



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACIÓN POR
METALES PESADOS EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR DE LA
CIUDAD DE JULIACA**

PRESENTADA POR:
ROBERTO ALFARO ALEJO
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ
2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y
LA CONTAMINACIÓN POR METALES PE
SADOS EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO VE
HICULAR DE LA CIUDAD DE JULIACA**

AUTOR

ROBERTO ALFARO ALEJO

RECuento DE PALABRAS

26162 Words

RECuento DE CARACTERES

118467 Characters

RECuento DE PÁGINAS

109 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.7MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 7, 2023 1:14 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 7, 2023 1:16 PM GMT-5

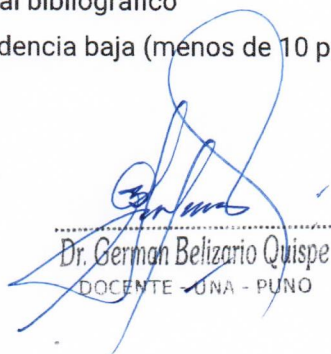
● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material citado


Dr. German Belizario Quispe
DOCENTE - UNA - PUNO



Resumen



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS
CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACIÓN POR
METALES PESADOS EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR DE LA
CIUDAD DE JULIACA



PRESENTADA POR:
ROBERTO ALFARO ALEJO
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....
D.Sc. ROGER HUANQUI PEREZ

PRIMER MIEMBRO

.....
D.Sc. ELISEO ZAPANA QUISPE

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Dr. EDILBERTO HUAQUISTO RAMOS

ASESOR DE TESIS

.....
D.Sc. GERMAN BELIZARIO QUISPE

Puno, 20 de julio del 2023

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería.

TEMA: Caracterización de sedimentos y contaminación por metales pesados en zonas urbanas.

LÍNEA: Recursos naturales y medio ambiente.



DEDICATORIA

A mi familia por creer en mí.

Roberto



AGRADECIMIENTOS

Mis reconocimientos especiales a mi jurado calificador: Dr. Roger Huanqui Pérez, Dr. Eliseo Zapana Quispe y Dr. Edilberto Huaquisto Ramos por su orientación y al Dr. Germán Belizario Quispe por su asesoramiento y el apoyo que me brindó para la culminación del presente trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial a los colegas, amigos y familiares que colaboraron en la ejecución de la presente investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano, Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente por brindarme la formación académica para ser un especialista competente.

Roberto



CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	17
2.2. Enunciados del problema	18
2.2.1. Pregunta general	19
2.2.2. Preguntas específicas	19
2.3. Justificación	19
2.4. Objetivos	20
2.4.1. Objetivo general	20
2.4.2. Objetivos específicos	20
2.5. Hipótesis	20
2.5.1. Hipótesis general	20
2.5.2. Hipótesis específicas	21

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio	22
3.2. Población	22
3.3. Muestra	23
3.4. Métodos de investigación	25
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos	25
3.5.1. Determinación del tráfico vehicular	25
3.5.2. Caracterización de sedimentos y suelos para análisis de metales pesados	26
3.5.3. Caracterización de escorrentía para análisis de metales pesados	28
3.5.4. Tratamiento estadístico	29

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tráfico vehicular	31
4.2. Contaminantes en sedimentos y suelos	36
4.2.1. Granulometría de sedimentos	36
4.2.2. Concentración de metales pesados en sedimentos	37
4.2.3. Evaluación de la contaminación de sedimentos	42
4.3. Contaminantes en la escorrentía vial	46
4.4. Análisis estadístico	49



4.4.1. Resultados de datos de sedimento/suelo	49
4.4.2. Resultados de datos de escorrentía vial	50
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	67



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Fuentes generadoras de contaminación de superficie.	7
2. Características de áreas de tráfico con cargas de metales pesados.	8
3. Tipo de partículas o clases de suelo con sus valores de umbral sugeridos.	10
4. Grados de contaminación de suelo basado en I_{geo} y PI.	13
5. Lugares de muestreo y posición en la zona céntrica de Juliaca.	24
6. Equivalencia entre autos directamente equivalentes.	26
7. Resumen conteo de tráfico, Av. Mártires 4 de Noviembre (J1).	31
8. Conteo de tráfico, Jr. San Román – Jr. 2 de Mayo (J2).	32
9. Conteo de tráfico, Jr. 2 de Mayo – Av. Ricardo Palma (J3).	33
10. Conteo de tráfico, Jr. San Román (Plaza Bolognesi) (J4).	34
11. Conteo de tráfico, Jr. Apurímac (Plaza de Zarumilla) (J5).	35
12. Resumen conteo de tráfico en los puntos J1, J2, J3, J4 y J5 ciudad Juliaca.	35
13. Concentraciones de metales en sedimentos en los puntos muestreados J1, J2, J3 (mg/kg).	38
14. Concentraciones de metales en suelos de parques en los puntos muestreados J4, J5 (mg/kg).	41
15. Valores de Índice de Geo-acumulación de metales pesados sedimentos	43
16. Valores de Índice de Contaminación (PI) de metales en sedimentos para las muestras J1, J2, J3, J4 y J5	45
17. Concentraciones de metales pesados en escorrentía en puntos muestreados J1, J2 y J4 (mg/L).	47
18. Características físico químicas de la escorrentía vial puntos muestreados	48



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Fuentes y rutas de contaminantes típicos en el ambiente de una vía.	6
2. Distribución de contaminantes disueltos en aguas pluviales (Países Bajos) (90 muestras procedentes de 25 lugares).	12
3. Ubicación de puntos de muestreo en la ciudad de Juliaca.	23
4. Lugares de muestreo en (a) Av. Mártires 4 Nov., (b) Jr. San Román-Jr. 2 de Mayo, (c) Jr. Jáuregui-Jr. 2 de Mayo y (d) Plaza Zarumilla.	24
5. Sentidos de circulación en el área de estudio, Av. Mártires 4 Nov., J1.	25
6. Rangos de variación de tamaño de partícula en los sitios analizados (J1, J2, J3, J4 y J5).	37
7. Diagramas de barras mostrando el Índice de Geoacumulación (I_{geo}), en los puntos de muestreo J1, J2, J3, J4 y J5	44
8. Diagrama de barras mostrando el Índice de Contaminación (PI) en los puntos de muestreo J1, J2, J3, J4 y J5	46
9. Diferencia de medias sedimentos por ubicación de muestras J1, J2, J3, J4 y J5	49
10. Gráfico de correlación de variables analizadas en puntos J1, J2, J3, J4 y J5	50
11. Diferencia de medias escorrentía según ubicación de muestras J1, J2 y J4	51
12. Gráfico de correlación de variables analizadas en puntos J1, J2 y J4	52



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Resultados de conteo de tráfico.	67
2. Resultados de ensayos de laboratorio suelo y agua.	73
3. Resultados de granulometría por tamizado.	91
4. Declaración jurada de autenticidad de tesis.	96
5. Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional.	97

RESUMEN

La acumulación de material producto del tráfico vehicular, ya sea en la calzada de pavimentos o parques recreativos es una fuente importante de contaminación urbana. El objetivo de esta investigación fue evaluar el grado de contaminación por metales pesados en los sedimentos y escorrentía vial en las zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca. Se efectuó el conteo directo del tráfico diario en los puntos de interés. Se analizó en las muestras tomadas la concentración de metales pesados en sedimentos de las calzadas, parques y escorrentía en eventos de lluvia mediante espectrofotometría de emisión óptica. Se emplearon pautas comparativas de calidad de sedimentos y agua de varios criterios normativos. El tráfico vehicular en los puntos muestreados estuvo entre 6 128 a 8 464 vehículos/día. El grado de deterioro de la calidad del sedimento basado en el índice de geo-acumulación mostró que el Pb se encuentra en niveles moderados de contaminación, para el resto de metales no indica contaminación. En el caso de la escorrentía vial sobrepasó los estándares nacionales de calidad ambiental, según el orden descendiente Zn>Cu>Pb>Co>As>Ni>Cr>Cd. Este estudio demostró que el nivel de contaminación metálica de los sedimentos está por encima de niveles internacionales para Pb, asimismo, en la escorrentía tienen niveles altos. Esta presencia prolongada en niveles excesivos de los metales pesados estudiados especialmente en la escorrentía, indica que se debe tomar precauciones al momento de interactuar en las vías públicas, parques y las aguas de escorrentía en su entrega final en los canales de drenaje.

Palabras clave: Emisiones de vehículos, geo-acumulación, intensidad de tráfico, metales pesados, plomo, salud pública, sedimento vial, suelo urbano.

ABSTRACT

The accumulation of material resulting from vehicular traffic, whether on paved roadways or recreational parks, is an important source of urban contamination. The objective of this investigation was to evaluate the degree of heavy metal contamination in sediments and road runoff in high traffic areas of the city of Juliaca. Direct daily traffic counts were made at the points of interest. The concentration of heavy metals in sediments from roadway sediments, parks and runoff from rainfall events was analyzed by optical emission spectrophotometry. Comparative sediment and water quality guidelines from various regulatory criteria were used. Vehicle traffic at the sampled points ranged from 6 128 to 8 464 vehicles/day. The degree of sediment quality deterioration based on the geo-accumulation index showed that Pb is at moderate levels of contamination, for the rest of the metals it does not indicate contamination. In the case of road runoff, it exceeded national environmental quality standards, according to the descending order Zn>Cu>Pb>Co>Co>As>Ni>Cr>Cd. This study showed that the level of metallic contamination in sediments is above international levels for Pb, and that runoff has high levels. This prolonged presence in excessive levels of the heavy metals studied, especially in runoff, indicates that precautions should be taken when interacting with public roads, parks and runoff water in its final delivery in drainage channels.

Keywords: Vehicle emissions, geo-accumulation, traffic intensity, heavy metals, lead, public health, road sediment, urban soil.

1.30

.....
Walter B. Aparicio Aragón, M. Sc.
M. Sc. & Ingeniero Químico
DOCENTE PRINCIPAL a D.E.
Reg. CIP 30291

INTRODUCCIÓN

Los metales se encuentran naturalmente en el agua, aire, suelos y sedimentos. Sin embargo, en los últimos años la concentración de metales en la biosfera ha aumentado por efecto de la creciente actividad comercial, industrial, agrícola, minera, urbana, entre otras (Alloway, 2013; da Silva *et al.*, 2020). En zonas urbanas la contaminación por metales pesados está relacionada con el tráfico vehicular (Novo *et al.*, 2017), es así que en muchos estudios realizados en ciudades de países como Colombia (Zafra *et al.*, 2019), China (An *et al.*, 2022; G. Wang *et al.*, 2017), Polonia (Hołtra & Zamorska-Wojdyła, 2018; Radziemska & Fronczyk, 2015), Grecia (Massas *et al.*, 2010) han demostrado que las emisiones basadas en tráfico vehicular contribuyen significativamente a la acumulación de metales pesados en sedimentos y suelos de carreteras o vías urbanas (Çelenk & Kiziloglu, 2015; Donado *et al.*, 2021) ó suelos de parques.

De igual manera las aguas urbanas han experimentado un cambio de paradigma masivo en las últimas décadas, pasando de ser consideradas como sistemas degradados inútiles, o incluso alcantarillas abiertas, a ser cada vez más reconocidas como ecosistemas novedosos y valiosos en el paisaje urbano (Teurlinx *et al.*, 2019) que brindan servicios esenciales para el bienestar del ser humano (Hassall, 2014).

La ciudad de Juliaca es una urbe del Altiplano peruano, es la más poblada de la región Puno, siendo un centro comercial con amplia afluencia de altos niveles de tráfico vehicular y sus emisiones (MPSR, 2016), lo cual puede provocar contaminación por metales pesados en las vías urbanas, encontrados en este caso como trazas.

Ante ese problema, cabe preguntarse ¿Cuáles son las características de sedimentos viales (sedimentos en pavimentos y suelos de parques) y la concentración de los metales pesados en zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Juliaca?. Para responder esta pregunta, se tuvo como propósito de la investigación caracterizar los sedimentos y la contaminación por metales pesados en el sedimento en estado seco y en la escorrentía vial en zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca, y su comparación con estándares de calidad ambiental de suelo y sedimentos.

En el primer capítulo se discute la literatura sobre las variables de los temas abordados y señalo sus alcances y limitaciones. En el segundo capítulo se expone el planteamiento del problema, justificación y objetivos e hipótesis de la investigación. En el tercer capítulo se aborda los materiales y métodos necesarios para seguir el enfoque de los procedimientos



de la investigación. Además, que en el cuarto capítulo se presentan los resultados y discusión encontrados.

Al finalizar se concluye con una discusión en torno a los efectos del tráfico vehicular en los sedimentos y suelos, con las implicancias que esto puede tener tanto en la salud y otros aspectos colaterales del ámbito del centro de la ciudad de Juliaca.

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Contaminación urbana

La contaminación de la atmósfera, ambientes acuosos, suelos y biosfera provocada por el hombre se ha incrementado en los últimos años. En la actualidad la población mundial actual vive en lugares donde la calidad del aire es nociva según los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Hill, 2020). Por lo tanto, monitorear los niveles de contaminación es crucial, especialmente en áreas urbanas, donde reside más de la mitad de la población mundial.

Según Kapper *et al.* (2020) la contaminación atmosférica se produce por partículas transportadas por el aire, estas partículas a su vez pueden posteriormente depositarse. Las plantas, musgos y líquenes actúan como receptores de contaminantes. Otro receptor importante es el suelo urbano, estos suelos pueden ser parques o zonas agrícolas adyacentes, o sedimentos en general depositados. El polvo urbano generado por la actividad industrial, tráfico urbano, vientos, construcción es otro contaminante frecuente. Muchos contaminantes son captados en la hidrosfera depositados o transportados en cuerpos de agua.

1.1.2. Metal pesado

El término “metal pesado” se utiliza actualmente para referirse a una amplia gama de metales y metaloides que tienen el potencial de causar problemas de toxicidad (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

1.1.2.1. Efectos negativos de la contaminación urbana en la salud humana y clima

Los metales pesados son elementos potencialmente dañinos, estos pueden ser absorbidos en el cuerpo humano a través de la inhalación, ingestión y contacto dérmico (Ajani *et al.*, 2022). La inhalación expone directamente los pulmones a los metales transportados por el aire y, por lo tanto, se considera una ruta principal de entrada al cuerpo.

Muchos afirman que el contacto dérmico tiene un riesgo bajo o nulo para la salud a través de la vía de la piel. Sin embargo, la vía del contacto dérmico puede ser de mayor riesgo para la salud cuando se considera el polvo de la calle (Hu *et al.*, 2012).

1.1.3. Contaminación de suelos urbanos

El polvo urbano es una mezcla heterogénea de suelo y polvo de fuentes de origen natural y antropogénico, una gran parte del polvo se produce de PM₁₀ y partículas más pequeñas (Bezberdaya *et al.*, 2022). En vista de la probabilidad que los metales pesados en el suelo urbano, bajo todos los tipos de uso, estén expuestos a las poblaciones receptoras cercanas y causen riesgos a la salud. Los seres humanos están expuestos a los peligros para la salud que resultan de la exposición a metales pesados por diversas vías, como la inhalación, la ingestión y el contacto dérmico del polvo de la calle y los suelos urbanos cargados de metales pesados tóxicos (Mama *et al.*, 2020).

1.1.4. Estudio de tráfico

El transporte es esencial para el desarrollo y el crecimiento de una nación. Los estudios de tráfico dinámico implican la recopilación de datos en condiciones operativas e incluyen estudios de velocidad, volumen de tráfico, tiempo de viaje y demoras, estacionamiento y choques (Quintero-González, 2017).

1.1.4.1. Estudios de volumen

Los estudios de volumen de tráfico se llevan a cabo para recopilar datos sobre la cantidad de vehículos y/o peatones que recorren un determinado punto de una vía en un periodo de tiempo determinado. Este período puede variar de 15 minutos a un año dependiendo de cómo se utilizarán los datos de antemano. Los

datos recopilados también pueden clasificarse en subclases que alcanzan incluir movimiento direccional, tasas de ocupación, clasificación de vehículos y edad de los peatones. Los estudios de volumen de tráfico generalmente se realizan cuando se necesitan ciertas características de volumen, algunas de las cuales se detallan a continuación:

Tráfico diario promedio (ADT) es el promedio de recuentos de 24 horas recopilados durante un número de días mayor a uno, pero menor a un año (Garber & Hoel, 2014). Los ADT se pueden utilizar para:

- a) Planificación de actividades viales
- b) Medida de la demanda actual
- c) Evaluación del flujo de tráfico existente

1.1.4.2. Métodos para realizar conteo de volumen

El conteo del volumen de tráfico se realiza mediante dos métodos básicos: manual y automático (Cal & Cárdenas, 2018; Garber & Hoel, 2014).

A continuación, se incluye una descripción de cada método de conteo.

Método manual

El conteo manual comprende a una o más personas que utilizan un contador para registrar los vehículos vistos. Tanto los movimientos de giro en la intersección como los tipos de vehículos se pueden registrar con este tipo de contador.

Método automático

Los contadores automáticos se pueden clasificar en dos categorías generales: los que requieren la instalación de detectores (de superficie o subterráneos) y los que no requieren la instalación de detectores.

1.1.5. Granulometría de los sedimentos

La granulometría de sedimentos y/o suelos se refiere a la obtención de las cantidades porcentuales de contenido de grava, arena, limo y arcilla. De esta manera el análisis del tamaño de partícula es muy útil para caracterizar sedimentos y suelos para propósitos de comparación e interpretación ambiental. Existen varios métodos para

la obtención del tamaño de partícula que incluyen la medición directa, tamizado en seco y húmedo, hidrómetro y granulómetro laser, sedigrafía de rayos X, entre otros (Dane & Topp, 2020; Sivakugan, 2021).

1.1.6. Fuentes de contaminación en zona urbana

El pavimentado de vías, si bien mejora la transitabilidad de vehículos, también aumenta la cantidad de superficies impermeables y la posibilidad de contaminación de fuentes no puntuales como resultado se muestra en la Figura 1 (Folkesson *et al.*, 2009). En tanto que mayores velocidades de tránsito provocan mayores desgastes de neumáticos y piezas de vehículos.

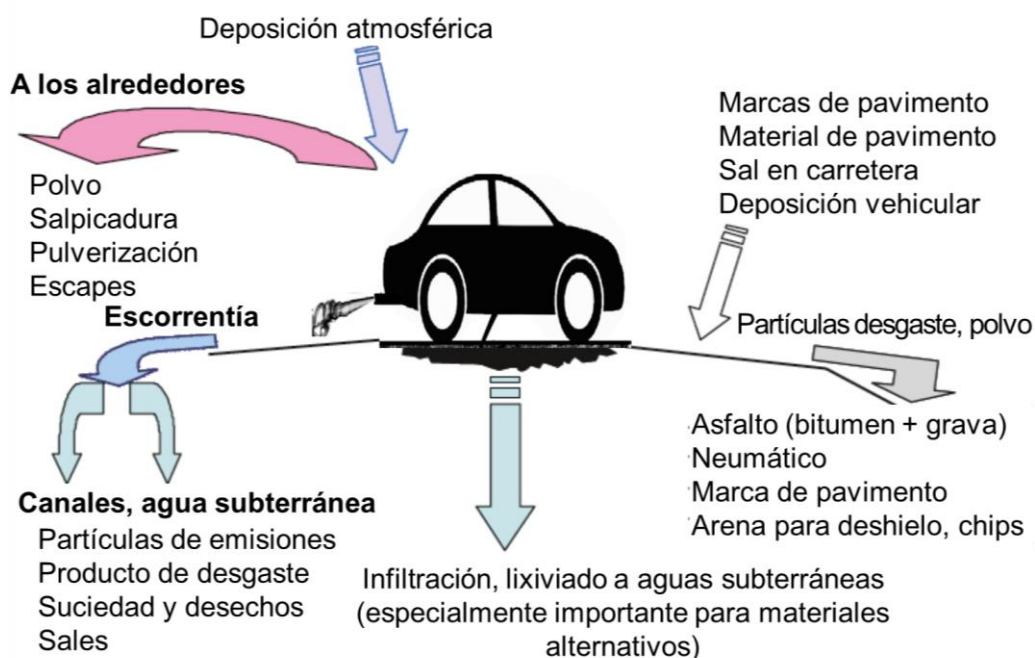


Figura 1. Fuentes y rutas de contaminantes típicos en el ambiente de una vía.

Fuente: Adaptado de Folkesson *et al.* (2009)

Entre las fuentes de contaminación que pueden actuar en una zona urbana podemos destacar (Hanfi *et al.*, 2019; Turan *et al.*, 2020; Turer, 2005):

- Residuos orgánicos de plantas y animales domésticos (plantas, perros, aves, etc.)
- Residuos sólidos urbanos y lixiviados derivados de las mismas.
- Sustancias químicas utilizadas en diversos procesos industriales.
- Compuestos y otras sustancias suspendidas que han precipitado.

- Residuos tóxicos procedentes de emisiones de vehículos (grasas, humos, etc.)

En la Tabla 1 se presenta los principales focos de generación de contaminación por metales pesados en un área específica (Zafra *et al.*, 2013).

Tabla 1

Fuentes generadoras de contaminación de superficie.

Elemento	Fuentes							
	Pastillas de frenos	Llantas	Escape	Aceite	Grasa	Partes móviles	Laminado metálico	Cojinetes y rodamientos
Plomo	X	X	X	X	X	X		X
Zinc	X	X		X	X			
Cobre	X	X		X		X	X	X
Cromo	X					X	X	
Níquel	X		X	X		X	X	X
Cadmio	X	X	X	X			X	
Hierro	X					X		
Manganeso	X	X				X		
Cobalto		X						X
Bario	X	X	X	X				
Arsénico	X	X	X	X				

Fuente: Zafra *et al.* (2013)

McKenzie *et al.* (2009) indican que las muestras de freno están caracterizadas por Fe, Cu, y Ba, mientras que los neumáticos se caracterizan por Zn, Pb y Cu.

1.1.7. Acumulación de sedimento en tiempo seco

Czemiel Berndtsson (2014) afirmó que la cantidad de metales pesados depositados en las superficies de las carreteras es proporcional al volumen del tráfico, lo que indica que la cantidad de Zn y Pb encontrada en la escorrentía vial puede tener una conexión con la densidad del tráfico. Sin embargo, sugieren que la densidad del tráfico solo es significativa a escala local o a nivel de vecindario. Mientras que a mayor escala (es decir, a nivel regional), otros factores (como las fuentes fijas) pueden explicar las variaciones en el contenido de metal.

Tabla 2

Características de áreas de tráfico con cargas de metales pesados.

