06	2	5.20417E-07	8.31	0.0008
BC	2.00075E-05	6	3.33458E-06	53.24	0
ABC	7.37583E-06	6	1.22931E-06	19.63	0
RESIDUOS	3.00667E-06	48	6.26389E-08		
TOTAL (CORREGIDO)	0.000280738	71			

Análisis de Varianza para Vanadio - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	4.75347E-06	1	4.75347E-06	186.01	0
B:Zona	4.20153E-06	3	1.40051E-06	54.8	0
C:Periodo lluvias	4.49878E-05	2	2.24939E-05	880.2	0
INTERACCIONES					
AB	6.20153E-06	3	2.06718E-06	80.89	0
AC	4.92444E-06	2	2.46222E-06	96.35	0
BC	1.31222E-06	6	2.18704E-07	8.56	0
ABC	1.48222E-06	6	2.47037E-07	9.67	0
RESIDUOS	1.22667E-06	48	2.55556E-08		
TOTAL (CORREGIDO)	6.90899E-05	71			

Análisis de Varianza para Zinc - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temporada	0.000304222	1	0.000304222	40.71	0
B:Zona	0.00725811	3	0.00241937	323.78	0
C:Periodo de lluvias	0.0277281	2	0.013864	1855.41	0
INTERACCIONES					
AB	0.000706778	3	0.000235593	31.53	0
AC	0.000598694	2	0.000299347	40.06	0
BC	0.00305547	6	0.000509245	68.15	0
ABC	0.000389972	6	6.49954E-05	8.7	0
RESIDUOS	0.000358667	48	7.47222E-06		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0404	71			



Anexo X. Fotografías



Embudos Colectores listos para uso



Frascos de muestra listos para uso



Estación de muestreo “Zona-V”



Estación de muestreo “Zona-H”



Estación de muestreo “Zona-C”



Estación de muestreo “Zona-Y”