Lugar	ADT (vehículos/ día)	Tamaño fracción (μm)	Concentración (mg/kg)		
			Plomo	Zinc	Cobre
Davis/U.S.	130 000	<1000	110	414	236
Barcelona/Spain	120 000	<10	229	1 252	771
Massachusetts/U.S.	106 000	<200	79	381	172
London/England	96 000	<250	2 296	1 212	386
London/England	80 000	<2 000	227	1 145	337
Beijing/China(27)	65 000	<2 000	511	51	126
Baltimore/U.S.	45 575	<63		343	196
London/England	42 000	<250	1 826	695	280
Zhenjiang/China	34 512	<2 000	589	687	158
Tokyo/Japan	28 250	<2 000		1 500	340
Tokyo/Japan	28 250	<2 000		1 525	708
Hamilton/New Zealand	25 000	125-250	251	1 073	184
Christchurch/New Zealand	24 000	<1 000	290	370	73
Hildesheim/Germany	22 000	<2 000	255	120	84
Ulsan/South Korea	20 118	<2 000	153	325	182
Lulea/Sweden	20 000	75-125	68	150	89
Tokyo/Japan	19 600	<2 000	200	1 300	510
Barcelona/Spain	15 000	<100	283	542	216
Jönköping/Sweden	11 200	<250	45	257	282
Jönköping/Sweden	11 200	<2 000	23	125	119
Beijing/China	8 900	150-250	59	280	72
Sydney/Australia	8 800	<200	511	249	124
Aberdeen/Scotland	6 900	63-250	305	345	325
Lulea/Sweden	5 000	75-125	15	80	53
Lulea/Sweden	4 500	75-125	14	100	91
Torrelavega/Spain	3 800	125-250	246	309	90
Torrelavega/Spain	3 800	125-250	299	309	117
Bilbao/Spain	1 800	<2 000	630	200	45
London/England	2 400	<250	978	2 133	91
Singapore/Malaysia	726	<63	297	1 585	465
Mediana		250	251	358	177
Media		889	400	635	231
Minimo		10	14	51	45
Maximo		2 000	2 296	2 133	771
Dato considerado		30	27	30	30

Fuente: Zafra *et al.* (2019)

En la Tabla 2 se presenta una revisión bibliográfica acerca de la concentración de metales pesados asociados con el sedimento acumulado sobre las superficies viales para diferentes densidades de tráfico (ADT) en vehículos/día (Zafra *et al.*, 2019). Otros autores también relacionaron las concentraciones de contaminantes según el

área de lavado de la cuenca en diferentes partes del mundo (Huber & Helmreich, 2016).

La concentración de metales traza (MT) en la deposición seca varía principalmente con las fuentes responsables, mientras que, en la deposición húmeda, depende de la solubilidad de los MT. Sin embargo, las evaluaciones de riesgos para la salud muestran que es más probable que la ingestión y las vías de contacto dérmico causen problemas de salud; sin embargo, la probabilidad de que ocurra la ingestión y las vías de contacto dérmico es limitada (Vithanage *et al.*, 2022). Además de la deposición sobre superficies impermeables, el material particulado (MP) incorporados en los MT pueden depositarse sobre agentes biológicos.

1.1.8. El sedimento/suelo urbano como receptor de contaminantes

Sedimentos

En este trabajo se considera sedimento al material acumulado en la calzada y cunetas de las vías. Este material inicialmente se caracteriza por la distribución de tamaño de sedimentos y el contenido mineral en forma natural y/o por acción antropogénica, pueden nombrarse hasta cinco clases de tamaño de primer orden (canto rodado, grava, arena, limo y arcilla), pudiendo tener varios sistemas de clasificación, desde el punto de vista de estudios de sedimentación, agrícola, construcción (Blott & Pye, 2012), una escala adecuada de comparación es el índice phi (ϕ), también denominado escala de Udden-Wentworth.

Suelo

Para el propósito de la investigación el suelo se considera al material que se encuentra en los parques y jardines, que se caracterizan además de su distribución granulométrica por la presencia de materia orgánica y contenido de sedimentos (arena, limo y arcilla).

El suelo se compone de minerales y partículas orgánicas que se acomodan en una matriz con alrededor del 50% del volumen poroso ocupado por agua y aire (Weil & Brady, 2017). Las partículas de suelo se agrupan en diferentes suelos, separados según su tamaño y tipo de partícula (Tabla 3). Las piedras y gravas, consideradas parte de la fracción gruesa del suelo, provienen de la meteorización de las rocas.

Contienen principalmente minerales de origen geológico con pequeños niveles de elementos potencialmente tóxicos (Kapper *et al.*, 2020).

Tabla 3

Tipo de partículas o clases de suelo con sus valores de umbral sugeridos.

Partícula	Diámetro (USDA ¹) (mm)	Diámetro (WRB ²) (mm)	Diámetro (ASTM ³) (mm)
Grava	> 2		> 4,75
Arena muy gruesa	0,50-2,00	0,63-1,25	< 4,75
Arena gruesa	0,25-0,50	0,20-0,63	
Arena fina	0,10-0,25	0,125-0,200	
Arena muy fina	0,05-0,10	0,020-0,125	
Limo	0,002-0,063	0,002-0,020	< 0,075
PM ₁₀	0,0025-0,01		
PM _{2,5}	≤ 0,0025		
Arcilla	≤ 0,002	< 0,002	
PM _{0,1}	≤ 0,0001		

Fuente 1. Departamento de Agricultura EU (USDA): Soil Survey Staff. (1999).

2. Base de Referencia Mundial para Recurso Suelo (WRB): IUSS Working Group

3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS: Práctica estándar para clasificación de suelos para propósitos de Ingeniería, (2011). ASTM D2487.

Las partículas minerales con diámetros <2 mm, más pequeñas que las piedras y las gravas, se consideran la fracción tierra fina e incluyen partículas del tamaño de arena, limo y arcilla (Weil & Brady, 2017). La arena limosa es una mezcla de suelo que a menudo está dominada por cuarzo, pero también puede contener cantidades significativas de feldespato y mica. Las arenas gruesas y finas son una mezcla de partículas naturales, que se derivan de la meteorización de las rocas, y de partículas antropogénicas.

Dado que las partículas de arena pueden ser transportadas por el viento y otros agentes, es necesario identificar su origen. Las arcillas están separadas del suelo ≤2 μm. Debido a su gran superficie específica pueden absorber grandes cantidades de agua y otras sustancias que otros suelos separan (Weil & Brady, 2016).

El hierro tiene un papel importante en los procesos de desarrollo del suelo y afecta las propiedades físicas de los suelos, como el color, la estructura y fabrica. Los óxidos

de hierro pueden actuar como fuentes o sumideros de nutrientes y contaminantes para las plantas. Prevalcen dentro de los suelos como partículas finas discretas, racimos o material de grano fino que recubre otros granos o superficies vacías (Kapper *et al.*, 2020).

1.1.9. Contaminación de la escorrentía pluvial

La escorrentía superficial de carreteras contiene importantes concentraciones de contaminantes que se acumulan en las superficies de carretera que es transportado por aguas de lluvia a los ríos o lagos y se considera como una fuente puntual de contaminación crítica para los cuerpos receptores de agua; por lo tanto, es un tema de preocupación en el manejo de cuencas y el mantenimiento del medio ambiente urbano (Fronczyk *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2013).

Una suposición razonable de que los volúmenes iniciales de la escorrentía en cuencas urbanas durante eventos de lluvia contienen los más altos niveles de contaminantes, este fenómeno es conocido como el *primer lavado*. La identificación de la naturaleza de este fenómeno tiene importantes beneficios para la implementación de prácticas de manejo de calidad de aguas pluviales (por ejemplo, dimensionamiento de sistemas de tratamiento) (Bach *et al.*, 2010). Según Di Modugno *et al.* (2015) el primer 30% en promedio de ese lavado lleva el 60% de los sólidos suspendidos totales (SST) y proporciona información importante para el diseño de sistemas eficientes para el tratamiento del primer lavado.

La tratabilidad de escorrentía de aguas pluviales por sedimentación depende del grado en que los contaminantes se unen a las partículas. Por lo tanto, la distribución entre las cargas de contaminación disuelta y unidos a las partículas es reportada por Boogaard *et al.* (2014). Donde hasta 90 mediciones fueron tomadas de alcantarillas de aguas pluviales en 25 lugares diferentes en los Países Bajos. La distribución entre la carga de la contaminación disuelta y unido a partículas se determinó mediante la comparación de la concentración total en las muestras con la muestra filtrada (0,45 micras), como se aprecia en la figura 2.

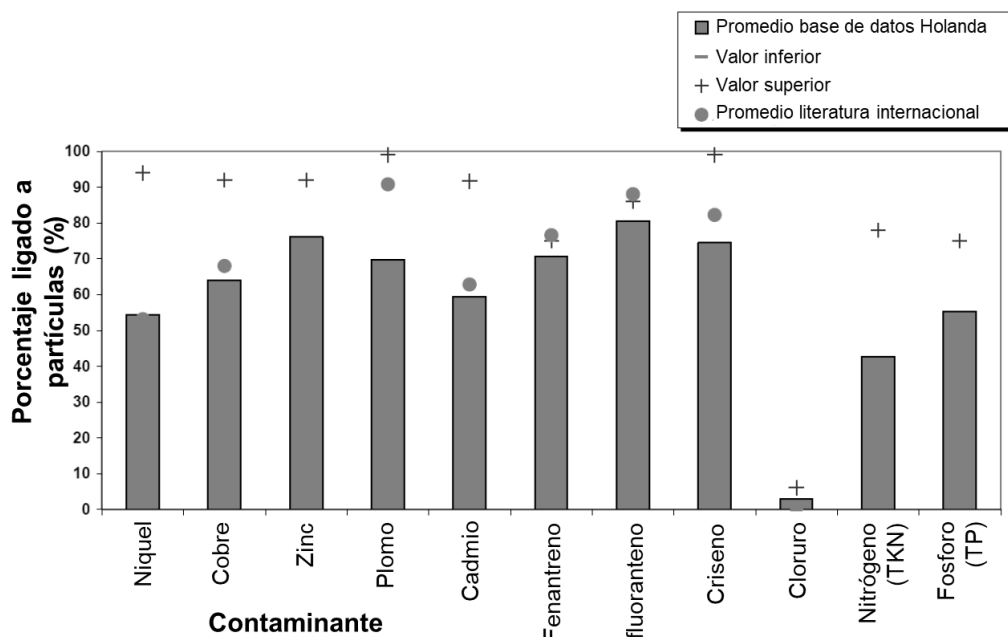


Figura 2. Distribución de contaminantes disueltos en aguas pluviales (Países Bajos) (90 muestras procedentes de 25 lugares).

Fuente: Reproducido de Boogaard *et al.* (2014).

Peña Guzmán y Lara Borrero (2012) indican que, en Bogotá, humedales artificiales se implementan para proteger los humedales naturales, debido a que el agua de lluvia que ingresa contiene diferentes concentraciones de contaminantes debido al efecto de primer lavado y la deficiente implementación de las conexiones sanitarias.

Las regulaciones e incentivos para el manejo de cuencas hidrográficas son puntos estratégicos para iniciar la aplicación del manejo sostenible del suelo urbano en el desarrollo. Además, la restauración gradual de las condiciones hidrológicas y la calidad del agua en las áreas urbanas (Avila, 2012).

1.1.10. Métodos de evaluación de contaminación de metales pesados

Índice de Geoacumulación (I_{geo})

El I_{geo} es un criterio geoquímico introducido por Muller (1969), que se puede utilizar para evaluar la contaminación del suelo al comparar las diferencias entre las concentraciones actuales y preindustriales. A diferencia de otros métodos de evaluación de la contaminación, el I_{geo} tiene en cuenta el proceso de diagénesis

natural, lo que hace que las evaluaciones sean más prácticas. El I_{geo} se calcula utilizando la ecuación (1).

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5B_n} \right) \quad (1)$$

donde C_n es la concentración medida de metales pesados en el suelo (mg/kg), B_n es el valor de base (referencia) geoquímico de los metales pesados correspondientes (mg/kg) y el coeficiente 1,5 se utiliza debido a posibles variaciones en los datos de referencia (Shifaw, 2018), el Índice de Geoacumulación se clasifica en siete clases de contaminación; como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4

Grados de contaminación de suelo basado en I_{geo} y PI.

I_{geo}	Clase I_{geo}	Categoría de contaminación	PI	Categoría contaminación
$I_{geo} \leq 0$	0	No contaminado	≤ 1	Baja
$0 < I_{geo} \leq 1$	1	Leve a moderadamente contaminado	1 – 3	Media
$1 < I_{geo} \leq 2$	2	Moderadamente contaminado	> 3	Alta
$2 < I_{geo} \leq 3$	3	Moderadamente a fuertemente contaminado		
$3 < I_{geo} \leq 4$	4	Fuertemente contaminado		
$4 < I_{geo} \leq 5$	5	Fuertemente a extremadamente contaminado		
$I_{geo} \geq 6$	6	Extremadamente contaminado		

Fuente: Basado en Radziemska y Fronczyk (2015)

Índice de Contaminación (PI)

El índice PI se calcula utilizando la ecuación (2) (Radziemska & Fronczyk, 2015):

$$PI = \frac{C_n}{B_n} \quad (2)$$

Donde C_n es el valor de concentración medido (mg/kg) y B_n es el valor base (referencia) de los metales pesados en el suelo (mg/kg). La clasificación de la contaminación del suelo utilizando índices I_{geo} y PI se presenta en la Tabla 4.

1.1.11. Normativa sobre suelos contaminados

En el Perú, se tiene el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos aprobado D.S. N° 011–2017-MINAM, donde recomienda varios niveles de contaminación para metales pesados como el plomo en los suelos urbanos se encuentre por debajo de 140 ppm en parques (MINAM, 2017).

Canadá cuenta con el Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health para suelos (CCME, 2007) y el Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life para sedimentos de ríos (CCME, 1999), donde se presentan valores de concentraciones (mg/kg peso seco) para áreas agrícola, residencial, comercial, parques, industrial.

1.2. Antecedentes

Hosseini y Sobhanardakani (2022), recolectaron un total de 63 muestras de suelo al borde de la calzada de tres carreteras principales, incluidas Goltapeh (G), Razan (R) y Kermanshah (K) en Irán. Determinando que las carreteras con tráfico pesado tienen la mayor acumulación de todos los metales. Así, valores calculados de índices de contaminación con media de 0,970 para I_{geo} y 2,16 para PI, lo que indica que, los suelos recolectados de los caminos R y K están contaminados principalmente por Zn.

Holtra y Zamorska-Wojdyła (2018), encontraron que los valores medios de los índices de todas las muestras indican la influencia dominante del zinc, el cobre y el níquel en la contaminación del suelo en Wrocław, Polonia. Los resultados de los estudios no confirmaron la correlación entre la disminución de la concentración de todos los metales con la distancia al centro de la ciudad.

Wang *et al.* (2013), reportan que el muestreo de campo de las vías urbanas con mucho tráfico es un procedimiento difícil, por lo que los datos de campo de la contaminación vial, es escasa. Se realizaron investigaciones tanto en sedimentos depositados de carretera y en la escorrentía, en Australia y China, respectivamente. Ambos grupos discuten las relaciones entre el tamaño de las partículas y las concentraciones de metales pesados, pero usaron lluvia simulada, no hechos reales. En otras ciudades se llevaron a cabo experimentos de campo sobre la escorrentía de carreteras y se demostró que las vías rápidas dentro de las ciudades producen mayores

concentraciones de metales pesados como Zn, Fe, Cu, Cr, Ni y Pb que las carreteras generales (Bourliva *et al.*, 2017; Nazzal *et al.*, 2013).

Romero-Barreiro *et al.* (2015), presentaron la evaluación de concentraciones de metales pesados diarias asociados a sedimentos viales en Fontibón y Barrios Unidos, Bogotá (Colombia). Evaluaron el plomo y el cobre, ya que se encontraron principalmente en los sedimentos de las carreteras. Siendo también muy importante comparar las concentraciones detectadas con respecto a la normatividad internacional seleccionada como de referencia, principalmente la canadiense y nacionales (CCME, 1999, 2007; MINAM, 2017).

En la Bahía de Guanabara, Río de Janeiro, las concentraciones de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr y Ni se encontraron superiores en estos sedimentos respecto a las concentraciones encontradas en muestras del medio ambiente natural, en el que se utiliza un índice de factor de enriquecimiento (FE) para distinguir entre natural y fuentes antropogénicas. La granulometría de sedimentos indica que están compuestas de arena. Los altos niveles de materia orgánica y metales pesados indicarían que estos materiales de escorrentía de la calle son una fuente potencial de contaminación de los sedimentos cercanos a la costa de la Bahía de Guanabara (Pereira *et al.*, 2007).

Thorpe & Harrison (2008) indican que es extremadamente difícil diferenciar del polvo proveniente del tráfico o del escape del vehículo e incluso del suelo contaminado adyacente. Asimismo, Borris *et al.*, (2016) mencionan que en un clima seco los sedimentos gruesos de la calle funcionaron como colectores de partículas finas con metales pesados adheridos, pero en clima húmedo, las cargas de metal fueron liberados por el proceso lluvia-escorrentía.

Prestes *et al.* (2006), investigaron la presencia y el comportamiento de Cu, Pb y Cd en las aguas de escorrentía de una zona residencial situada en la ciudad de Curitiba, Brasil. Las concentraciones de metales fueron similares a variar los valores recopilados en todo el mundo y sigue el orden: Pb > Cu >> Cd. Las unidades de carga se estimaron en la cuenca, que cubren una superficie de 30 km², que revela los valores de 1 520, 950, 25 kg de Pb, Cu y Cd, respectivamente. Entre los tres metales, plomo mostró la mayor afinidad por los sólidos en suspensión (82%), seguido de Cd (66%) y Cu (48%). Cargas de metal y el comportamiento de la escorrentía urbana también

depende de factores tales como el primer color y el período seco que precede a un evento de tormenta (Di Modugno *et al.*, 2015).

Otros resultados muestran que la acumulación de Cu, Zn y Pb en suelos de carretera en China, estuvieron en un nivel no contaminado en todos los sitios. Sin embargo; los índices de Cd en las regiones con mayor densidad de circulación han llegado a un nivel de alto potencial de riesgo ecológico; y algunos lugares con concentraciones máximas incluso han sido gravemente contaminados debido a las actividades de tráfico (Yan *et al.*, 2013).

En el ámbito de la región Puno, según la Municipalidad Provincial de San Román en su Plan de Desarrollo Urbano, reportan principalmente la contaminación excesiva por residuos sólidos, contaminación del aire por efecto del tráfico vehicular, indicando que en algunos casos sobrepasa los límites máximos permisibles. Adicionalmente se tienen mediciones de los canales de drenaje, donde se han encontrado metales pesados (MPSR, 2016; Salazar Jaime & MPSR, 2010). Sin embargo, no indica ningún tipo de análisis de la deposición sólida ni líquida que provenga directamente de los pavimentos.

Los sedimentos/suelos urbanos son propensos de tener altos niveles de contaminación, principalmente debido al tráfico vehicular, ya que estos generan acumulación de materiales procedentes del desgaste de las piezas de un vehículo (Thorpe & Harrison, 2008). Es así, que las llantas, pastillas de frenos, emisiones gaseosas, entre otras, son fuentes de contaminación (Folkeson *et al.*, 2009). El movimiento del polvo urbano, se puede decir que, inicia con el desgaste vehicular y pasa a la calzada del pavimento, este material acumulado, es indistintamente mezclado con el material de transporte de sedimento por erosión procedente de partes altas y además desde materia adherido a las llantas de vehículos, proveniente de vías no pavimentadas o de la construcción (Bautista-Hernández *et al.*, 2022). Posteriormente en la época de lluvia, estos sedimentos también son disueltos en el agua que a su vez es transportado hacia los drenes de la ciudad, ríos y lagos (Algül & Beyhan, 2020). Pudiendo ser una fuente de riesgo muy importante para la salud de las personas, en especial niños (Siddiqui *et al.*, 2020).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

A nivel mundial, el polvo de la carretera puede contener partículas enriquecidas con elementos potencialmente tóxicos (PTE) como resultado de la degradación de las piezas mecánicas de los vehículos, el desgaste de los neumáticos y los procesos de combustión (Cowan *et al.*, 2021). La calidad ambiental de los suelos de los parques urbanos podría influir en la salud humana después de una exposición prolongada, las concentraciones de Cu, Zn, Pb, Cd, As y Hg se asocian fuertemente con las influencias humanas, incluida la actividad industrial, agrícola y de tráfico (Liu *et al.*, 2020).

Cuando la zona de vertido de aguas pluviales urbanas se encuentra junto a un espacio de uso público, por ejemplo, una playa o malecón, pueden quedar gravemente afectados por el arrastre de residuos, contaminación de las aguas, etc. inutilizando la capacidad del mismo para usos recreativos durante varios días o permanentemente (Fronczyk *et al.*, 2016; Morquecho *et al.*, 2005; Wakida *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2013).

Según se ha observado en otros países, la mayor carga contaminante está asociada a la deposición seca y la escorrentía líquida de los primeros minutos de precipitación. Quiere ello decir que muchas veces, los primeros caudales transportan concentraciones más altas; por tanto, con un riesgo contaminante mucho mayor respecto a las posteriores descargas máximas, debido al gran volumen de agua circulante por unidad de tiempo, se produce una dilución mayor de las sustancias que transporta (Zafra *et al.*, 2017).

Juliaca es el distrito de mayor población urbana en la región sur peruana, al 2022 incluyendo los distritos de San Miguel y Caracoto contaba con 343 204 habitantes (INEI, 2022); por tanto, tiene un incremento vertiginoso de las áreas urbanas, lo que viene causando contaminación de diversidad de orígenes, lo que incluyen los residuos sólidos, actividad comercial e industrial, tráfico vehicular (MPSR, 2016). En tal sentido, el interés de las investigaciones es conocer la contaminación de las emisiones de tráfico vehicular,

especialmente de metales pesados depositados en la calzada y la escorrentía vial dentro de la ciudad.

Por consiguiente, en Juliaca, el parque automotor, se compone mayormente de automóviles, pick-ups, camionetas rurales (combi), micros, camiones y en menor cantidad otros vehículos (camionetas SUV, autobuses, maquinaria pesada, etc.); estando el recorrido del transporte público concentradas en el centro histórico de la ciudad, Jr. San Martín, Av. circunvalación. Los automóviles y el transporte público están extremadamente en mal estado de conservación y son la principal fuente de contaminación del aire en las ciudades. Un aspecto a considerar es la venta no oficial de gasolina con alto contenido de proveniente de Bolivia. En la región Puno en el 2000 se contaba con 13,33 vehículos por cada mil habitantes y para el 2015 el parque automotor se incrementó a 32,50 vehículos por cada mil habitantes; habiendo un incremento de 3,04 veces durante el periodo (MPSR, 2016).

Por otra parte, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) a través de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, hizo una evaluación en la matriz de sedimentos del río Torococha de la ciudad de Juliaca, registrándose altos niveles de arsénico (As: 20,5 mg/kg), zinc (Zn: 351,5 mg/kg) y mercurio (Hg: 3,37 mg/kg), los cuales estuvieron por encima del valor referencial PEL de las directrices canadienses. Asimismo, el cadmio (Cd: 2,36 mg/kg), cobre (Cu: 75,50 mg/kg) y plomo (Pb: 54,34 mg/kg), superaron los valores guía ISQG de las directrices canadienses (ALA-Juliaca, 2014). Estas concentraciones de metales pesados serían producto de las actividades de la población dentro ciudad de Juliaca.

Por lo que, este trabajo tratará de determinar relaciones entre el tráfico vehicular, velocidad de tráfico, con la deposición seca de partículas sobre el pavimento y la carga contaminante de la escorrentía líquida con concentraciones de partículas arrastradas en los primeros minutos de la lluvia, ya que estos contribuyen a la contaminación de los cuerpos receptores como el río Torococha, consecuentemente al río Coata, y a la población circundante que utiliza aguas del río Coata para consumo humano y de animales.

2.2. Enunciados del problema

Con el presente trabajo se pretende responder las siguientes interrogantes:

2.2.1. Pregunta general

¿Cuáles son las características de sedimentos viales y la concentración de los metales pesados en zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Juliaca?

2.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cuánto es el volumen de tráfico vehicular en vías de la zona de alto tráfico en Juliaca?
- ¿Cuáles son las características del sedimento sobre la calzada y parques relacionados a contaminantes por metales pesados en estado seco en zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca?
- ¿Cuáles son las características de la escorrentía vial sobre el pavimento relacionados a contaminantes de metales pesados de los primeros minutos de precipitación en las zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca?

2.3. Justificación

En esta investigación, nos centramos en estudiar el sedimento depositado en las vías, y la escorrentía producto de las precipitaciones de los primeros minutos de iniciado la lluvia que produce un lavado de las pistas, hallando las concentraciones principalmente de los metales pesados presentes y otros provenientes del tráfico vehicular, que pueden repercutir en el medio ambiente y salud poblacional. Ya que en la actualidad se tiene un alto crecimiento del parque automotor, que provoca contaminación difusa en toda la fuente, finalmente llega a las aguas del río Torococha que atraviesa la ciudad de Juliaca.

Además, Juliaca es la ciudad más poblada de la región, no se tiene ningún estudio de esta magnitud, por lo que es de mucha importancia conocer los resultados de lavado del material particulado de las zonas de alto tráfico y su influencia en el medio ambiente y la salud poblacional; beneficiándose todos los pobladores de la ciudad de Juliaca, ya que a partir de estos, se podrá recomendar una serie de medidas a fin de evitar los efectos negativos en las aguas receptoras del río Torococha y consecuentemente del río Coata.

Asimismo, se podrá profundizar el conocimiento teórico y práctico del proceso denominado lavado de material particulado, así ofrecer un enfoque integral sobre los

graves daños ambientales producido por el crecimiento económico, contribuyendo a la concientización ambiental de la población local.

Igualmente, es preciso tomar en cuenta que, en los tiempos actuales, las cuencas de ciudades peruanas, tienen la tendencia a disminuir o anular el vertido de aguas residuales sin tratamiento a los cauces naturales, por lo que es necesario tomar en cuenta los límites permisibles.

Incluso esta información será útil para que las instituciones encargadas de velar los aspectos ambientales, tomen las decisiones para que estos problemas puedan resolverse adecuadamente.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Realizar la caracterización de sedimentos viales y su concentración de metales pesados en zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Juliaca.

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el volumen de tráfico vehicular vías de alto tráfico de la ciudad de Juliaca.
- Caracterizar los sedimentos sobre la calzada y parques por la concentración de contaminantes de los sedimentos y suelos en las zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca.
- Caracterizar la concentración de contaminantes de la escorrentía vial de los primeros minutos de precipitación en las zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Existe contaminación por la concentración de metales pesados en los sedimentos y escorrentía vial en zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Juliaca.



2.5.2. Hipótesis específicas

- El tránsito diario en las zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Juliaca, tiene altos niveles que pueden ser contaminantes.
- Existe contaminación por la concentración de metales pesados en sedimentos sobre la calzada y suelos de parques en las zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca.
- Existe contaminación por la concentración de metales pesados en la escorrentía vial de los primeros minutos de precipitación pluvial en las zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La ciudad de Juliaca, conocida como el centro económico más importante y es la más poblada de la región Puno, Perú, está ubicada a $70^{\circ} 08' W$ y $15^{\circ} 29' S$ sobre 3 825 m.s.n.m. El estudio se realizó en la zona céntrica de la ciudad, con alto tráfico vehicular (Figura 1). La ciudad de Juliaca tiene un área urbana de 135 km² con una población al año 2022 de 343 204 habitantes, lo que incluye los distritos de Juliaca, San Miguel y Caracoto (INEI, 2022). Según el diagnóstico del tráfico en Juliaca, efectuado por la Municipalidad Provincial de San Román-Juliaca en su Plan Maestro de Transporte Urbano (PMTU) indica que los desplazamientos de vehículos motorizados muestran el 85,2% viajes diarios se realizan en transporte público colectivo, 7,9% de viajes se realizan en transporte público particular y 6,8% realizan en vehículos privados (Valeriano Moreno, 2019). Por otro lado, una característica importante del sistema de transporte de Juliaca es la gran diversidad de tipo de transporte que cuenta, desde vehículos menores hasta vehículos pesados, esto por la gran demanda de la población y consecuente actividad comercial. Sin embargo, esta gran oferta ha sobrepasado la necesidad real de la población y se ha convertido en uno de grandes problemas de Juliaca, ya que concentra en un solo tipo de infraestructura vial diversos modos de transporte, generándose puntos de conflicto sobre todo en la zona céntrica (MPSR, 2016).

3.2. Población

La población de datos son los sedimentos en las vías urbanas céntricas de la ciudad de Juliaca, desde donde se ha tomado muestras para la determinación de concentraciones de contaminantes de la deposición seca en 05 puntos de las zonas de alto tráfico en la ciudad de Juliaca. La cantidad de muestras y ubicación se ha tomado en forma intencional por conveniencia (Alfaro & Gonzales, 2008), medidos en intervalos de tiempo adecuados entre 10 a 15 días en época seca y eventos de precipitación. considerándose 05 puntos en

la ciudad, 3 en calzadas de vía y 02 en parques públicos, direccionando por supuesto de mayor concentración de metales pesados.



Figura 3. Ubicación de puntos de muestreo en la ciudad de Juliaca.

Nota: Elaborado en el programa ArcGIS con fondo de Google Maps

3.3. Muestra

Los sitios de muestreo se ubicaron en la ciudad de Juliaca en áreas de alto tránsito del centro de la ciudad (J2 y J3), parques públicos (J4 y J5) y la autopista Juliaca-Puno (J1). Las calzadas donde se tomaron las muestras fueron en la Av. Mártires 4 noviembre (J1), Jr. San Román con Jr. 2 de mayo (J2), Jr. Jáuregui con Av. Ricardo Palma (J3); asimismo, en la plaza Bolognesi (J4) y la plaza Zarumilla (J5) (Figura 4), cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Lugares de muestreo y posición en la zona céntrica de Juliaca.

Código	Nombre vía	Posición	
		Latitud S	Longitud O
J1	Av. Mártires 4 Noviembre	15,505076°	70,127767°
J2	Jr. San Román – Jr. 2 de Mayo	15,493062°	70,133214°
J3	Jr. 2 de Mayo – Av. Ricardo Palma	15,492951°	70,139069°
J4	Jr. San Román (Plaza Bolognesi)	15,496294°	70,131681°
J5	Jr. Apurímac (Plaza Zarumilla)	15,496477°	70,127653°

Nota: Coordenadas de inicio en base proyección UTM WGS84, vía Google Earth

Las vías estudiadas tienen un pavimento de asfalto y un volumen de tráfico diario dependiente de la ubicación; es decir, hay zonas comerciales con bajas velocidades de tránsito, y una autopista con velocidad de flujo más alta.

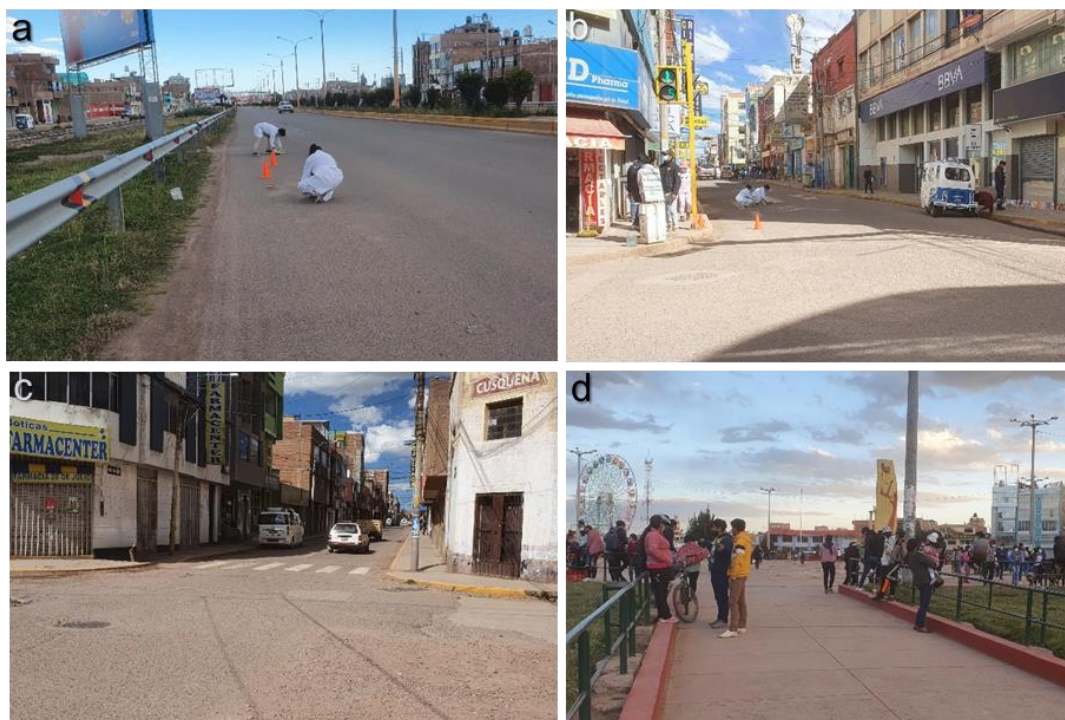


Figura 4. Lugares de muestreo en (a) Av. Mártires 4 Nov., (b) Jr. San Román-Jr. 2 de Mayo, (c) Jr. Jáuregui-Jr. 2 de Mayo y (d) Plaza Zarumilla.

Nota: Fotos en los lugares de muestreo

3.4. Métodos de investigación

Se ha empleado una investigación cuantitativa, no experimental debido a que la manipulación de variables no se sometió a pruebas que modifiquen su consistencia porque son fenómenos que han sucedido a través del tiempo.

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos

3.5.1. Determinación del tráfico vehicular

La medición del tráfico diario fue realizada en el año 2021 y 2022 por el interesado. El estudio de tráfico se realizó con el conteo manual en cada punto de interés durante 2 días completos en cada punto de muestreo, mediante planillas horarias y acumuladas en el día, estratificando los diversos tipos de vehículos para obtener el índice medio diario de vehículos, estimando el equivalente a un tipo único de vehículo según valores recomendados en estudios de la provincia de San Román-Juliaca (Tabla 6).

En este caso se procedió a la recopilación de los flujos vehiculares y toma de datos de la geometría vial del punto muestreado, según tipos de vehículo. Se emplearon adecuadamente los formatos de conteo vehicular, tomando en cuenta los sentidos de circulación de las vías involucradas (ver figura 5). En oficina se determinaron el tránsito diario principalmente, los flujos críticos, horas punta de mañana, medio día y tarde, así como los flujogramas para periodo diario.



Figura 5. Sentidos de circulación en el área de estudio, Av. Mártires 4 Nov., J1.

Nota: Vía de alto tránsito, salida a la ciudad de Puno

Tabla 6

Equivalencia entre autos directamente equivalentes.

Tipo vehículo	Factor de equivalencia
Auto	1,0
Camioneta	1,5
Combi	1,25
Mototaxi	0,75
Moto lineal	0,3
Micro	2,0
Camión	2,5
Trailer	3,0
Maquinaria	4,0

Nota: Basado en información de Gerencia de Transporte y Urbanismo de Juliaca

Tipos de aforo identificados

La demanda de vehículos que soporta cada vía por sentido de circulación se recolectó en base a mediciones continuas de flujos vehiculares, según la clasificación siguiente: auto, combi, camioneta, mototaxi, moto lineal, micro, camión, trailer. Para el análisis del tránsito se consideró los factores de ajuste o conversión a unidades de coche patrón (UCP), también denominado autos directamente equivalentes. Estos factores fueron utilizados con la finalidad de uniformizar los tipos de vehículos a un patrón, que habitualmente se emplea en la provincia de San Román Juliaca (ver Tabla 6).

3.5.2. Caracterización de sedimentos y suelos para análisis de metales pesados

El criterio de selección de puntos de muestreo se basó a los lugares cercanos al centro histórico y su proximidad a zonas de alta velocidad, así como a plazas o parques públicos de esparcimiento, al uso del terreno como zonas comerciales, zonas de alto tráfico vehicular.

Para la caracterización física de los sedimentos se tomaron 03 muestras de la calzada de vía, 02 de las áreas verdes o parques. Se tomaron muestras de las orillas de la calzada de muestreo, como lo recomiendan (Wang *et al.*, 2013). En el caso de parques todas las muestras fueron tomadas de la capa superior de 10 a 20 cm de profundidad (MINAM, 2014).

Para la obtención de la muestra de suelo en época de lluvia se obtuvo cuando hubo al menos cinco días sin precipitaciones, plazo en el cual se acumuló contaminantes en la calzada.

Las herramientas de muestreo se lavaron con agua y secaron antes de recoger la siguiente muestra. Las muestras recogidas se almacenaron en bolsas de plástico de polietileno. Las muestras se secaron al aire en el laboratorio a temperatura ambiente, luego se molieron en una mezcla fina usando mortero y mano de mortero antes de tamizarlas bajo una malla de 2 mm. Las muestras se almacenaron en un recipiente de polietileno listo para la digestión y el análisis (Jones 2001; Sparks *et al.*, 2020).

Para el análisis de metales pesados en muestras de sedimentos, se utilizó la técnica de plasma de acoplamiento inductivo junto a un espectrofotómetro de emisión óptica ICP-OES, siguiendo el protocolo *7003 EPA 200.7, certificado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) del Perú. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio acreditado de la ciudad de Arequipa, Laboratorios Analíticos del Sur (LAS).

Para el análisis elemental (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn), las muestras de suelo se sometieron a digestión ácida con HNO₃ y HCl (3: 1, v/v) según se define en el método US EPA 200.7 (EPA, 1994).

La interpretación de los datos, se efectuaron según las diferentes autoridades ambientales internacionales comparando los resultados con una serie de directrices universales sobre los límites de toxicidad de sedimentos y suelos. Para el caso de sedimentos se tiene las directrices provisionales de calidad de sedimentos canadienses del Consejo Canadiense de Ministerios de Medio Ambiente (CCME) (CCME, 2007) que muestran límites objetivos intermedios de calidad de sedimentos, como el Nivel de Efecto Probable (PEL), que indica el grado en que los efectos adversos son continuos sobre los ecosistemas acuáticos y el Nivel de Efecto Umbral (ISQG o TELs), que se refiere al grado en que el efecto adverso puede ocurrir ocasionalmente. Que nos proporcionan umbrales de concentración para elementos que probablemente causen efectos biológicos.

Mientras que, para las muestras de suelo, tal es el caso de los parques (plaza Bolognesi y plaza Zarumilla) se emplearon las pautas de las normas de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para suelo peruanos (MINAM, 2014), además de las directivas CCME.

Los trabajos de campo y gabinete se efectuaron según la ubicación de puntos de muestreo en diferentes zonas, verificación de características y tipo de cobertura de la cuenca, posteriormente el análisis de laboratorio de la deposición seca sobre el pavimento, incluye la codificación, certificación de laboratorio y sistematización de datos. Luego viene la interpretación de los resultados del análisis efectuado, redacción de informe según los datos temporales, comparación con normas internacionales, para los diversos puntos analizados. Asimismo, se usó el índice de geoacumulación y el índice de contaminación.

3.5.3. Caracterización de escorrentía para análisis de metales pesados

La determinación de comportamiento de la escorrentía vial durante los sucesos de precipitación, se refiere a la recolección, y procesamiento en laboratorio autorizado los diversos parámetros de calidad del agua del material lavado durante los primeros minutos de lluvia en un área específica. Como las vías estudiadas no se barren todos los días, por lo que se asume que previamente se acumularon contaminantes en la superficie de la vía.

Las muestras de escorrentía se recolectaron, de dos eventos de lluvia, durante los meses de febrero a mayo, después de 10 a 15 minutos de iniciado la tormenta, en la zona de flujo acumulado; es decir, las cunetas de la calzada. Los resultados fueron comparados con los estándares nacionales de calidad para agua (ECA) categoría 4 conservación del ambiente acuático.

Al igual que para muestras de sedimento/suelo, la concentración de los metales pesados para las muestras líquidas se determinaron por medio de espectrofotometría de plasma de acoplamiento inductivo junto a un espectrofotómetro de emisión óptica ICP-OES, siguiendo el protocolo *7003 EPA 200.7 (EPA, 1994).

El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos, tanto en campo y gabinete: 1) Toma de datos de calidad de agua proveniente del lavado de la superficie del pavimento en puntos especificados en el inicio de la precipitación, 2)

Análisis en laboratorio el líquido recolectado, incluye la codificación, certificación de laboratorio y sistematización de datos, 3) Interpretación de los resultados del análisis efectuado, 4) Redacción de informe según los datos temporales, 5) Comparación con normas internacionales, para los diversos puntos analizados.

3.5.4. Tratamiento estadístico

Una exhaustiva evaluación de los metales pesados requirió el uso de medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar, valor mínimo y máximo); asimismo, estos fueron comparados con las directrices nacionales e internacionales para suelos y sedimentos, empleando gráficos y tablas.

El análisis comparativo entre los resultados de las variables, requirió el uso de pruebas como la diferencia de medias (t de Student para muestras independientes), así como por Tukey, comparando la concentración de cada parámetro de los puntos de muestreo, teniendo como hipótesis las siguientes:

H_0 : No existe diferencias significativas en los valores de la concentración de metales pesados en aguas en el sedimento/suelo de zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca. Lo que se efectuó haciendo uso de la librería “AgroR” del sistema estadístico R.

La idoneidad de los datos de concentración obtenidos por los ensayos de laboratorio para la obtención de índices de contaminación, consiste en la aplicación de la prueba t pareada y otras.

El análisis estadístico, incluyó la determinación del coeficiente de correlación, que mide la fuerza de la relación lineal entre los metales pesados en los sedimentos en las diversos puntos de muestreo y otras variables. El coeficiente de correlación r se refiere a la concordancia entre los datos simulados y los datos observados y oscila entre -1 y +1. El valor ± 1 indica una correlación perfecta. Asimismo, se usó la técnica de análisis de varianza (ANOVA) unidireccional para evaluar la muestra significativa entre y dentro de grupos específicos. En el caso de este estudio, la prioridad estuvo en la relación significativa en los medios grupales entre la evaluación espacial de varios parámetros.



Los resultados se procesaron estadísticamente utilizando un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) con la librería “metan” del software R, calculando los valores medios y la desviación estándar. También se calculó el coeficiente de correlación simple de Pearson (r) y Spearman, entre los contenidos de metales pesados indicado en el suelo y el tráfico diario con el nivel de significancia establecido en $p < 0.05$ y $p < 0.01$.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tráfico vehicular

La avenida Mártires 4 Noviembre (J1) soporta flujos, los cuales se encuentra en el orden de los 8 464 UCP (Unidades Coche Patrón)/día/sentido (Tabla 7). El tránsito está compuesto en su mayoría por autos y combis que hacen servicio de transporte público, vehículos particulares, camionetas, camiones en sus diferentes tipos, mototaxis y motos lineales. El transporte público se desenvuelve en forma conjunta con el transporte privado. Es importante mencionar que esta vía es principal zona de ingreso de la ciudad de Puno y distritos del Sur a la ciudad de Juliaca. Además, se observa que el tránsito de camiones pesados representa en promedio de 1 045 UCP/día/sentido.

Tabla 7

Resumen conteo de tráfico, Av. Mártires 4 de Noviembre (J1).

ITEM	Tipo vehículo	%	Equivalente	f_p	Factores	Total Normalizado
Auto	2 663	38,67%	1,0	1	E_{auto}	2 663
Camioneta	1 154	16,76%	1,5	1	$E_{\text{camioneta}}$	1 731
Combi	1 193	17,33%	1,25	1	E_{combi}	1 492
Mototaxi	498	7,23%	0,75	1	E_{mototaxi}	374
Moto lineal	546	7,93%	0,3	1	E_{ml}	164
Micro	248	3,60%	2,0	1	E_{micro}	496
Camión	418	6,07%	2,5	1	E_{camion}	1 045
Trailer	165	2,40%	3,0	1	E_{trailer}	495
Maquinaria	1	0,01%	4,0	1	E_{maq}	4
Total	6 886	100,00%				
Total UCP						8 464

Nota: El punto muestreo J1 es la autopista salida a Puno

La Av. Mártires 4 Noviembre (J1), es una vía asfaltada de doble sentido de circulación y dos carriles por sentido, y esta vía cumple la función de una autopista de alta velocidad, cuya principal función es la de relacionar las vías el centro con la zona sur de la ciudad de Juliaca, además es una vía que comunica directamente con la ciudad de Puno, la velocidad promedio de operación es de 60 km/h.

Los volúmenes vehiculares en el Jr. San Román – Jr. 2 de Mayo (J2), se encuentran en el orden de los 8 082 UCP/día/sentido en un periodo típico (Tabla 8), siendo el componente más alto combi (39,84%), con equivalente de 3 790 UCP/día/sentido.

Tabla 8

Conteo de tráfico, Jr. San Román – Jr. 2 de Mayo (J2).

ITEM	Tipo vehículo	%	Equivalente	f_p	Factores	Total Normalizado
Auto	63	0,83%	1,0	1	E_{auto}	63
Camioneta	460	6,04%	1,5	1	$E_{\text{camioneta}}$	690
Combi	3 032	39,84%	1,25	1	E_{combi}	3 790
Mototaxi	2 641	34,70%	0,75	1	E_{mototaxi}	1 981
Moto lineal	768	10,09%	0,3	1	E_{mml}	231
Micro	576	7,57%	2,0	1	E_{micro}	1 152
Camión	70	0,92%	2,5	1	E_{camion}	175
Tráiler	0	0,00%	3,0	1	E_{trailer}	0
Maquinaria	0	0,00%	4,0	1	E_{maq}	0
Total	7 610	100,00%				
Total UCP						8 082

Nota: El punto de muestreo J2 se ubica en el Centro Comercial N° 2 Juliaca

El Jr. San Román – Jr. 2 de Mayo (J2), es una vía asfaltada de 02 carriles de circulación y 01 sentido, se trata de una vía de carácter local. Concluyéndose que esta vía permite el acceso a los locales comerciales principales de la ciudad de Juliaca y vías adyacentes. Las velocidades de operación son relativamente bajas (30 km/h). El tránsito está compuesto mayoritariamente por autos y combis que hacen servicio de transporte público, así como vehículos particulares. Es importante mencionar que esta vía conecta al denominado Centro Comercial N° 2, siendo un lugar muy concurrido tanto peatonal y vehicular con velocidades bajas. Además, se aprecia fabricantes de llaves de duplicado que dejan algunos residuos metálicos.

Mientras que en el Jr. Jauregui – Av. Ricardo Palma (J3), los volúmenes vehiculares se encuentran en el orden de los 6 218 UCP/día/sentido en un periodo típico (Tabla 9). Se

trata de una vía asfaltada de 02 carriles de circulación y 01 sentido, esta vía cumple la función de una vía local. Asimismo, existe un alto componente de combis y mototaxis, 17,22% y 47,62% respectivamente. Las características del transporte evaluadas en campo, nos indican que esta vía es de acceso a los predios adyacentes a la vía.

Tabla 9

Conteo de tráfico, Jr. 2 de Mayo – Av. Ricardo Palma (J3).

ITEM	Tipo vehículo	%	Equivalente	f_p	Factores	Total Normalizado
Auto	927	13,69%	1,0	1	E_{auto}	927
Camioneta	403	5,95%	1,5	1	$E_{\text{camioneta}}$	605
Combi	1 166	17,22%	1,25	1	E_{combi}	1 458
Mototaxi	3 225	47,62%	0,75	1	E_{mototaxi}	2 419
Moto lineal	791	11,68%	0,3	1	E_{ml}	238
Micro	159	2,35%	2,0	1	E_{micro}	318
Camión	100	1,48%	2,5	1	E_{camion}	250
Tráiler	1	0,01%	3,0	1	E_{trailer}	3
Maquinaria	0	0,00%	4,0	1	E_{maq}	0
Total	6 772	100,00%				
Total UCP						6 218

Nota: El punto de muestreo J3 es hacia la salida a Arequipa, zona comercial baja

Las velocidades de operación en la vía Jr. Jauregui – Av. Ricardo Palma (J3), son relativamente bajas (30 km/h). El tránsito está compuesto mayoritariamente por autos y combis que hacen servicio de transporte público, así como vehículos particulares. Es importante mencionar que esta vía conecta directamente a la salida a la ciudad de Arequipa, así como al centro de la ciudad de Juliaca.

Los volúmenes vehiculares en la vía Jr. San Román (Plaza Bolognesi) (J4), se encuentran en el orden de los 7 767 UCP/día/sentido en el periodo regular (Tabla 10). Es una vía asfaltada de 02 carriles de circulación y 01 sentido, tratándose de una vía cuya función es de tipo local. Asimismo, luego de la evaluación de campo, se puede concluir que esta vía es de acceso y permite el acceso a los predios adyacentes a la vía.

Tabla 10

Conteo de tráfico, Jr. San Román (Plaza Bolognesi) (J4).

ITEM	Tipo vehículo	%	Equivalente	f _p	Factores	Total Normalizado
Auto	60	0,82%	1,0	1	E _{auto}	60
Camioneta	436	5,96%	1,5	1	E _{camioneta}	654
Combi	2 959	40,43%	1,25	1	E _{combi}	3 699
Mototaxi	2 540	34,71%	0,75	1	E _{mototaxi}	1 905
Moto lineal	721	9,85%	0,3	1	E _{ml}	217
Micro	552	7,54%	2,0	1	E _{micro}	1 104
Camión	48	0,66%	2,5	1	E _{camion}	120
Tráiler	0	0,00%	3,0	1	E _{trailer}	0
Maquinaria	2	0,03%	4,0	1	E _{maq}	8
Total	7 318	100,00%				
Total UCP						7 767

Nota: El punto de muestreo J4 está en las áreas verdes de la plaza Bolognesi

Las velocidades de operación en la vía Jr. San Román (Plaza Bolognesi) (J4), son relativamente bajas (30 km/h). El tránsito está compuesto mayoritariamente por autos y combis que hacen servicio de transporte público, así como vehículos particulares. Es importante mencionar que esta vía está ubicada en la zona céntrica, siendo la vía muestreada el Jr. San Román, es zona comercial y con las diferentes vías alternas.

Los volúmenes vehiculares en la vía Jr. Apurímac (Plaza Zarumilla) (J5), se encuentran en el orden de los 7 585 UCP/día/sentido en el periodo más crítico (Tabla 11). Es una vía asfaltada de 02 carriles de circulación y 01 sentido, cumple la función de una vía local. Según la evaluación del transporte en campo, se concluye que esta una vía cuya función es de acceso hacia el cono sur de la ciudad y a los predios adyacentes a la vía.

Las velocidades de operación son relativamente bajas (30 km/h). El tránsito está compuesto mayoritariamente por autos y combis que hacen servicio de transporte público, así como vehículos particulares. Es importante mencionar que esta vía conecta al cono sur de la ciudad.

Tabla 11

Conteo de tráfico, Jr. Apurímac (Plaza de Zarumilla) (J5).

ITEM	Tipo vehículo	%	Equivalente	f _p	Factores	Total Normalizado
Auto	59	0,82%	1,0	1	E _{auto}	59
Camioneta	417	5,81%	1,5	1	E _{camioneta}	626
Combi	2 876	40,06%	1,25	1	E _{combi}	3 595
Mototaxi	2 495	34,75%	0,75	1	E _{mototaxi}	1 872
Moto lineal	743	10,35%	0,3	1	E _{ml}	223
Micro	537	7,48%	2,0	1	E _{micro}	1 074
Camión	48	0,67%	2,5	1	E _{camion}	120
Tráiler	0	0,00%	3,0	1	E _{trailer}	0
Maquinaria	4	0,06%	4,0	1	E _{maq}	16
Total	7 179	100.00%				
Total UCP						7 585

Nota: El punto de muestreo J4 está en las áreas verdes de la plaza Zarumilla

Efectuando el mismo cálculo para cada uno de los puntos de muestreo, considerados en el anexo correspondiente, se obtuvo el tráfico total en la tabla 12, donde se aprecia que el sitio con mayor tráfico es la Av. Mártires 4 de noviembre (8 464) y mínimo valor es el Jr. 2 de Mayo – Av. Ricardo Palma (6 128).

Tabla 12

Resumen conteo de tráfico en los puntos J1, J2, J3, J4 y J5 ciudad Juliaca.

Código	Nombre vía	Total UCP/día
J1	Av. Mártires 4 Noviembre	8 464
J2	Jr. San Román – Jr. 2 de Mayo (Centro Comercial N° 2)	8 082
J3	Jr. 2 de Mayo – Av. Ricardo Palma	6 128
J4	Jr. San Román (Plaza Bolognesi)	7 767
J5	Jr. Apurímac (Plaza de Zarumilla)	7 585

Nota: UCP es la unidad coche patrón

El volumen de tráfico vehicular dentro del área de estudio se relaciona directamente con las funciones que cumplen las vías; es decir, la J1 es la vía con mayor tránsito, ya que es

de acceso principal a la ciudad de Juliaca, entre tanto las de J2 y J3 son vías más comerciales y tránsito más lento, mientras que las vías J4 y J5 también son comerciales y son adyacentes a plazas o áreas de esparcimiento que tiene en común suelos agrícolas. En cuanto a la cantidad de vehículos por día que se obtuvo en el conteo de tráfico se puede indicar que es un tráfico relativamente bajo (Zafra *et al.*, 2019). Según Huber & Helmreich (2016) los valores mundiales de tráfico analizados variaron entre 726 a 130 000 vehículos/día, con un promedio de 33 011 vehículos/día, cada vía tiene características particulares. Aunque depende de varios factores, la contaminación en las vías de Juliaca se esperaría una baja contaminación por metales pesados.

4.2. Contaminantes en sedimentos y suelos

4.2.1. Granulometría de sedimentos

La figura 6 presenta la curva de la distribución de tamaño de granos (curva granulométrica) para los cinco puntos muestreados con las denominaciones de tamaño de sedimento definidas por ASTM.

Los sedimentos de los sitios J1, J2 y J3, son sedimentos compuestos por material granular, en este caso son arenas, con mínima porcentaje de finos, según los ensayos de granulometría, observándose que los sedimentos están compuestos de 5% a 45% de arena, definiéndose como sedimentos arenosos. El porcentaje pasante de la malla # 200 (0,075 mm) es de 2,60%, 8,59% y 9,38% respectivamente; y en el catalogado del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS está como SP, SP-SM y SP-SM respectivamente.

Mientras que los suelos de los puntos J4 y J5 son suelos de parques o suelos agrícolas urbanos, en este caso corresponde a tamaños de tipo arenas con limos y arcillas. Tiene un porcentaje de finos de 41,06% y 54,37%, además con 53,78% y 36,09% de arena respectivamente, se clasifican como SM y ML.

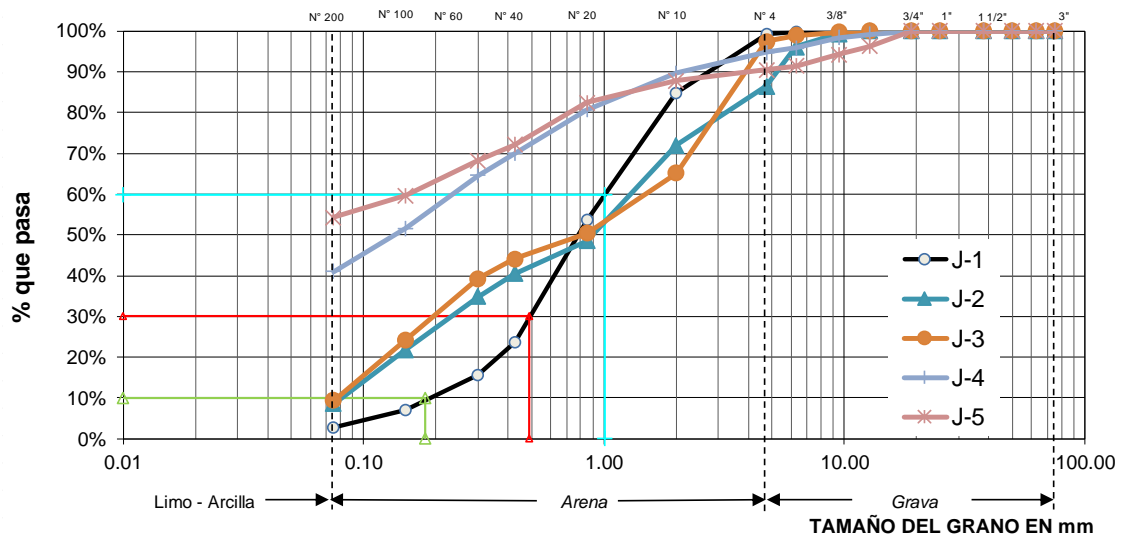


Figura 6. Rangos de variación de tamaño de partícula en los sitios analizados (J1, J2, J3, J4 y J5).

Nota: Distribución granulométrica según Clasificación SUCS

Según las características granulométricas de los sedimentos, se puede inferir que el origen de los mismos puede ser del polvo generado por el tráfico, además de la deposición fina de los contaminantes generados por vehículos (Wang *et al.*, 2013). Las muestras tienen tamaños menores a 0,075 mm que corresponde a limo más arcillas; además estos materiales finos son los que tienen esa propiedad de retener metales pesados (Chui-Betancur *et al.*, 2022; Kapper *et al.*, 2020). Asimismo, muchos de los sedimentos especialmente entre arenas y gravas (> 0,075 mm) son provenientes de la erosión de la cuenca urbana, terrenos de construcción, así como material adherido en neumáticos de los vehículos que transitan. De esta manera, podría decirse que el sedimento es mayormente material de sitios no pavimentados, adyacentes a las pistas estudiadas o polvo transportado por el viento, así como sedimento erosionado de la cuenca.

4.2.2. Concentración de metales pesados en sedimentos

Las propiedades químicas del suelo (valores mínimo, máximo y medio, así como desviación estándar) a distancias en los puntos considerados como sedimentos (J1, J2 y J3) son presentadas en la tabla 13. El contenido de los metales pesados analizados en las muestras de suelo dependió del lugar de donde se tomaron las muestras, así como el tipo de tráfico y el material del pavimento o carpeta. Los

datos recolectados se pueden atribuir a las actividades comerciales específicas que se realicen en el punto de muestreo.

Sedimentos en la calzada

Las concentraciones medias de metales en todos los sitios de muestreo para sedimentos se pueden clasificar en orden descendiente: Fe>Mn>Pb>Cr>Cu>Zn >Ni>Co>As>Cd (Tabla 13).

Tabla 13

Concentraciones de metales en sedimentos en los puntos muestreados J1, J2, J3 (mg/kg).

ID	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
J-01	1,10	0,064	2,13	5,81	2,8	5495	211,4	4,16	23,63	7,63
J-02	1,26	0,291	3,29	13,73	21,5	5289	273,6	5,46	57,11	18,21
J-03	1,17	0,134	2,80	15,69	13,5	5143	284,3	4,98	57,96	19,92
J-01	1,68	0,136	3,56	14,03	12,9	6755	628,7	5,59	137,60	10,33
J-02	1,14	0,10	2,85	19,55	21,4	5625	314,8	10,74	55,86	13,73
J-03	1,08	0,096	3,22	16,31	8,2	5776	229,0	5,11	96,39	9,38
J-01	1,29	0,11	3,66	13,39	5,1	6211	502,6	5,88	105,58	8,03
J-02	1,41	0,24	3,20	18,09	37,4	6176	263,5	7,24	128,61	28,88
J-03	1,08	0,108	3,42	18,91	4,5	6096	251,6	5,86	46,04	7,46
Media	1,24556	0,142111	3,125556	15,0567	14,1444	5840,67	328,833	6,113333	78,753333	13,73
Mediana	1,17	0,11	3,22	15,69	12,9	5776	273,6	5,59	57,96	10,33
Desviación estándar	0,19711	0,074203	0,471119	4,14283	11,1152	513,815	141,128	1,923584	39,548996	7,309278
Mínimo	1,08	0,064	2,13	5,81	2,80	5143	211,40	4,16	23,63	7,46
Máximo	1,68	0,291	3,66	19,55	37,40	6755	628,70	10,74	137,60	28,88
CCME										
PEL	17,0	3,5		90,0	197,0				91,3	315,0
ISQG	5,9	0,6		37,3	35,7				35,0	123,0
Valor Ref.	13	0,3	19	90	45	47200	850	68	20	95

Nota: ISQG= Directrices canadienses provisionales sobre la calidad de los sedimentos;

PEL =Niveles de Efecto Probable; Valor Ref. por Turekian y Wedepohl (1961)

El hierro y el manganeso, estuvieron por debajo de los valores referenciales de la naturaleza (Turekian & Wedepohl, 1961); se conoce que, estos elementos son generados por la industria de la fundición, por el desgaste del sistema de frenos y por el desgaste general de los automóviles, también se generan fácilmente durante la combustión del carbón (Aguilera *et al.*, 2021).

Los niveles de concentración de plomo sobrepasaron el ISQG canadiense (la cual dictamina como límite aceptable 35 mg/kg) en todas las estaciones. Se detectaron

valores entre 23,63 – 137,6 mg/kg (Tabla 13). El plomo, es un metal ubicuo en áreas industrializadas. La alta concentración de Pb en las muestras de polvo de la calle está asociada con la carga del tráfico, los hornos de ladrillos y el uso de gasolina con plomo. Se descarga de fugas de combustible/aceite de automóviles con lubricantes de aceite y desgaste de neumáticos, revestimientos de frenos y otras piezas. El reciclaje de desechos electrónicos aporta cantidades significativas de metales traza como el Pb (Aguilera *et al.*, 2021).

Para el cromo total la directiva canadiense establece un valor límite ISQG de 37,3 mg/kg. Los valores encontrados en el presente estudio estuvieron comprendidos entre 5,81 y 19,554 mg/kg (Tabla 13). Se puede atribuir la presencia del cromo a la mano del hombre, que de forma irracional vierte grandes cantidades de desechos sólidos sobre los suelos en estudio (Rivas *et al.*, 2012).

En cuanto al Cu presenta concentraciones con el siguiente orden de distribución por sectores J2>J3>J1 (Tabla 13), observando máxima y mínima de 37,4 mg/kg y 2,8 mg/kg en los sectores J2 y J1; sin embargo, su contenido no excede a las concentraciones elementales en la corteza terrestre Bn (Tabla 13), estando nuestros resultados dentro de lo establecido por los organismos de control (Fernandez Ochoa *et al.*, 2022).

Zinc, es un oligoelemento esencial ampliamente distribuido en el medio ambiente. En este caso, su concentración fluctuó entre 7,46 y 28,88 mg/kg. La contaminación en las muestras de sedimento se ve muy afectada, atribuyéndose así a las emisiones del tráfico, incluidas las emisiones de los motores, la abrasión mecánica de los vehículos y el desgaste de los neumáticos y los frenos. El zinc se agrega del caucho de la banda de rodadura de los neumáticos principalmente como óxido de zinc (ZnO) y, en menor cantidad, como una variedad de compuestos orgánicos de zinc para facilitar la vulcanización del caucho. El zinc también es común en los lubricantes y carburadores de automóviles (Aguilera *et al.*, 2021).

El Níquel no presentó un panorama preocupante. El nivel guía referencial de 68 mg/kg (Turekian & Wedepohl, 1961) y el valor más alto encontrado fue de 10,74 mg/kg (ver tabla 13). La presencia de este metal puede asociarse al uso de combustible fósil en vehículos automotores, desechos sólidos con una alta carga de aleaciones, productos galvanizados, baterías, etc. (Rivas *et al.*, 2012). El Ni,

utilizado en la carrocería y partes de los automóviles y también se genera fácilmente durante la combustión del carbón (Aguilera *et al.*, 2021).

Cobalto, fluctuó entre 2,13 y 3,66 mg/kg, estos valores se encuentran por debajo de los límites referenciales en todos los puntos de muestreo. En un ambiente urbano, este metal es producido principalmente por la industria de la fundición.

Arsénico, generado fácilmente durante la combustión del carbón. La combustión del carbón puede provocar la emisión de cenizas volantes a la atmósfera, y los metales presentes en las cenizas volantes, depositadas por el polvo de la calle (Aguilera *et al.*, 2021).

La concentración de Cd en las muestras de sedimento de sitios muestreados varió de 0,064 a 0,291 mg/kg, con un valor promedio de 0,142 mg/kg de suelo.

El cadmio (Cd) es un elemento muy tóxico, y su presencia cerca de las vías urbanas y carreteras se atribuye al polvo de la combustión de gasolina, en las pastillas de frenos y también está presente en el caucho utilizado para la producción de neumáticos (Rivas *et al.*, 2012). La norma canadiense de medio ambiente (CCME, 2007) especifica las cantidades permisibles de cadmio como 0,6 mg/kg de suelo (áreas protegidas). Se encontró que las concentraciones de cadmio eran más bajas en comparación con otros metales determinados en las muestras de sedimento analizadas.

Los valores de contaminantes encontrados en la mayoría de los casos no sobrepasan los valores de los estándares nacionales o internacionales, sólo en el caso del plomo (Pb) fueron más alto en comparación con su concentración normal en el sedimento (Tabla 12), por lo que difieren, en cierta manera de los resultados de otros estudios, como los realizados por Zafra *et al.* (2019) y Holtra *et al.* (2018). Al parecer, por ser bajos los volúmenes de tránsito.

Suelo de parques

Los resultados de las concentraciones en los puntos considerados como suelos de parques (J4 y J5) se presentan en la tabla 14.

Tabla 14

Concentraciones de metales en suelos de parques en los puntos muestreados J4, J5 (mg/kg).

ID	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
J-04	1,76	0,336	3,70	12,44	8,5	4451	275,1	5,83	109,55	25,04
J-05	1,48	0,27	3,02	12,50	7,1	4854	235,7	5,54	76,24	20,63
J-04	1,68	0,386	3,81	11,69	8,6	7375	255,6	5,75	130,85	25,42
J-05	1,48	0,244	3,01	13,29	7,5	7931	234,8	5,29	108,93	20,22
J-04	1,73	0,348	3,70	11,88	9,5	4483	252,0	5,89	143,12	24,98
J-05	1,46	0,266	2,94	13,77	7,7	4797	253,0	5,34	86,95	21,09
Media	1,59833	0,308333	3,363333	12,595	8,15	5648,5	251,033	5,606667	109,27333	22,89667
Mediana	1,58	0,303	3,36	12,47	8,10	4825,5	252,5	5,645	109,24	23,035
Desviación estándar	0,13949	0,056163	0,411858	0,80336	0,88034	1570,94	14,8559	0,255552	25,301684	2,484662
Mínimo	1,46	0,244	2,94	11,69	7,1	4451	234,8	5,29	76,24	20,22
Máximo	1,76	0,386	3,81	13,77	9,5	7931	275,1	5,89	143,12	25,42
CCME										
Parques	12	10	50	64	63			45	140	250
CCME										
Comercial	12	22	300	87	91			89	260	410
Valor Ref.										
ECA Perú	50	10							140	

Nota: CCME= Consejo Canadiense de Ministerio de Medio Ambiente; ECA = Estándar de Calidad Ambiental para suelo del Perú

Los niveles de concentración de plomo Pb sobrepasaron ligeramente valores referenciales canadiense en la estación J4 para suelos de parques, al igual que el ECA peruano que dictamina como límite aceptable 140 mg/kg. Se detectaron valores entre 76,24 – 143,12 mg/kg (ver tabla 14).

El valor límite establecido para el cromo total por la directiva canadiense para suelos de parques es de 64 mg/kg. En tanto, las concentraciones encontradas en el presente estudio estuvieron comprendidos entre 11,69 y 13,77 mg/kg (ver tabla 14).

Asimismo, el Cu presenta concentraciones en el orden de distribución por sectores J4>J5 en parques (Tabla 14), observando máxima y mínima de 9,5 mg/kg y 7,1 mg/kg en los sectores J4 y J5 respectivamente; sin embargo, su contenido no excede al valor referencial canadiense (Tabla 14), ni los niveles de referencia de metales para suelos de uso comercial ni la ECA para suelos, caso peruano.

Zinc, en este caso, su concentración fluctúa entre 20,22 y 25,42 mg/kg.

El Níquel no presentó una perspectiva preocupante. El nivel de Níquel según la guía referencial (CCME, 2007) para suelo de parques es de 45 mg/kg y el valor más alto encontrado fue de 5,89 mg/kg (ver tabla 14).

Cobalto, fluctúa entre 2,94 y 3,81 mg/kg, estando por debajo de los límites referenciales para todos los puntos de muestreo.

Arsénico, se encuentra presente entre 1,46 y 1,76 mg/kg, ubicándose por debajo de los estándares nacionales para suelos de parques (50 mg/kg).

La concentración de Cd en las muestras de sedimento de sitios muestreados varió de 0,24 a 0,386 mg/kg, con un valor promedio de 0,308 mg/kg de suelo. La norma canadiense de medio ambiente (CCME, 2007) especifica las cantidades permisibles de cadmio como 22 mg/kg de suelo (Parques), mientras que la norma nacional peruana especifica 10 mg/kg. Mostrándose en todos los casos por debajo de valor especificado.

4.2.3. Evaluación de la contaminación de sedimentos

Índice de geoacumulación (Igeo)

En base a la concentración de metales pesados en las muestras de sedimento y suelos estudiadas, se realizó un análisis cuantitativo de la contaminación del suelo alrededor de las zonas de alto tráfico de la ciudad de Juliaca (Perú) utilizando los índices Igeo y PI. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 15, indican que la media de Igeo, exceptuando en Pb, estuvieron por debajo de contaminación, descendió en el orden de Pb(1,78)>Cd(-1,27)>Mn(-2,138)>Cu(-2,201)>Zn(-3,136)>Co(-3,15)>Cr(-3,285)>Fe(-3,62)>As(-3,82)>Ni (-4,126).

Tabla 15

Valores de Índice de Geo-acumulación de metales pesados sedimentos

Metal pesado	Igeo				
	J1	J2	J3	J4	J5
As	-3,85	-3,94	-4,13	-3,50	-3,73
Cd	-2,13	-1,10	-1,99	-0,34	-0,79
Co	-3,19	-3,19	-3,18	-2,93	-3,25
Cr	-3,61	-2,98	-2,99	-3,49	-3,36
Cu	-3,28	-1,33	-2,95	-2,93	-0,51
Fe	-3,52	-3,64	-3,64	-3,70	-3,59
Mn	-1,51	-2,17	-2,32	-2,29	-2,40
Ni	-4,29	-3,71	-4,26	-4,13	-4,24
Pb	2,65	1,42	1,15	2,09	1,60
Zn	-4,04	-2,81	-3,54	-2,50	-2,79

Todos los valores y clases calculados para diez metales pesados estudiados para cada punto de estudio (J1, J2, J3, J4 y J5) que se muestran en la figura 7. El valor para Pb, posee el valor más alto de Igeo, además todos los valores de Igeo para Pb estuvieron en la clase 2 (moderadamente contaminados), el resto de metales pesados en los puntos de muestreo cayeron por debajo de cero, pertenecen a la clase 0; es decir, no contaminado.

Los valores de Igeo en los puntos J1 y J4 fueron ligeramente altas, respecto a los otros puntos. Para el caso de J4 su contenido excede a las concentraciones para parques según el valor referencial canadiense (Tabla 14), así como el ECA peruano, que contempla para Pb como límite normal de 140 mg/kg. Por lo que, nuestros resultados fueron ligeramente superiores para el punto J4. Por lo tanto, en base al Igeo, se clasifica estos sectores como no contaminados (clase 0), excepto para Pb.

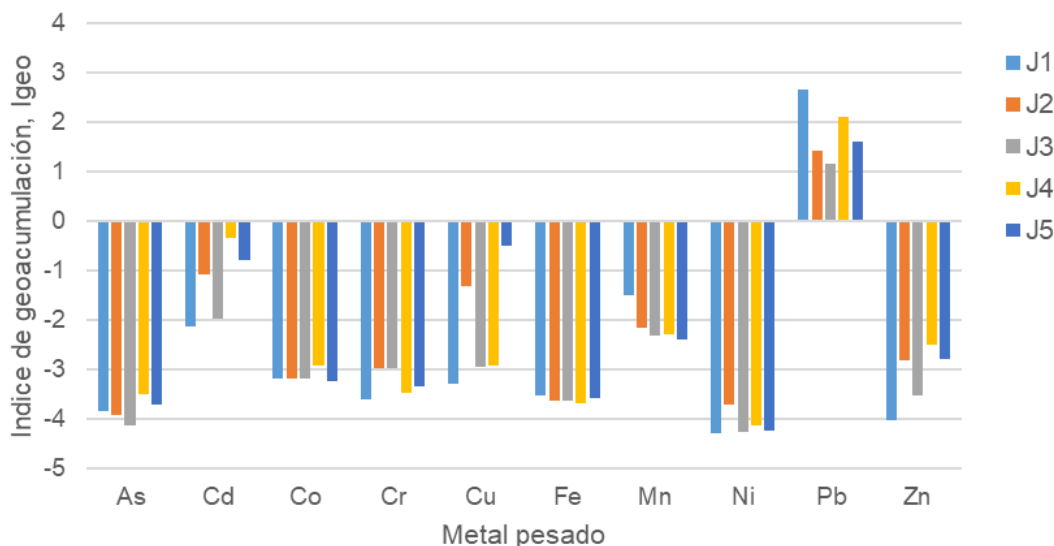


Figura 7. Diagramas de barras mostrando el Índice de Geoacumulación (I_{geo}), en los puntos de muestreo J1, J2, J3, J4 y J5

Varios sedimentos y suelos analizados por diferentes autores, han alcanzado valores de contaminación referidos a un valor de referencia, en este caso, se trataría de material que se encuentra por debajo de los valores referenciales (Radziemska & Fronczyk, 2015; Shifaw, 2018).

Índice de Contaminación (PI)

El análisis del Índice de Contaminación (PI) mostró que los valores medios fueron del orden de descendente Pb(5,5)>Cu(0,44)>Cd(0,69)>Co(0,17)>Cr(0,16)>Fe(0,12)>Mn(0,35)>Ni(0,09)>Zn(0,18).

Los valores de PI de todos los metales pesados analizados en los puntos J1, J2, J3, J4 y J5, se encuentran en la categoría baja de contaminación, mientras que para plomo (Pb), está en la categoría alta de contaminación (Tabla 16). Los valores del índice de contaminación (PI) se encuentran dentro del rango 0,08 a 9,45.

Tabla 16

Valores de Índice de Contaminación (PI) de metales en sedimentos para las muestras J1, J2, J3, J4 y J5

Metal pesado	PI				
	J1	J2	J3	J4	J5
As	0,10	0,10	0,09	0,13	0,11
Cd	0,34	0,70	0,38	1,19	0,87
Co	0,16	0,16	0,17	0,20	0,16
Cr	0,12	0,19	0,19	0,13	0,15
Cu	0,15	0,59	0,19	0,20	1,05
Fe	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12
Mn	0,53	0,33	0,30	0,31	0,28
Ni	0,08	0,11	0,08	0,09	0,08
Pb	9,45	4,03	3,34	6,39	4,54
Zn	0,09	0,21	0,13	0,26	0,22

En varios estudios efectuados, como por Lee *et al.* (2012) confirman que valores altos de PI del suelo en la proximidad de carreteras son elevados, que son similares a lo presentado en suelos J4 y J5 de parques adyacentes a las vías analizadas. Sin embargo, al parecer que este suelo está bajo efecto de riego externo y lluvias lo que pudiera provocar disminución de concentraciones del metal pesado, además de que estas muestras tienen alto porcentaje de finos.

Las diferencias en los valores de PI obtenidos en las muestras analizadas, pueden haber tenido varias explicaciones, tales como la presencia de árboles o plantaciones, debido a los procesos de descomposición de material orgánico que allí se produce y en él los ácidos orgánicos. El desgaste del pavimento, que se transfiere al suelo adyacente a la carretera, cambia el valor de pH con el tiempo a neutral o incluso por encima de neutral (Radziemska & Fronczyk, 2015).

La ciudad de Juliaca, al tener numerosa población e industrias, se manifiesta la producción de altas cantidades de aguas residuales, residuos sólidos, contaminantes de las áreas circundantes, así como se ha demostrado en numerosos estudios la relación significativa entre el uso del suelo y los parámetros de calidad del agua (Gutierrez Cabana, 2018; Yana Neira, 2014).

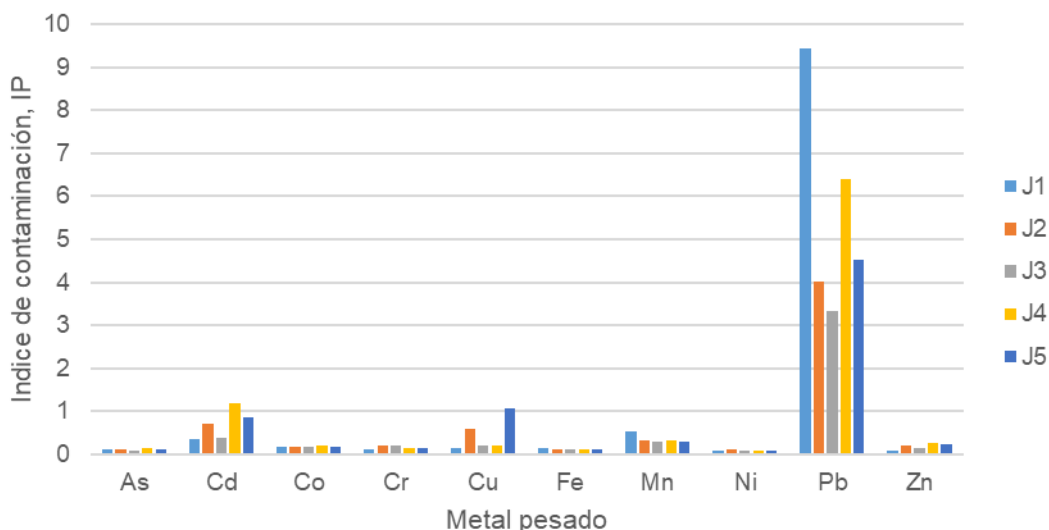


Figura 8. Diagrama de barras mostrando el Índice de Contaminación (PI) en los puntos de muestreo J1, J2, J3, J4 y J5

4.3. Contaminantes en la escorrentía vial

La Tabla 17 muestra los resultados de concentración de metales pesados en el agua de escorrentía en mg/L, en orden descendiente se tiene Zn(1,3927)>Cu(0,2025)>Pb(0,1239) >Co(0,0476)>As(0,0383) >Ni(0,0347)>Cr(0,0229)>Cd(0,0040).

Las muestras de agua fueron recogidas con alta concentración de sólidos suspendidos (SS) en promedio. Los estándares de calidad ambiental (ECA) peruano para agua se utilizó para comparar las concentraciones. Obteniéndose para Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn valores que sobrepasan dichos estándares.

Las concentraciones promedio de Zn, Pb y Cu fueron 1,39, 0,124 y 0,203 mg/L, respectivamente. En tanto la concentración de Ni estuvo por debajo del ECA Perú, <0,052 mg/L; sin embargo, la escorrentía en el punto J2 contenía 0,06 mg/L de Ni. Esto difiere con los resultados de la concentración en sedimentos, ya que las muestras de sedimentos (deposición seca) recolectadas de la vía rápida contenían elevada concentración de Ni. Básicamente, la concentración de metales pesados en la escorrentía no coincidió con los resultados del análisis de deposición seca.

Tabla 17

Concentraciones de metales pesados en escorrentía en puntos muestreados J1, J2 y J4 (mg/L).

ID	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
J-01	0,0367	0,0019	0,0134	0,0156	0,1544	0,0265	0,0865	0,6981
J-02	0,0329	0,0059	0,0151	0,0196	0,1943	0,0329	0,0992	1,7900
J-04	0,0242	0,0057	0,0108	0,0152	0,1639	0,0277	0,0868	2,0330
J-01	0,0474	0,0020	0,2051	0,0223	0,2233	0,0410	0,1068	0,7092
J-02	0,0633	0,0060	0,0320	0,0503	0,3059	0,0619	0,2313	2,1420
J-04	0,0250	0,0023	0,0093	0,0143	0,1734	0,0183	0,1327	0,9838
Media	0,0383	0,0040	0,0476	0,0229	0,2025	0,0347	0,1239	1,3927
Mediana	0,0348	0,0040	0,0143	0,0176	0,1839	0,0303	0,1030	1,3869
Desviación estándar	0,0149	0,0021	0,0776	0,0138	0,0563	0,0153	0,0553	0,6702
Mínimo	0,0242	0,0019	0,0093	0,0143	0,1544	0,0183	0,0865	0,6981
Máximo	0,0633	0,0060	0,2051	0,0503	0,3059	0,0619	0,2313	2,1420
ECA Perú								
mg/L	0,150	0,00025		0,011	0,100	0,052	0,0025	0,120

Independientemente de perturbaciones específicas, muchos factores como la precipitación total del evento, la escorrentía, el período seco antecedente y el volumen de tráfico diario podrían afectar la concentración media de la escorrentía (Sekabira *et al.*, 2010).

Una alta deposición de sedimento da como resultado altas concentraciones de metales en la escorrentía, de modo que los contenidos de Zn, Pb y Cu son más altos que los de otros metales, como refieren (Wang *et al.*, 2013). Asimismo, se detectaron los niveles de Cd altos en las muestras de escorrentía, que sugieren residuos de combustión de gasolina, desgaste de pastillas de frenos, desgaste de neumáticos (Rivas *et al.*, 2012). Al igual que altos niveles de cromo por diversos residuos urbanos.

En la tabla 18 se presentan los resultados del análisis físico químico en los puntos J1, J2 y J4 de la ciudad de Juliaca, donde se distingue el rango de valores del pH de 5,37 a 6,02 que está por debajo de los lineamientos nacionales. Los sólidos suspendidos (SS) como se encuentran entre 93,00 a 282,00 siendo valores ligeramente altos.

Tabla 18

Características físico químicas de la escorrentía vial puntos muestreados J1, J2 y J4.

Parámetro	J-01	J-02	J-04
pH	5,37	5,96	6,02
Temperatura (°C)	13,70	13,70	13,70
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	950,00	654,00	970,00
Dureza Total como CaCO_3 (mg/L)	192,20	225,20	65,38
Alcalinidad como CaCO_3 (mg/L)	153,43	99,10	107,53
Cloruros como Cl^- (mg/L)	255,92	187,94	869,73
Sulfatos como SO_4^- (mg/L)	156,05	204,04	126,80
Sólidos totales disueltos (mg/L)	480,00	327,00	485,00
Calcio como Ca^{++} (mg/L)	64,32	67,41	212,08
Magnesio como Mg^{++} (mg/L)	7,63	13,78	11,82
Sólidos en suspensión (mg/L)	282,00	93,00	185,00
Porcentaje de salinidad (%)	0,50	0,40	0,50
Turbidez (NTU)	172,00	506,00	456,00

Entre los factores, el mayor volumen de tráfico resultará en una alta concentración de sólidos en suspensión (SS) en la escorrentía (Hwang & Weng, 2015). En el caso de Juliaca, también estaría ligado a la frecuencia de vías laterales o alimentadoras con vías no pavimentadas, que son las generadoras de sedimento grueso, presumiblemente con orígenes de la actividad de construcción y erosión de la cuenca.

Muchos de los contaminantes lavados por la escorrentía, son tóxicos, por lo que la escorrentía urbana contaminada debe tratarse antes de fluir hacia los cuerpos de agua receptores (Barbosa & Fernandes, 2009). El cambio en el uso del suelo refleja directamente la importante influencia de la actividad humana en la calidad del agua y la ecología de un río (Luo *et al.*, 2020).

La calidad del agua de escorrentía se ve afectada significativamente por los patrones de tormenta para la mayoría de la contaminación de fuentes difusas (Hwang & Weng, 2015).

Según la topografía de la ciudad de Juliaca, en gran parte de las calles se tiene bajas pendientes por ende bajas velocidades que resultara en flujos subcríticos (Ponce, 2014)

bajo potencial de lavado en la calzada y canales. Los flujos de escorrentía tomados de cunetas posteriormente entregan a canales de drenaje pluvial, lo que más adelante descarga al río Coata.

4.4. Análisis estadístico

Los resultados en las diferentes zonas de alto tráfico monitoreadas muestran que no hay efecto significativo en la variación entre grupos de medias de los metales pesados. De igual manera se utilizó el análisis de correlación Spearman.

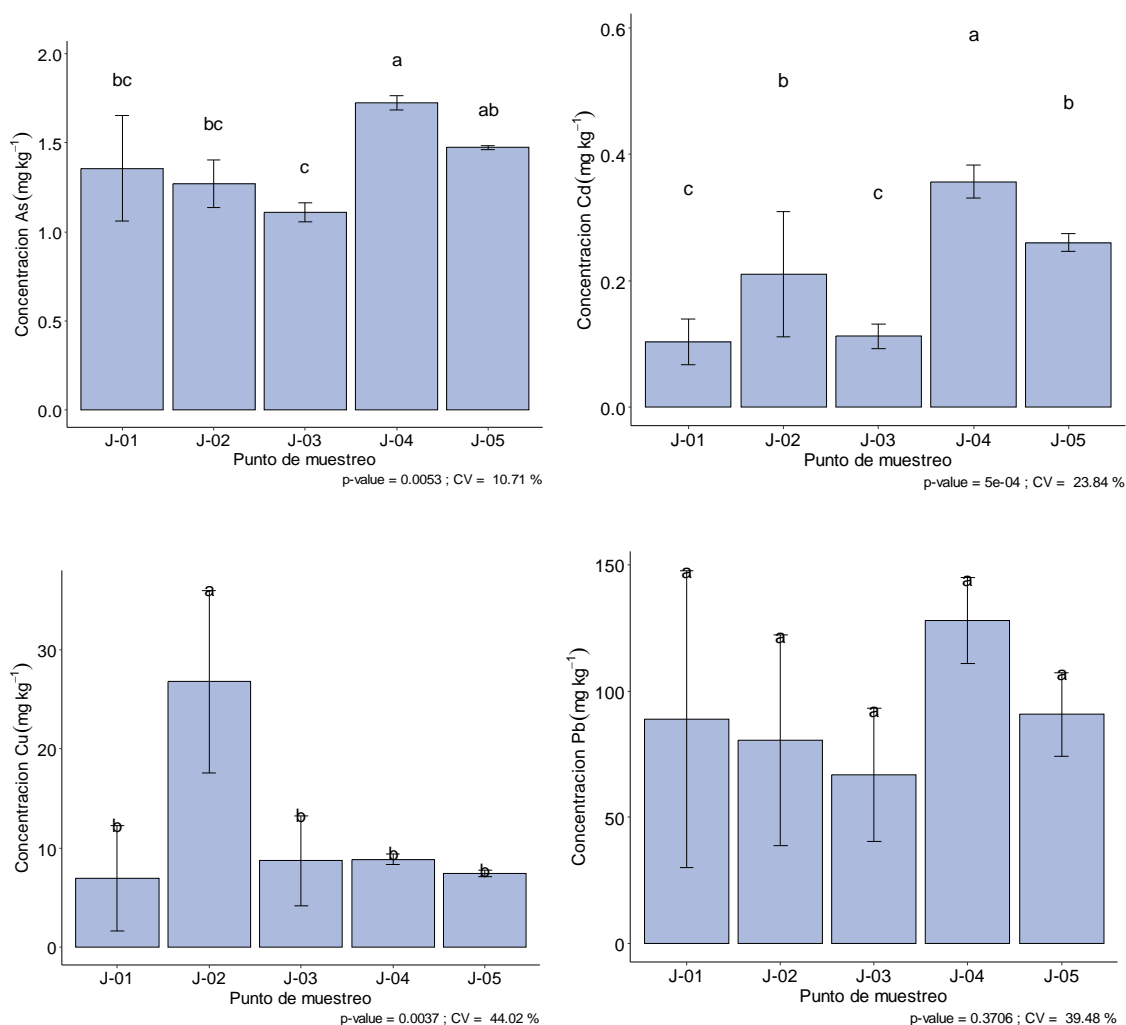


Figura 9. Diferencia de medias sedimentos por ubicación de muestras J1, J2, J3, J4 y J5

Nota: Elaboración en base a resultados de laboratorio, procesado en R

4.4.1. Resultados de datos de sedimento/suelo

Las variables elegidas para el análisis, fueron el tráfico diario, velocidad, porcentaje de finos, y los metales pesados que son más frecuentes en ambientes urbanos. En la

figura 9 se muestra el análisis efectuado, donde se demuestra que, para el caso de As, Cd, Cu y Pb, existe diferencia significativa, entre los puntos de muestreo J1, J2, J3, J4 y J5.

En la figura 10 se muestra el coeficiente de correlación de Spearman con el p-valor de cada una de las correlaciones. Se aprecia en general baja correlación entre las mismas.

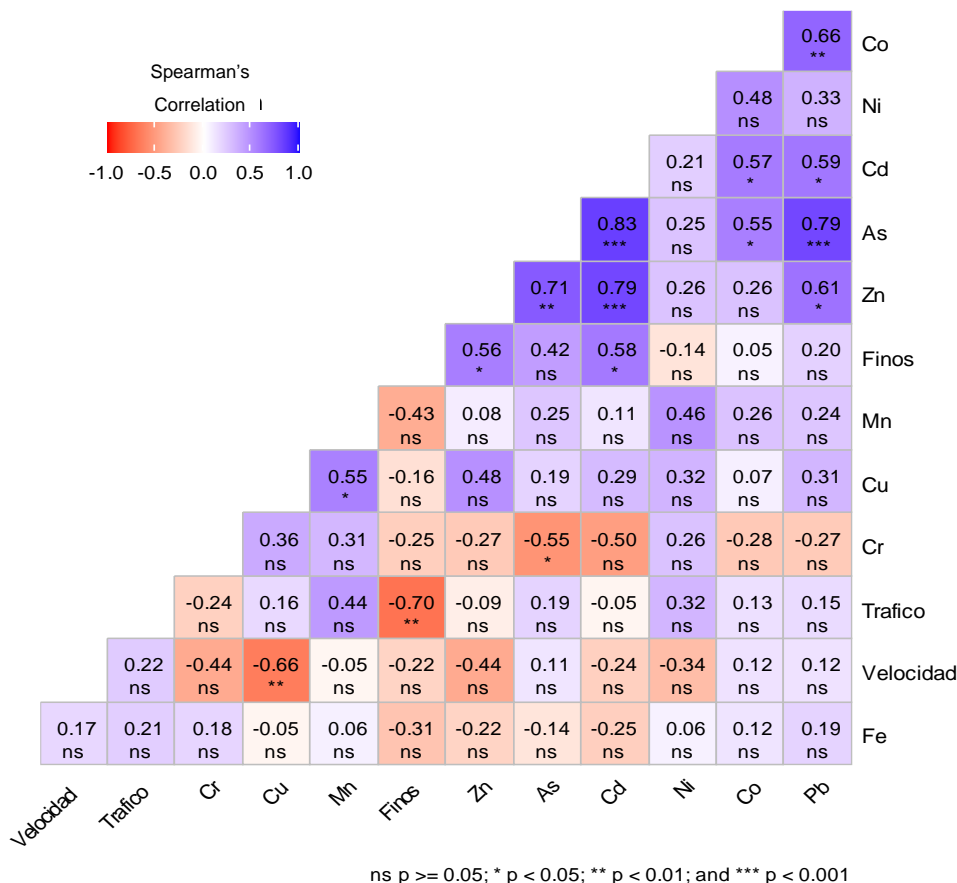


Figura 10. Gráfico de correlación variables analizadas en J1, J2, J3, J4 y J5

Nota: Elaboración propia en base datos de campo, procesado en R

Algunas variables como Co y Pb, As y Pb, As y Cd, Zn y Cd, muestran correlaciones altamente significativas. Mientras que las variables como velocidad, trafico, % de finos, no tienen correlación con el resto de variables.

4.4.2. Resultados de datos de escorrentía vial

Las variables elegidas para el análisis, que incluyen el tráfico, velocidad, porcentaje de finos, y los metales pesados que son más frecuentes en ambientes urbanos. En la figura 11 se muestra el análisis efectuado, donde se demuestra que, para el caso de

Cd, Cr, Cu y Pb, no existen diferencias significativas, entre los puntos de muestreo J1, J2 y J4.

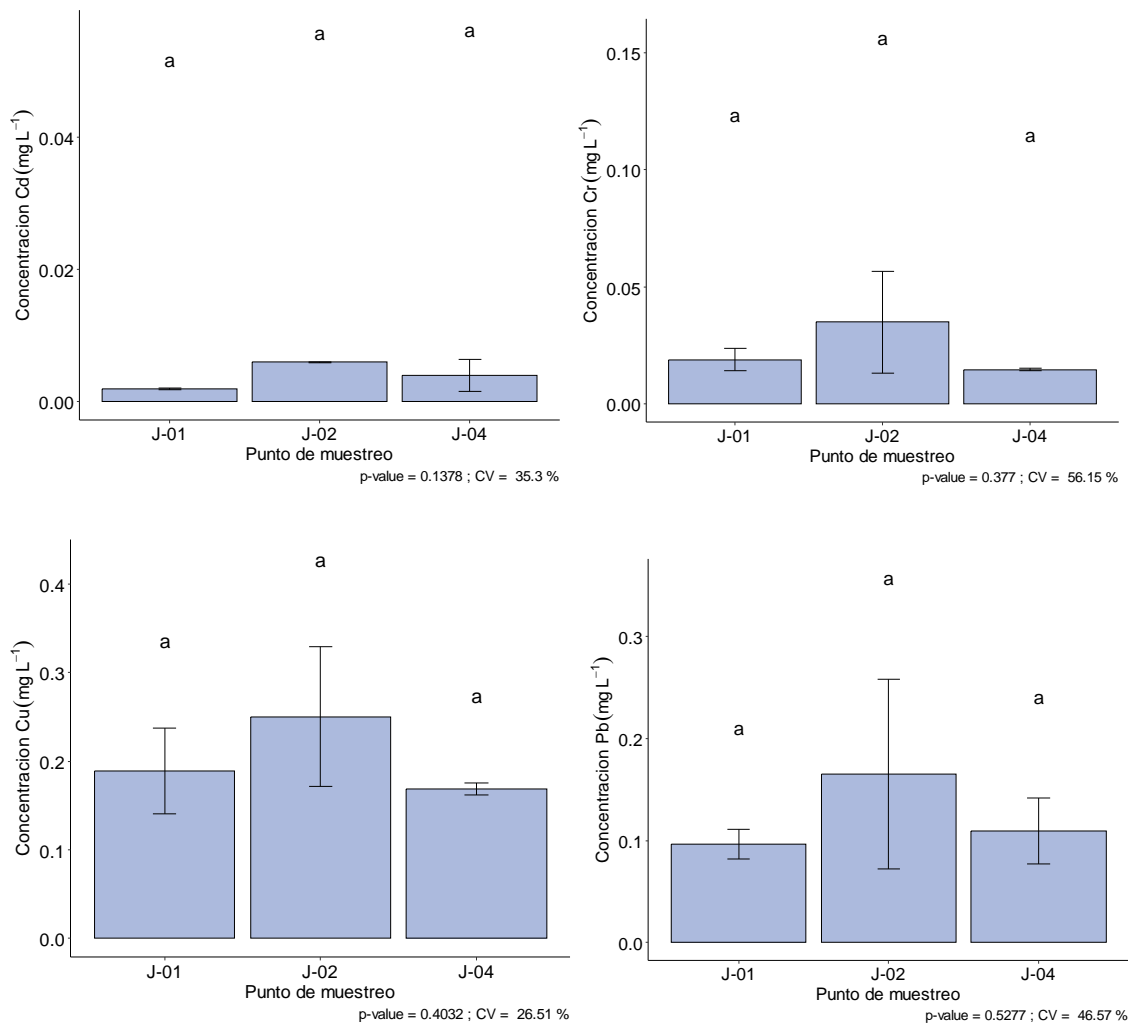
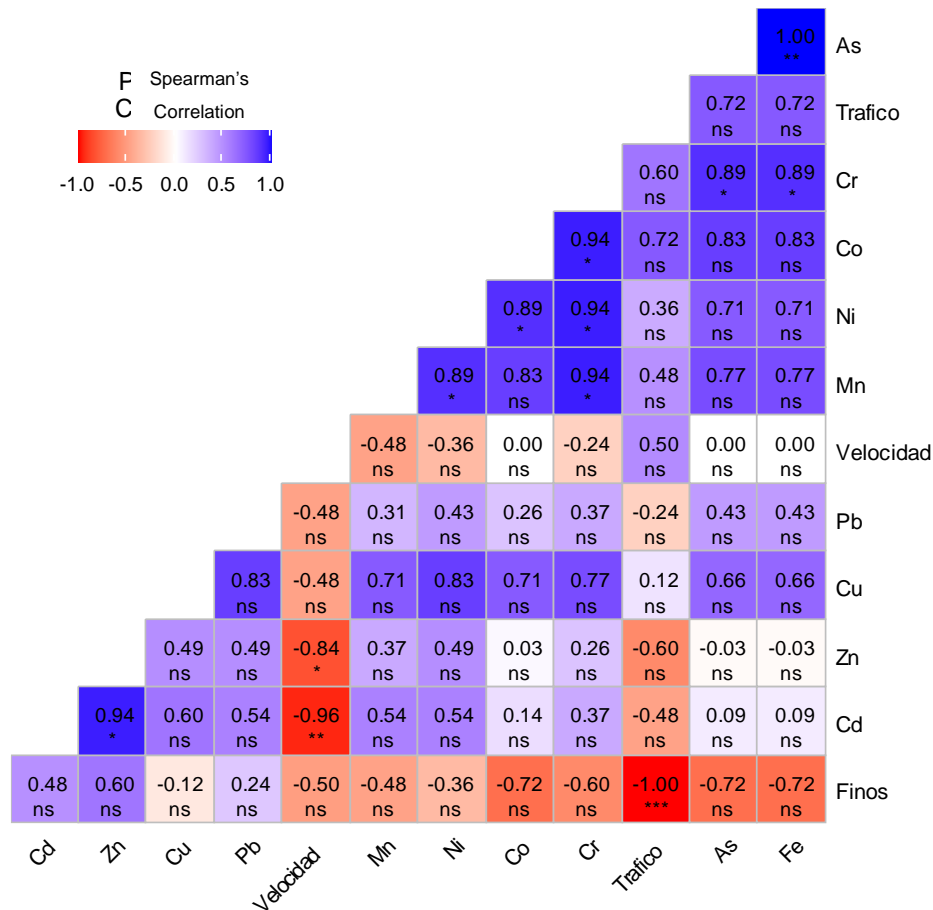


Figura 11. Diferencia de medias escorrentía según ubicación de muestras J1, J2 y J4

Nota: Elaboración propia en base datos de campo, procesado en R

En la figura 12 se muestra los coeficientes de correlación y significancia entre las variables analizadas, en este caso se utilizó el coeficiente de correlación Spearman.



ns $p \geq 0.05$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$

Figura 12. Gráfico de correlación de variables analizadas en puntos J1, J2 y J4

Nota: Elaboración propia en base datos de campo, procesado en R

En el caso de la escorrentía vial se tiene alta correlación entre las diversas variables, como As y Fe, Cr y Fe, Cr y As, Co y Cr, Mn y Ni, que se pueden originar a partir de los procesos del tráfico vial.

A partir de un análisis de metales pesados Wang *et al.* (2013) documentaron que el contenido de metales pesados en los suelos cercanos a una carretera disminuye con la distancia a la carretera y la profundidad del suelo. Es decir, esto señalaría a la autopista como la fuente de estos elementos. Asimismo, las concentraciones más altas de Cadmio se observaron en las muestras de suelo analizadas a una profundidad de 0,00 m – 0,10 m; se produciéndose una reducción de aproximadamente el 19% a 0,90 m – 1,00 m en un lugar de muestreo.

Los metales pesados derivados de la infraestructura de transporte pueden tener una influencia negativa en los elementos individuales del entorno natural (Clemens & Ma, 2016; Wu *et al.*, 2016).

Wang *et al.* (2013) al comparar los resultados de la calidad de la escorrentía de este estudio con estudios internacionales, la SS, la DQO y el NH₃-N son más altos en Taipéi que en otros países.

Las altas tasas de precipitación pluvial, la actividad de la construcción, el alto número de vehículos. Con respecto a las concentraciones de metales pesados, las concentraciones de Cu, Pb y Zn en este estudio estuvieron dentro de los rangos de referencia, pero Cr, Hg, As y Ni no se detectaron en las referencias y no se pueden comparar. Las altas tasas de Pb encontrados en los sedimentos y en la escorrentía podrían deberse al uso de la gasolina, refieren Wang *et al.* (2013), sugiriendo la implementación de políticas de gasolina sin plomo. La concentración promedio de Cd es de 0,004 mg/L, fue menor que en estudios anteriores. Cabe señalar que la concentración uniforme de Pb y Zn estuvo dentro de los rangos de referencia, son más bajos que los demás. Los resultados confirman la necesidad de controlar la contaminación en carreteras urbanas congestionadas.

Varios autores encontraron una relación positiva del suelo urbano con el NO₂-N, el oxígeno disuelto (OD) y el NO₃-N. Así como se mostró que las tierras forestales y los pastizales tienen efectos positivos en la calidad del agua, y estos tipos de tierras podrían usarse como amortiguadores de la contaminación a lo largo de los ríos para proteger el medio acuático (Clemens & Ma, 2016; Wu *et al.*, 2016).

Los contenidos de Cd, Cu y Zn en la escorrentía vial fueron más altos que los estándares nacionales peruanos.

Los puntos J1, J2 y J3 son tramos de rutas asfaltadas, además, son zonas comerciales principales. Al parecer los bajos valores encontrados en el sedimento se refiere a los bajos niveles de tráfico, que sería un indicador de contaminación de los sedimentos y consecuentemente al medio ambiente (Luo *et al.*, 2020), lo que se trataría de sedimentos arenosos, transportados adheridos a los neumáticos de los vehículos, o por erosión hídrica, en el que existen bajos valores de metales pesados en sedimentos con tamaño de partícula < 0,075 mm, en algunos casos se puede deber a la industria metálica a pequeña escala puntual.

CONCLUSIONES

Los hallazgos de este trabajo de investigación son un referente para el planteamiento e implementación de estrategias para la gestión de la contaminación por metales pesados en sedimentos y suelos de vías urbanas. El tráfico diario, es reducido comparado con otras ciudades del mundo; asimismo, destaca el uso de transporte privado que son autos, transporte público, mototaxis y otros. Lo que sugiere implicaciones significativas en términos de emisiones de partículas y deterioro de la calidad de sedimentos, suelo y aire.

Los sedimentos secos muestreados en la calzada (puntos J1, J2, J3,) se caracterizaron como suelos arenosos, el porcentaje de finos fue de 2,60%, 8,59% y 9,38% respectivamente. Mientras que los suelos de los puntos J4 y J5 son suelos de parques o suelos agrícolas urbanos, corresponden a tamaños de tipo arenas con limos y arcillas. Tiene un porcentaje de finos de 41,06% y 54,37%. En general los sedimentos de los puntos J1, J2 y J3 tuvieron bajas concentraciones de elementos traza, siendo el Pb el único que sobrepasó los valores de ISQG recomendados por la norma internacional. Las concentraciones de metales en sedimento, que son los puntos J1, J2 y J3, variando en el orden descendiente de Fe>Mn>Pb>Cr>Cu>Zn>Ni>Co>As>Cd. Los resultados calculados del Índice de Geoacumulación para Pb estuvo en un nivel de moderada contaminación y para el resto está en la categoría cero, es decir, no contaminado, lo que sugiere que pueden deberse a las actividades del tráfico rodado y otras actividades como la construcción y comerciales o industriales.

En cuanto a la contaminación de la escorrentía vial por metales pesados, este estudio ha revelado la presencia significativa de estos elementos tóxicos en las aguas de escorrentía provenientes de las vías urbanas. En este caso, se encontró concentraciones mayores a los estándares nacionales en la escorrentía de los primeros minutos de lluvia. Donde se evidencia una clara relación entre la actividad vehicular y la presencia de metales pesados, lo que indica que el tráfico automotor es una fuente importante de contaminación en entornos urbanos.

RECOMENDACIONES

Los resultados del conteo de tráfico sugieren la implementación de medidas acerca de la gestión del tráfico, como el fomento de bicicletas, caminar en áreas urbanas, carriles exclusivos para transporte público y adoptar modos de transporte más sostenibles, con la intención de disminuir la contaminación de sedimentos y suelos urbanos.

Las estimaciones de las concentraciones de metales pesados sugieren que los tipos de superficies impermeables, la distribución del tamaño del grano, uso del suelo, desempeñan un papel importante en los procesos de acumulación y lavado de contaminantes. Por lo que, es importante zonificar y tomar en cuenta las políticas de limpieza de calles por los encargados del mismo.

Los fragmentos más finos de las muestras de sedimentos (ejemplo $<38 \mu\text{m}$), puede ser la principal causa de los contaminantes disueltos; por lo que, es deseable emplear métodos más adecuados para determinar dicha clasificación, puede ser el método del hidrómetro para la clasificación. Asimismo, es importante considerar un sistema de monitoreo de la contaminación urbana por metales pesados en el polvo urbano la ciudad de Juliaca, basado en métodos magnéticos para el material particulado.

Si bien no hay mucha información, será primordial hacer trabajos de investigación más específicos sobre la variación de la concentración de sólidos suspendidos en los primeros minutos, además de poder estimar un modelo de acumulación de polvo o sedimento en los días antecedentes de lluvia. Se requiere un monitoreo más robusto de los valores de intensidad de lluvia y los días secos antecedentes, ya que son los parámetros críticos que influyen en las concentraciones de contaminantes en las carreteras; asimismo, de los techos de las viviendas desde donde se produce el lavado.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, A., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., & Bautista, F. (2021). Health risk of heavy metals in street dust. *Frontiers in Bioscience - Landmark*, 26(2), 327–345. <https://doi.org/10.2741/4896>
- Ajani, M. B., Maleka, P. P., Penabei, S., & Usman, I. T. (2022). Health risk assessment of heavy metals concentration from soil; a case study of the Mayo-Dallah in Southern area of Chad. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(1), 130–138. <https://doi.org/10.1016/J.JRRAS.2022.01.013>
- ALA-Juliaca. (2014). *Evaluación de la Calidad del Agua y de los Sedimentos en la Cuenca del Río Coata Puno*. Autoridad Nacional del Agua.
- Alfaro, R., & Gonzales, V. (2008). *Estadística y probabilidades para ingenieros*. UNA Puno.
- Algül, F., & Beyhan, M. (2020). Concentrations and sources of heavy metals in shallow sediments in Lake Bafa, Turkey. *Scientific Reports 2020 10:1*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68833-2>
- Alloway, B. J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In B. J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils* (pp. 11–50). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2
- An, S., Liu, N., Li, X., Zeng, S., Wang, X., & Wang, D. (2022). Understanding heavy metal accumulation in roadside soils along major roads in the Tibet Plateau. *Science of The Total Environment*, 802, 149865. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149865>
- Avila, H. (2012). Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático - caso de estudio: Ciudad de Barranquilla. *Revista de Ingeniería - Universidad de los Andes*, 36, 54–59.
- Bach, P. M., McCarthy, D. T., & Deletic, A. (2010). Redefining the stormwater first flush phenomenon. *Water Research*, 44(8), 2487–2498. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.022>

- Barbosa, A. E., & Fernandes, J. N. (2009). Assessment of treatment systems for highway runoff pollution control in Portugal. *Water Science and Technology*, 59(9), 1733–1742. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.181>
- Bautista-Hernández, D. A., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., & Cejudo, R. (2022). Street dust pollution by heavy metals: a geographically weighted regression approach in México City. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–28. <https://doi.org/10.1007/S13762-022-04681-Z/TABLES/5>
- Bezberdaya, L. A., Kasimov, N. S., Chernitsova, O. V., Tkachenko, A. N., & Lychagin, M. Y. (2022). Heavy Metals and Metalloids in Soils, Road Dust, and Their PM10 Fractions in Sebastopol: Levels, Sources, and Pollution Risk. *Eurasian Soil Science*, 55(12), 1871–1890. <https://doi.org/10.1134/S1064229322601470/METRICS>
- Blott, S. J., & Pye, K. (2012). Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. *Sedimentology*, 59(7), 2071–2096. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3091.2012.01335.X>
- Boogaard, F., van de Ven, F., Langeveld, J., & van de Giesen, N. (2014). Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) Urban Areas and Performance of Settlement Basins. *Challenges*, 5(1), 112. <https://doi.org/10.3390/challe5010112>
- Borris, M., Österlund, H., Marsalek, J., & Viklander, M. (2016). Contribution of coarse particles from road surfaces to dissolved and particle-bound heavy metal loads in runoff: A laboratory leaching study with synthetic stormwater. *Science of The Total Environment*, 573, 212–221. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.08.062>
- Bourliva, A., Christophoridis, C., Papadopoulou, L., Giouri, K., Papadopoulos, A., Mitsika, E., & Fytianos, K. (2017). Characterization, heavy metal content and health risk assessment of urban road dusts from the historic center of the city of Thessaloniki, Greece. *Environmental Geochemistry and Health*, 39(3), 611–634. <https://doi.org/10.1007/S10653-016-9836-Y/METRICS>

- Cal, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. AlphaOmega.
- CCME. (1999). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/en/index.html>
- CCME. (2007). *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/en/index.html>
- Çelenk, F., & Kiziloglu, T. (2015). Distribution of lead accumulation in roadside soils: a case study from D 100 highway in Sakarya, Turkey. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 2(5), 1–10.
- Chui-Betancur, H. N., Acosta, D. R., Belizario-Quispe, G., & Alfaro-Alejo, R. (2022). Traditional Peruvian medicine: An insight in geophagy and Machu Rumi intake. *Materials Science Forum*, 1048, 423–428. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1048.423>
- Clemens, S., & Ma, J. F. (2016). Toxic Heavy Metal and Metalloid Accumulation in Crop Plants and Foods. *Annual Review of Plant Biology*, 67, 489–512. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112301>
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.ESP01.01>
- Cowan, N., Blair, D., Malcolm, H., & Graham, M. (2021). A survey of heavy metal contents of rural and urban roadside dusts: comparisons at low, medium and high traffic sites in Central Scotland. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 7365–7378. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11081-8>
- Czemiel Berndtsson, J. (2014). Storm water quality of first flush urban runoff in relation to different traffic characteristics. *Urban Water Journal*, 11(4), 284–296. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.795236>

- da Silva, E. B., Gao, P., Xu, M., Guan, D., Tang, X., & Ma, L. Q. (2020). Background concentrations of trace metals As, Ba, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Se, and Zn in 214 Florida urban soils: Different cities and land uses. *Environmental Pollution*, 264, 114737. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114737>
- Dane, J. H., & Topp, C. G. (2020). *Methods of soil analysis, Part 4: Physical methods* (Vol. 20). John Wiley & Sons.
- Di Modugno, M., Gioia, A., Gorgoglione, A., Iacobellis, V., la Forgia, G., Piccinni, A., & Ranieri, E. (2015). Build-Up/Wash-Off Monitoring and Assessment for Sustainable Management of First Flush in an Urban Area. *Sustainability*, 7(5), 5050. <https://doi.org/10.3390/su7055050>
- Donado, E. P., Oliveira, M. L. S., Gonçalves, J. O., Dotto, G. L., & Silva, L. F. O. (2021). Soil contamination in Colombian playgrounds: effects of vehicles, construction, and traffic. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 166–176. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09965-w>
- EPA. (1994). *Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Revision 4.4. U.S. Environmental Protection Agency*. US EPA.
- Fernandez Ochoa, B. H., Mullisaca Contreras, E., & Huanchi Mamani, L. E. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(2), 131–138. <https://doi.org/10.18271/RIA.2022.416>
- Folkesson, L., Bækken, T., Brenčić, M., Dawson, A., François, D., Kuřimská, P., Leitão, T., Ličbinský, R., & Vojtěšek, M. (2009). Sources and Fate of Water Contaminants in Roads. In A. Dawson (Ed.), *Water in Road Structures: Movement, Drainage and Effects* (pp. 107–146). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8562-8_6
- Fronczyk, J., Radziemska, M., Dynowski, P., Mazur, Z., & Bazydło, M. (2016). Quality of Water in the Road Drainage Systems in the Warsaw Agglomeration, Poland. In *Water* (Vol. 8, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/w8100429>

- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2014). *Traffic and highway engineering*. Cengage Learning.
- Gutierrez Cabana, V. R. (2018). *Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense CCME–WQI y el ICA–PE, Puno–2018*.
- Hanfi, M. Y., Mostafa, M. Y. A., & Zhukovsky, M. v. (2019). Heavy metal contamination in urban surface sediments: sources, distribution, contamination control, and remediation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), 32. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7947-5>
- Hassall, C. (2014). The ecology and biodiversity of urban ponds. *WIREs Water*, 1(2), 187–206. <https://doi.org/10.1002/wat2.1014>
- Hill, M. K. (2020). *Understanding Environmental Pollution*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108395021>
- Hołtra, A., & Zamorska-Wojdyła, D. (2018). The input of trace elements from the motor transport into urban soils of Wrocław, Poland. *Science of The Total Environment*, 631–632, 1163–1174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.096>
- Hosseini, N. S., & Sobhanardakani, S. (2022). Concentration, sources, potential ecological and human health risks assessment of trace elements in roadside soil in Hamedan metropolitan, west of Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2135997>
- Hu, X., Zhang, Y., Ding, Z., Wang, T., Lian, H., Sun, Y., & Wu, J. (2012). Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM_{2.5} in Nanjing, China. *Atmospheric Environment*, 57, 146–152. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2012.04.056>
- Huber, M., & Helmreich, B. (2016). Stormwater Management: Calculation of Traffic Area Runoff Loads and Traffic Related Emissions. *Water*, 8(7), 294. <https://doi.org/10.3390/w8070294>

- Hwang, C.-C., & Weng, C.-H. (2015). Effects of rainfall patterns on highway runoff pollution and its control. *Water and Environment Journal*, 29(2), 214–220.
<https://doi.org/10.1111/wej.12109>
- INEI. (2022). *PERÚ: Proyecciones de Población Total según Departamento, Provincia y Distrito, 2018 – 2022* (INEI, Ed.).
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis* (Issue BOOK). CRC press.
- Kapper, K. L., Bautista, F., Goguitchaishvili, A., Bógalo, M. F., Cejudo-Ruíz, R., & Cervantes Solano, M. (2020). The use and misuse of magnetic methods to monitor environmental pollution in urban areas. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 72(1), A111219. <https://doi.org/10.18268/BSGM2020v72n1a111219>
- Lee, M. A., Davies, L., & Power, S. A. (2012). Effects of roads on adjacent plant community composition and ecosystem function: An example from three calcareous ecosystems. *Environmental Pollution*, 163, 273–280.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2011.12.038>
- Liu, L., Liu, Q., Ma, J., Wu, H., Qu, Y., Gong, Y., Yang, S., An, Y., & Zhou, Y. (2020). Heavy metal(loid)s in the topsoil of urban parks in Beijing, China: Concentrations, potential sources, and risk assessment. *Environmental Pollution*, 260, 114083.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114083>
- Luo, Z., Shao, Q., Zuo, Q., & Cui, Y. (2020). Impact of land use and urbanization on river water quality and ecology in a dam dominated basin. *Journal of Hydrology*, 584, 124655. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124655>
- Mama, C. N., Nnaji, C. C., Emenike, P. C., & Chibueze, C. v. (2020). Potential environmental and human health risk of soil and roadside dust in a rapidly growing urban settlement. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 2385–2400. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02637-9>
- Massas, I., Ehaliotis, C., Kalivas, D., & Panagopoulou, G. (2010). Concentrations and availability indicators of soil heavy metals; The case of children’s playgrounds in the city of Athens (Greece). *Water, Air, and Soil Pollution*, 212(1–4), 51–63.
<https://doi.org/10.1007/S11270-009-0321-4/METRICS>

- MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM*.
- MINAM, D. G. de C. A. (2014). Guía para muestreo de suelos. In *Ministerio del Ambiente*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2702-guia-para-muestreo-de-suelos>
- Morquecho, R., Pitt, R., & Clark, S. E. (2005). Pollutant Associations with particulates in stormwater. *Impacts of Global Climate Change*, 1–12.
- MPSR. (2016). *Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Juliaca 2016 - 2025* (G. de D. Urbano, Ed.). Municipalidad Provincial de San Roman. <http://munisanroman.gob.pe/web/pdu-juliaca-pat-san-roman/>
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108–118.
- Nazzal, Y., Rosen, M. A., & Al-Rawabdeh, A. M. (2013). Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(2), 1847–1858. <https://doi.org/10.1007/S10661-012-2672-3/METRICS>
- Novo, L. A. B., Onishi, V. C., Bernardino, C. A. R., & da Silva, E. F. (2017). Metal Bioaccumulation by Plants in Roadside Soils: Perspectives for Bioindication and Phytoremediation. In N. A. Anjum, S. S. Gill, & N. Tuteja (Eds.), *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants* (pp. 215–230). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55426-6_10
- Peña Guzmán, C. A., & Lara Borrero, J. (2012). Tratamiento de aguas de escorrentia mediante humedales artificiales: estado del arte. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2, 39–61.
- Pereira, E., Baptista, J. A., Smith, B. J., & McAllister, J. J. (2007). The contribution of heavy metal pollution derived from highway runoff to Guanabara Bay sediments - Rio de Janeiro Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79, 739–750.
- Ponce, V. M. (2014). *Fundamentals open-channel hydraulics*. San Diego State University.

- Prestes, E. C., Anjos, V. E. dos, Sodré, F. F., & Grassi, M. T. (2006). Copper, lead and cadmium loads and behavior in urban stormwater runoff in Curitiba, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 17, 53–60.
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532006000100008&nrm=iso
- Quintero-González, J.-R. (2017). Del concepto de ingeniería de tr nsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57–72.
- Radziemska, M., & Fronczyk, J. (2015). Level and Contamination Assessment of Soil along an Expressway in an Ecologically Valuable Area in Central Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12(10), 13372–13387.
<https://doi.org/10.3390/ijerph121013372>
- Rivas, C. F., De La Cruz, C., De La Cruz, R., De La Cruz, O., & Colivet, J. (2012). Análisis correlacional y contenido de metales pesados en sedimentos superficiales de la avenida Argimiro Gabaldón de la ciudad de Barcelona, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Avances En Química*, 7(2), 111–117.
- Romero-Barreiro, M. del P., Pinilla-Castañeda, R. D., & Zafra-Mejía, C. A. (2015). Evaluación temporal de la concentración de metales pesados (Pb y Cu) asociada con el sedimento vial: Fontibón-Barrios Unidos (Bogotá D. C., Colombia). *Ingeniería y Universidad*, 19, 69–87.
- Salazar Jaime, O. E., & MPSR. (2010). *Estudio Definitivo Drenaje de Aguas Pluviales de la Ciudad de Juliaca* (G. de Infraestructura, Ed.). Municipalidad Provincial de San Roman.
- Sekabira, K., Origa, H. O., Basamba, T. A., Mutumba, G., & Kakudidi, E. (2010). Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(3), 435–446. <https://doi.org/10.1007/BF03326153>
- Shifaw, E. (2018). Review of Heavy Metals Pollution in China in Agricultural and Urban Soils. *Journal of Health & Pollution*, 8(18), 180607.
<https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.18.180607>

- Siddiqui, Z., Khillare, P. S., Jyethi, D. S., Aithani, D., & Yadav, A. K. (2020). Pollution characteristics and human health risk from trace metals in roadside soil and road dust around major urban parks in Delhi city. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 13(11), 1271–1286. <https://doi.org/10.1007/S11869-020-00874-Y/METRICS>
- Sivakugan, N. (2021). *Soil Mechanics and Foundation Engineering: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260468489>
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loeppert, R. H. (2020). *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods* (Vol. 14). John Wiley & Sons.
- Teurlinx, S., Kuiper, J. J., Hoevenaer, E. C. M., Lurling, M., Brederveld, R. J., Veraart, A. J., Janssen, A. B. G., Mooij, W. M., & de Senerpont Domis, L. N. (2019). Towards restoring urban waters: understanding the main pressures. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 49–58.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.011>
- Thorpe, A., & Harrison, R. M. (2008). Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Science of The Total Environment*, 400(1–3), 270–282. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2008.06.007>
- Turan, Ö., Özdemir, H., & Demir, G. (2020). Deposition of Heavy Metals on Coniferous Tree Leaves and Soils Near Heavy Urban Traffic. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 1(1), 35–41.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/flsrt/issue/56859/781116>
- Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175–192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)
- Turer, D. (2005). Effect of non-vehicular sources on heavy metal concentrations of roadside soils. *Water Air Soil Pollution*, 166, 251–264.
- Valeriano Moreno, R. (2019). *Factores que determinan el incremento del parque automotor de la ciudad de Juliaca, periodos 2000 – 2016*. Tesis Universidad Nacional del Altiplano.

- 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>
- Wakida, F. T., Martinez-Huato, S., Garcia-Flores, E., Piñon-Colin, T. D. J., Espinoza-Gomez, H., & Ames-López, A. (2014). Pollutant association with suspended solids in stormwater in Tijuana, Mexico. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *11*(2), 319–326. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0214-3>
- Wang, G., Zeng, C., Zhang, F., Zhang, Y., Scott, C. A., & Yan, X. (2017). Traffic-related trace elements in soils along six highway segments on the Tibetan Plateau: Influence factors and spatial variation. *Science of The Total Environment*, *581–582*, 811–821. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.01.018>
- Wang, Y.-J., Chen, C.-F., & Lin, J.-Y. (2013). The Measurement of Dry Deposition and Surface Runoff to Quantify Urban Road Pollution in Taipei, Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *10*(10), 5130. <https://doi.org/10.3390/ijerph10105130>
- Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). *The Nature and Properties of Soils. 15th edition*.
- Wu, X., Cobbina, S. J., Mao, G., Xu, H., Zhang, Z., & Yang, L. (2016). A review of toxicity and mechanisms of individual and mixtures of heavy metals in the environment. *Environmental Science and Pollution Research* *2016* *23*:9, *23*(9), 8244–8259. <https://doi.org/10.1007/S11356-016-6333-X>
- Yan, X., Zhang, F., Gao, D., Zeng, C., Xiang, W., & Zhang, M. (2013). Accumulations of Heavy Metals in Roadside Soils Close to Zhaling, Eling and Nam Co Lakes in the Tibetan Plateau. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *10*(6), 2384. <https://doi.org/10.3390/ijerph10062384>
- Yana Neira, E. A. (2014). *Contaminación por materia orgánica en el río Torococha de la ciudad de Juliaca*.
- Zafra, C. A., Gutiérrez-Malaxechebarria, Á., & Hernández-Peña, Y. (2019). Correlation between vehicular traffic and heavy metal concentrations in road sediments of



Bogotá, Colombia. *Revista de La Facultad de Medicina*, 67(2 SE-), 193–199.

<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v67n2.68269>

Zafra, C. A., Luengas, E. C., & Temprano, J. (2013). Influencia del tráfico en la acumulación de metales pesados sobre vías urbanas: Torrelavega (España)-Soacha (Colombia). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 67, 146–160.

Zafra, C. A., Temprano, J., & Tejero, I. (2017). The physical factors affecting heavy metals accumulated in the sediment deposited on road surfaces in dry weather: a review. *Urban Water Journal*, 14(6), 639–649.

<https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1223320>

JR. JAUREGUI CON JR. SERAFIN FIRPO - JULIACA (Salida a Arequipa)												
Fecha: Miércoles 29 de noviembre del 2021											Sentido: O-E	
Hora	Auto	Camioneta	Combi	Mototaxi	Moto	Micro	Camion	Trayler	Maquinaria	Bicicleta	Triciclo	
7:00-7:30	49	32	46	90	18	1	5	0	0	4	12	
7:30-8:00	79	40	63	140	15	0	8	0	0	5	13	
8:00-8:30	97	35	73	177	63	2	6	0	0	2	15	
8:30-9:00	79	40	63	140	15	0	8	0	0	5	13	
9:00-9:30	65	34	58	89	16	3	7	0	0	3	14	
9:30-10:00	63	35	45	90	14	0	10	1	0	3	18	
10:00-10:30	67	38	56	121	21	0	10	0	0	5	23	
10:30-11:00	69	39	61	136	25	0	10	0	0	6	26	
11:00-11:30	72	41	67	152	29	1	11	0	0	8	29	
11:30-12:00	89	48	77	180	37	0	11	0	0	6	20	
12:00-12:30	58	45	55	124	20	0	8	0	0	4	11	
12:30-1:00	72	37	47	83	17	0	1	0	0	0	8	
1:00-1:30	91	55	57	134	37	0	12	0	0	2	11	
1:30-2:00	94	51	74	172	45	2	13	0	0	4	27	
2:00-2:30	91	53	74	177	45	1	12	0	0	4	26	
2:30-3:00	89	55	75	182	45	1	11	0	0	5	26	
3:00-3:30	86	57	76	187	45	1	10	0	0	6	26	
3:30-4:00	84	60	77	193	46	1	10	0	0	7	26	
4:00-4:30	74	69	81	215	47	0	8	0	0	10	25	
4:30-5:00	85	77	88	216	44	1	13	0	0	8	22	
5:00-5:30	105	64	79	200	49	2	9	0	0	10	11	
5:30-6:00	96	69	84	220	46	2	10	0	0	7	21	
6:00-6:30	98	62	59	179	36	4	14	0	0	6	12	
6:30-7:00	98	49	43	149	25	0	8	0	0	1	9	
11:00 HORAS	1,950	1,185	1,578	3,746	800	22	225	1	0	121	444	
pasan un promedio de 15 vehiculos por minuto												
	201	133	163	420	95	4	19	0	0	17	32	

J3 - JR. JAUREGUI CON JR. SERAFIN FIRPO - JULIACA (Salida a Arequipa)											
Fecha: Miércoles 29 de noviembre del 2021 Sentido: N-S											
Hora	Auto	Camioneta	Combi	Mototaxi	Moto	Micro	Camion	Trayler	Maquinaria	Bicicleta	Triciclo
7:00-7:30											
7:30-8:00											
8:00-8:30	43	12	58	174	43	8	5	0	0	39	
8:30-9:00	44	19	65	208	42	6	4	0	0	44	
9:00-9:30	35	18	69	162	26	11	5	0	0	39	
9:30-10:00	30	9	50	114	28	7	8	0	0	46	
10:00-10:30	34	11	53	119	33	5	6	0	0	42	
10:30-11:00	36	12	54	122	36	4	5	0	0	40	
11:00-11:30	38	13	56	125	39	4	5	0	0	38	
11:30-12:00	35	21	51	134	29	11	2	1	0	46	
12:00-12:30	47	16	54	138	51	5	4	0	0	45	
12:30-1:00	42	23	46	122	45	7	2	0	0	35	
1:00-1:30	49	23	42	161	32	14	7	0	0	41	
1:30-2:00	47	14	56	154	48	9	3	0	0	38	
2:00-2:30	46	15	56	155	45	8	3	0	0	37	
2:30-3:00	46	17	56	156	42	8	3	0	0	37	
3:00-3:30	46	18	56	157	39	7	3	0	0	36	
3:30-4:00	46	20	56	159	37	7	3	0	0	36	
4:00-4:30	46	27	57	164	26	6	4	0	0	35	
4:30-5:00	34	21	44	144	36	7	9	0	0	25	
5:00-5:30	42	20	37	143	32	12	4	0	0	33	
5:30-6:00	41	34	61	172	27	6	5	0	0	22	
6:00-6:30	45	18	47	114	28	6	7	0	0	23	
6:30-7:00	55	22	42	128	27	1	3	0	0	17	
11:00 HORAS	927	403	1,166	3,225	791	159	100	1	0	794	0
Pasan un promedio de 12 vehiculos por minuto											
	83	54	98	315	59	18	9	0	0	55	0

J4 - PLAZA BOLOGNESI (JR. SAN ROMÁN) - JULIACA												
Fecha: Jueves 18 de octubre del 2021												
Sentido: N-S												
Hora	Autos	Camionetas	Combis	Mototaxis	Motos	Omnibus	Camiones	Traileres	Maquinaria	Bicicletas	Triciclos	
7:00-7:30	34	21	136	156	37	25	1	0	0	4	11	
7:30-8:00	26	20	137	153	45	27	1	0	0	6	7	
8:00-8:30	32	11	148	125	27	43	4	0	0	0	18	
8:30-9:00	36	8	128	110	22	31	3	0	0	1	21	
9:00-9:30	28	17	124	84	38	22	0	0	0	3	27	
9:30-10:00	31	16	111	112	19	24	1	0	0	4	23	
10:00-10:30	31	18	112	112	22	24	2	0	0	3	22	
10:30-11:00	32	20	114	111	26	24	3	0	0	2	22	
11:00-11:30	32	24	117	110	34	24	5	0	1	0	22	
11:30-12:00	21	20	111	99	32	19	6	0	0	2	18	
12:00-12:30	29	16	114	103	29	19	2	0	0	4	16	
12:30-1:00	39	22	121	111	38	23	2	0	0	2	9	
1:00-1:30	30	15	96	82	22	19	2	0	0	0	14	
1:30-2:00	34	26	114	88	28	26	2	0	0	0	14	
2:00-2:30	31	22	112	101	32	25	2	0	0	5	11	
2:30-3:00	34	12	119	124	37	16	1	0	0	4	20	
3:00-3:30	30	14	116	124	33	18	4	0	0	1	23	
3:30-4:00	32	22	117	104	17	16	0	0	0	1	23	
4:00-4:30	32	21	119	104	37	19	0	0	0	3	22	
4:30-5:00	35	7	117	87	36	16	2	0	1	1	15	
5:00-5:30	30	21	135	91	23	17	1	0	0	3	14	
5:30-6:00	30	21	151	81	31	28	2	0	0	2	11	
6:00-6:30	30	21	143	85	27	22	1	0	0	2	12	
6:30-7:00	30	21	147	83	29	25	1	0	0	2	11	
12:00 HORAS	749	436	2,959	2,540	721	552	48	0	2	55	406	TOTAL VEHICULOS 8,468
pasan un promedio de 12 vehiculos por minuto												
	60	41	273	309	82	52	2	0	0	10	18	

J5 - PLAZA ZARUMILLA (JR. APURIMAC) - JULIACA												
Fecha: Jueves 18 de octubre del 2021 Sentido: N-S												
Hora	Autos	Camionetas	Combis	Mototaxis	Motos	Omnibus	Camiones	Traileres	Maquinaria	Bicicletas	Triciclos	
7:00-7:30	34	20	132	153	38	24	1	0	0	4	11	
7:30-8:00	25	19	133	150	46	26	1	0	0	6	7	
8:00-8:30	32	11	144	123	28	42	4	0	0	0	17	
8:30-9:00	35	8	124	108	23	30	3	0	0	1	20	
9:00-9:30	27	16	120	83	39	21	0	0	1	3	27	
9:30-10:00	30	15	108	110	19	23	1	0	0	4	23	
10:00-10:30	30	17	109	110	23	23	2	0	1	3	21	
10:30-11:00	31	19	111	109	27	23	3	0	0	2	22	
11:00-11:30	32	23	114	108	35	23	5	0	1	0	21	
11:30-12:00	20	19	108	97	33	19	6	0	0	2	18	
12:00-12:30	28	15	111	101	30	19	2	0	0	4	16	
12:30-1:00	38	21	118	109	39	22	2	0	0	2	9	
1:00-1:30	29	14	93	80	23	19	2	0	0	0	14	
1:30-2:00	34	25	111	87	29	25	2	0	0	0	14	
2:00-2:30	30	21	109	99	33	24	2	0	0	5	11	
2:30-3:00	34	12	116	122	38	16	1	0	0	4	19	
3:00-3:30	29	14	113	122	34	18	4	0	0	1	23	
3:30-4:00	32	21	114	102	17	16	0	0	0	1	23	
4:00-4:30	31	20	116	102	38	19	0	0	0	3	21	
4:30-5:00	35	7	114	86	37	16	2	0	1	1	15	
5:00-5:30	29	20	131	90	24	17	1	0	0	3	14	
5:30-6:00	29	20	147	79	32	27	2	0	0	2	11	
6:00-6:30	29	20	138	84	28	21	1	0	0	2	12	
6:30-7:00	29	20	142	81	30	24	1	0	0	2	11	
12:00 HORAS	732	417	2,876	2,495	743	537	48	0	4	55	400	8,307
pasan un promedio de 12 vehiculos por minuto												
	59	39	265	303	84	50	2	0	0	10	18	

Anexo 2. Resultados de ensayos de laboratorio suelo y agua.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00025

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: ROBERTO ALFARO ALEJO
Dirección: JR. CHASQUI N° 233 JULIACA - PUNO
Atención: ROBERTO ALFARO ALEJO
Proyecto: -

Producto(s) Declarado(e): Sedimento
Nro de muestras: 5
Muestra a cargo de(l): ROBERTO ALFARO ALEJO
Registro de muestreo: 0011-21
Fecha de recepción: 14/05/2021
Fecha de ensayo: 14/05/2021
Fecha de emisión: 19/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones : -

Método de ensayo aplicado

*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP-OES, Revisión 4.4.
*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP-OES, Revisión 4.4.
*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP-OES, Revisión 4.4.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM / Norte	Este	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD21000025	JULIACA SUELO 1	AV. MARTIRES 4 NOV. / JULIACA / PUNO	379038 ; 8285488		13/02/21	8:00 a. m.
SD21000026	JULIACA SUELO 2	JR. SAN ROMAN / JULIACA / PUNO	378447 ; 8286816		13/02/21	8:20 a. m.
SD21000027	JULIACA SUELO 3	JR. 2 DE MAYO / JULIACA / PUNO	377819 ; 8286825		13/02/21	8:40 a. m.
SD21000028	JULIACA SUELO 4	PLAZA BOLOGNESI / JULIACA / PUNO	378614 ; 8286480		13/02/21	9:20 a. m.
SD21000029	JULIACA SUELO 5	PLAZA ZARUMILLA / JULIACA / PUNO	379046 ; 8286442		13/02/21	9:50 a. m.

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Gerente General

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de un laboratorio. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1851

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdesur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00025

Hoja de resultados

19/05/2021

Pág.: 3/3

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	*7003 P		*7003 Pb		*7003 Sb		*7003 Se		*7003 Sn		*7003 Sr		*7003 Te		*7003 Ti		*7003 V		*7003 Zn		
		MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	MT	mg/Kg	
SD21000025	JULIACA SUELO 1	220.90	23.63	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	10.03	≤0.20	105.40	0.16	12.24	7.63	26.82	18.21	24.03	19.92	25.04
SD21000026	JULIACA SUELO 2	248.54	58.11	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	12.47	≤0.20	232.32	0.21	26.82	18.21	24.03	19.92	25.04	25.04	20.63
SD21000027	JULIACA SUELO 3	263.45	57.96	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	12.92	≤0.20	209.65	0.18	24.03	19.92	24.03	19.92	24.03	19.92	25.04
SD21000028	JULIACA SUELO 4	520.03	109.55	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	47.91	≤0.20	250.71	0.42	21.07	25.04	21.07	25.04	21.07	25.04	25.04
SD21000029	JULIACA SUELO 5	486.64	76.24	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	≤0.16	23.64	≤0.20	235.50	0.26	21.81	20.63	21.81	20.63	21.81	20.63	20.63

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Srta. Neira
Gerente General
Ing. Química C.M.S. 19974

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1848

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdesur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00026

Pág: 1/3

Hoja de datos

Señores: ROBERTO ALFARO ALEJO
Dirección: JR. CHASQUI N° 233 JULIACA - PUNO
Atención: ROBERTO ALFARO ALEJO
Proyecto:

Producto(s) Declarado(s): Sedimento
Nro de muestras: 5
Muestreo a cargo de(l): ROBERTO ALFARO ALEJO
Registro de muestreo: 0011-21
Fecha de recepción: 14/05/2021
Fecha de ensayo: 14/05/2021
Fecha de emisión: 19/05/2021
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones: -----

Método de ensayo aplicado

*7002 EPA 200.7 Determinación de Arsénico en Suelos y Sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP-OES, Revisión 4.4.
*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP-OES, Revisión 4.4.
*7022 EPA 200.7 Determinación de Mercurio en Suelos y sedimentos (Lixiviación Ácida) por ICP-OES, Revisión 4.4.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD21000030	JULIACA SUELO 1	AV. MARTIRES 4 NOV. / JULIACA / PUNO	379039 ; 8285488	25/04/21	1:00 p. m.
SD21000031	JULIACA SUELO 2	JR. SAN ROMAN / JULIACA / PUNO	378447 ; 8286816	25/04/21	1:00 p. m.
SD21000032	JULIACA SUELO 3	JR. 2 DE MAYO / JULIACA / PUNO	377819 ; 8286825	25/04/21	1:50 p. m.
SD21000033	JULIACA SUELO 4	PLAZA BOLOGNESI / JULIACA / PUNO	378614 ; 8286460	25/04/21	2:20 p. m.
SD21000034	JULIACA SUELO 5	PLAZA ZARUMILLA / JULIACA / PUNO	379046 ; 8286442	25/04/21	2:40 p. m.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad ISO 9001:2015. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

[Firma]
Ing. Guillermo Soto
Gerente General
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

NH-18 N° 1847

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
www.laboratoriosanaliticosdesur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-21-00027

Hoja de resultados

19/05/2021

Pág.: 3/3

Código Interno #	Nombre de Muestra	*7003 P		*7003 Pb		*7003 Sb		*7003 Se		*7003 Sn		*7003 Sr		*7003 Te		*7003 Ti		*7003 V		*7003 Zn	
		MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg	MT	mg/kg
SD21000035	JULIACA SUELO 1	228,93	105,58	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	17,44	≤<0,20	211,91	0,32	29,42	8,03	30,33	28,88	21,53	24,98
SD21000036	JULIACA SUELO 2	238,53	128,61	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	11,61	≤<0,20	232,42	0,19	30,33	28,88	30,49	7,46	21,53	24,98
SD21000037	JULIACA SUELO 3	231,04	46,04	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	11,09	≤<0,20	207,80	0,24	30,49	7,46	30,49	7,46	21,53	24,98
SD21000038	JULIACA SUELO 4	486,83	143,12	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	47,99	≤<0,20	260,01	0,42	21,53	24,98	21,53	24,98	21,53	24,98
SD21000039	JULIACA SUELO 5	614,52	88,95	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	≤<0,16	26,91	≤<0,20	242,32	0,29	22,72	21,09	22,72	21,09	22,72	21,09

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Srta. Vicenta Juárez Neira
Gerente General
Rég. Comercio C.I.F. 10474

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 1852



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00053

Fecha de emisión: 19/05/2021

Página 1 de 3

Clave generada : EBB4EA2B

Señores : ROBERTO ALFARO ALEJO
Dirección : JR. CHASQUI N° 233 JULIACA - PUNO
Atención : ROBERTO ALFARO ALEJO
Proyecto : INFLUENCIA DEL TRAFICO VEHICULAR EN LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS.

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : ROBERTO ALFARO ALEJO
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 139-21
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 14/05/2021

Fecha de ensayo : 14/05/2021

Nro de muestras : 3

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG21000354	JULIACA ESCORRENTIA 1	Agua Natural - Superficial - Agua de Deposición Atmosférica	AV. MARTIRES 4 NOV. / JULIACA / PUNO	379039 ; 8285488	27/02/2021	17.40
AG21000355	JULIACA ESCORRENTIA 2	Agua Natural - Superficial - Agua de Deposición Atmosférica	JR. SAN ROMAN / JULIACA / PUNO	378447 ; 8286816	27/02/2021	17.50
AG21000356	JULIACA ESCORRENTIA 4	Agua Natural - Superficial - Agua de Deposición Atmosférica	PLAZA BOLOGNESI / JULIACA / PUNO	378614 ; 8286460	27/02/2021	18.15

(c) Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado
Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, ">Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)



Validar el informe
vía Web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00053

Fecha de emisión: 19/05/2021

Página 2 de 3

Clave generada : EBB4EA2B

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*3001	*3015	*782										
		Hg	As	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG21000354	JULIACA ESCORRENTIA 1	<0,00041	0,0367	<0,0024	12,5	<0,0053	0,44992	0,001156	95,6	0,00190	0,013430	0,01561	0,1544	
AG21000355	JULIACA ESCORRENTIA 2	<0,00041	0,0329	<0,0024	14,1	<0,0053	0,63511	0,001471	139	0,00594	0,015147	0,01956	0,1943	
AG21000356	JULIACA ESCORRENTIA 4	<0,00041	0,0242	<0,0024	9,16	<0,0053	0,35936	0,000913	114	0,00573	0,010821	0,01515	0,1639	

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*782													
		Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO2	Sn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG21000354	JULIACA ESCORRENTIA 1	5,45	20,2	0,04261	20,51	1,7063	0,00387	5,11	0,02649	4,142	0,0865	0,00471	<0,002	17,99	0,00486
AG21000355	JULIACA ESCORRENTIA 2	5,36	27,6	0,07494	29,73	2,4314	0,00262	9,14	0,03293	6,401	0,0992	0,00349	<0,002	17,59	0,00685
AG21000356	JULIACA ESCORRENTIA 4	3,31	24,8	0,05917	24,53	1,5484	0,00309	7,57	0,02765	4,572	0,0868	0,00458	<0,002	12,00	0,00441

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	*782				
		Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG21000354	JULIACA ESCORRENTIA 1	0,4009	0,16946	<0,0013	0,03931	0,6981
AG21000355	JULIACA ESCORRENTIA 2	0,7145	0,15456	<0,0013	0,04358	1,790
AG21000356	JULIACA ESCORRENTIA 4	0,5827	0,10537	<0,0013	0,03324	2,033


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"<Valor numérico"=Límite de detección del método, ">Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipe-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
VIA QR



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00053

Fecha de emisión: 19/05/2021

Página 3 de 3


Clave generada : EBB4EA2B

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
3001	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4, Mercurio.	[0.0023 - 250] mg/L
3015	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4, Arsénico.	[0.0012 - 50] mg/L
*782	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES, Revisión 4.4.	[-] mg/L

* : Límite de detección * : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"*<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web





Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-21-00177

Fecha de emisión: 19/05/2021

Página 1 de 3

Clave generada : BAE4CAD2

Señores : ROBERTO ALFARO ALEJO
Dirección : JR. CHASQUI N° 233 JULIACA - PUNO
Atención : ROBERTO ALFARO ALEJO
Proyecto : INFLUENCIA DEL TRAFICO VEHICULAR EN LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS.

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : ROBERTO ALFARO ALEJO
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 139-21
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 14/05/2021

Fecha de ensayo : 14/05/2021

Nro de muestras : 3

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG21000357	JULIACA ESCORRENTIA 1	Agua Natural - Superficial - Agua de Deposición Atmosférica	AV. MARTIRES 4 NOV. / JULIACA / PUNO	379039 ; 8285488	7/05/2021	18:10
AG21000358	JULIACA ESCORRENTIA 2	Agua Natural - Superficial - Agua de Deposición Atmosférica	JR. SAN ROMAN / JULIACA / PUNO	378447 ; 8286616	7/05/2021	18:20
AG21000359	JULIACA ESCORRENTIA 4	Agua Natural - Superficial - Agua de Deposición Atmosférica	PLAZA BOLOGNESI / JULIACA / PUNO	378614 ; 8286460	7/05/2021	18:25

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el informe
via web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-21-00177

Fecha de emisión: 19/05/2021

Página 2 de 3

Clave generada : BAE4CAD2

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	*3012	796	800	802								
		U	As	Hg	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG21000357	JULIACA ESCORRENTIA 1	0,00200	0,0474	b<0,00041	b<0,0024	15,0	b<0,0053	0,57233	0,001635	147	0,00200	0,020507	0,02229
AG21000358	JULIACA ESCORRENTIA 2	0,00204	0,0633	b<0,00041	b<0,0024	36,4	b<0,0053	1,8001	0,002669	185	0,00603	0,032007	0,05029
AG21000359	JULIACA ESCORRENTIA 4	0,00084	0,0250	b<0,00041	b<0,0024	8,10	b<0,0053	0,45290	0,000693	86,3	0,00229	0,009282	0,01434

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	802													
		Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO2
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG21000357	JULIACA ESCORRENTIA 1	0,2235	8,86	39,2	0,06182	31,45	2,3395	0,00628	13,7	0,04104	4,792	0,1068	0,00872	b<0,002	26,53
AG21000358	JULIACA ESCORRENTIA 2	0,3059	17,9	33,8	0,08414	39,75	4,0612	0,00311	8,27	0,06189	8,984	0,2313	0,00641	b<0,002	58,96
AG21000359	JULIACA ESCORRENTIA 4	0,1734	3,61	13,1	0,02233	14,23	1,1965	0,00188	3,18	0,01829	2,453	0,1327	0,00348	b<0,002	14,74

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	802					
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG21000357	JULIACA ESCORRENTIA 1	0,00124	0,6954	0,18612	b<0,0013	0,06266	0,7092
AG21000358	JULIACA ESCORRENTIA 2	0,00875	0,8432	0,55838	0,0015	0,06820	2,142
AG21000359	JULIACA ESCORRENTIA 4	0,00659	0,2694	0,11680	b<0,0013	0,02638	0,9838

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Peru (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-21-00177

Fecha de emisión: 19/05/2021

Página 3 de 3


Clave generada : BAE4CAD2

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
3012	Método de ensayo para Uranio en traza en agua y aguas residuales por ICP -AES	[0.0017 - 50] mg/L
796	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L

* : Límite detección * : Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.

Validar el informe
vía web





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro **LQ-2023**

Nº 002202

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico: AGUA DE ESCORRENTIA, MUESTRA 01

PROCEDENCIA : ESCORRENTIA VIAL DEL DISTRITO DE JULIACA
INTERESADO : ROBERTO ALFARO ALEJO
MOTIVO : ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA
MUESTREO : 29/07/2023, por el interesado
ANÁLISIS : 29/07/2023
COD. MUESTRA : B009-000460

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

ASPECTO : Líquido
COLOR : Incoloro
OLOR : Inodoro

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

pH : 5.37
Temperatura : 13.70 °C
Conductividad Eléctrica : 950.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Dureza Total como CaCO_3 : 192.20 mg/L
Alcalinidad como CaCO_3 : 153.43 mg/L
Cloruros como Cl^- : 255.92 mg/L
Sulfatos como SO_4^{2-} : 156.05 mg/L
Sólidos Totales Disueltos : 480.00 mg/L
Calcio como Ca^{++} : 64.32 mg/L
Magnesio como Mg^{++} : 7.63 mg/L
Sólidos en Suspensión : 282.00 mg/L
Porcentaje de salinidad : 0.50 %
Turbidez : 172.00 NTU

1.- Los parámetros físico-químico analizados en el laboratorio de control de calidad SI cumplen con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano: D.S. N° 031-2010-SA.

Puno, C.U. 09 de agosto del 2023.

vºBº

ING. LUZMARÍA TORRES PONCE
Instituto de Control de Calidad
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNA - PUNO



Walter E. Aragón M.D.
DECANO - F.I.Q. - UNA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro LQ-2023

Nº 002203

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico: AGUA DE ESCORRENTIA, MUESTRA 02

PROCEDENCIA : ESCORRENTIA VIAL DEL DISTRITO DE JULIACA

INTERESADO : ROBERTO ALFARO ALEJO

MOTIVO : ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA

MUESTREO : 29/07/2023, por el interesado

ANÁLISIS : 29/07/2023

COD. MUESTRA : B009-000460

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

ASPECTO : Líquido

COLOR : Incoloro

OLOR : Inodoro

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

pH : 5.96
Temperatura : 13.70 °C
Conductividad Eléctrica : 654.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Dureza Total como CaCO_3 : 225.20 mg/L
Alcalinidad como CaCO_3 : 99.10 mg/L
Cloruros como Cl^- : 187.94 mg/L
Sulfatos como SO_4^{2-} : 204.04 mg/L
Sólidos Totales Disueltos : 327.00 mg/L
Calcio como Ca^{++} : 67.41 mg/L
Magnesio como Mg^{++} : 13.78 mg/L
Sólidos en Suspensión : 93.00 mg/L
Porcentaje de salinidad : 0.40 %
Turbidez : 506.00 NTU

1.- Los parámetros físico-químico analizados en el laboratorio de control de calidad SI cumplen con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano: D.S. N° 031-2010-SA.

Puno, C.U. 09 de agosto del 2023.

VºBº

ING. LUZ MARCELA YRIBARRI FLORES
ANALISTA DE AGUA - CONTROL DE CALIDAD
FIQ-UNA-001-202023



Walter E. Apaza Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro **LQ-2023**

Nº 002204

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico: AGUA DE ESCORRENTIA, MUESTRA 03

PROCEDENCIA : ESCORRENTIA VIAL DEL DISTRITO DE JULIACA

INTERESADO : ROBERTO ALFARO ALEJO

MOTIVO : ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA

MUESTREO : 29/07/2023, por el interesado

ANÁLISIS : 29/07/2023

COD. MUESTRA : B009-000460

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

ASPECTO : Líquido

COLOR : Incoloro

OLOR : Inodoro

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

pH : 6.02

Temperatura : 13.70 °C

Conductividad Eléctrica : 970.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Dureza Total como CaCO_3 : 65.38 mg/L

Alcalinidad como CaCO_3 : 107.53 mg/L

Cloruros como Cl⁻ : 869.73 mg/L

Sulfatos como SO_4^{2-} : 126.80 mg/L

Sólidos Totales Disueltos : 485.00 mg/L

Calcio como Ca^{++} : 212.08 mg/L

Magnesio como Mg^{++} : 11.82 mg/L

Sólidos en Suspensión : 185.00 mg/L

Porcentaje de salinidad : 0.50 %

Turbidez : 456.00 NTU

1.- Los parámetros físico-químico analizados en el laboratorio de control de calidad SI cumplen con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano: D.S. N° 031-2010-SA.

Puno, C.U. 09 de agosto del 2023.

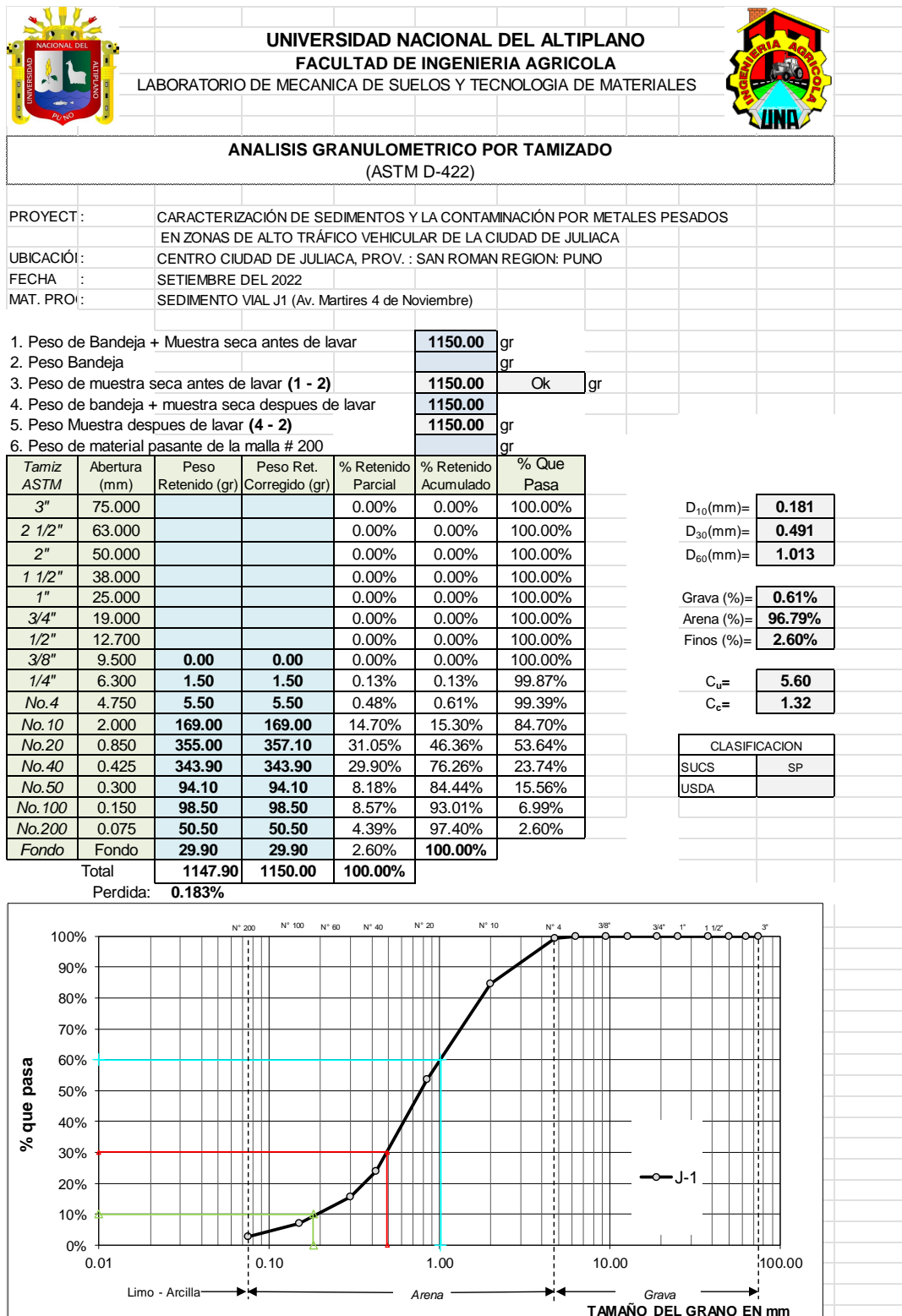
V°B°

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
TALLERISTA DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 1822613



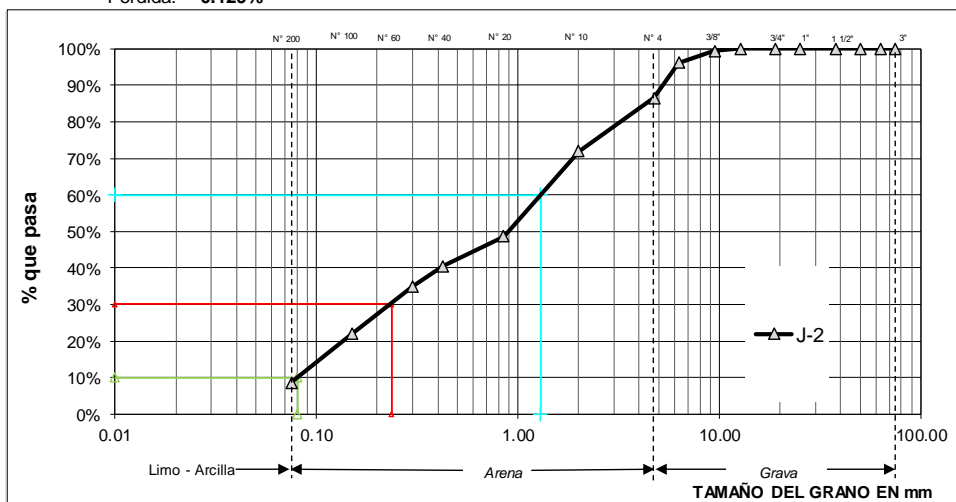
Walther E. Apaza Córdova, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA

Anexo 3. Resultados de granulometría por tamizado.



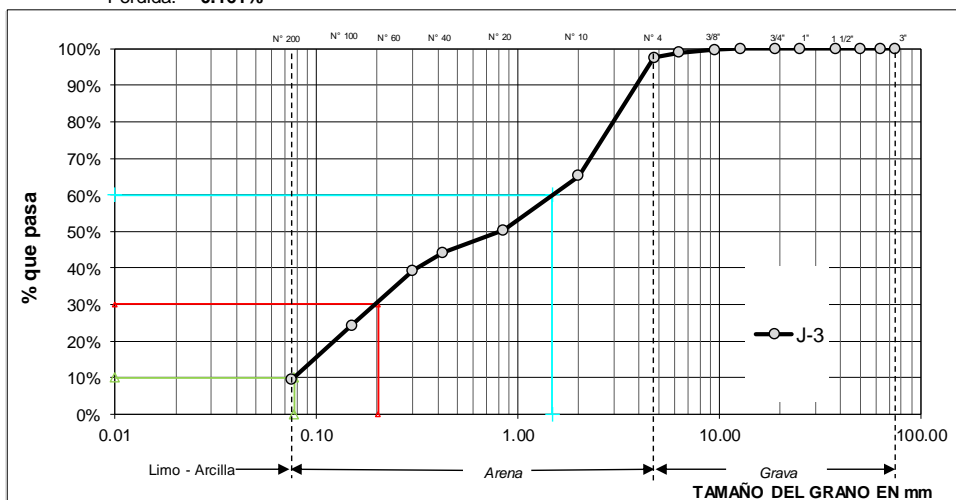
Nota: Procesado en laboratorio por el tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA					
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y TECNOLOGIA DE MATERIALES							
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)							
PROYECT :	CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE JULIACA						
UBICACIÓI :	CENTRO CIUDAD DE JULIACA, PROV. : SAN ROMAN REGION: PUNO						
FECHA :	SETIEMBRE DEL 2022						
MAT. PROI :	SEDIMENTO VIAL J2 (Jr. San Roman - Jr. 2 de Mayo)						
1. Peso de Bandeja + Muestra seca antes de lavar	1320.00	gr					
2. Peso Bandeja		gr					
3. Peso de muestra seca antes de lavar (1 - 2)	1320.00	Ok	gr				
4. Peso de bandeja + muestra seca despues de lavar	1321.20						
5. Peso Muestra despues de lavar (4 - 2)	1321.20	gr					
6. Peso de material pasante de la malla # 200		gr					
Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Ret. Corregido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	75.000			0.00%	0.00%	100.00%	D ₁₀ (mm)= 0.081
2 1/2"	63.000			0.00%	0.00%	100.00%	D ₃₀ (mm)= 0.236
2"	50.000			0.00%	0.00%	100.00%	D ₆₀ (mm)= 1.291
1 1/2"	38.000			0.00%	0.00%	100.00%	
1"	25.000			0.00%	0.00%	100.00%	Grava (%)= 13.49%
3/4"	19.000			0.00%	0.00%	100.00%	Arena (%)= 77.92%
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Finos (%)= 8.59%
3/8"	9.500	8.40	8.40	0.64%	0.64%	99.36%	C _u = 15.99
1/4"	6.300	42.40	42.40	3.21%	3.85%	96.15%	C _c = 0.54
No.4	4.750	127.30	127.30	9.64%	13.49%	86.51%	CLASIFICACION
No.10	2.000	156.00	191.50	14.51%	28.00%	72.00%	
No.20	0.850	344.40	309.40	23.44%	51.44%	48.56%	USDA
No.40	0.425	106.30	106.30	8.05%	59.49%	40.51%	
No.50	0.300	74.00	74.00	5.61%	65.10%	34.90%	
No.100	0.150	171.70	171.70	13.01%	78.11%	21.89%	
No.200	0.075	175.60	175.60	13.30%	91.41%	8.59%	
Fondo		113.40	113.40	8.59%	100.00%		
Total		1319.50	1320.00	100.00%			
Perdida:		0.129%					



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y TECNOLOGIA DE MATERIALES						
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)						
PROYECT:	CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE JULIACA					
UBICACIÓI:	CENTRO CIUDAD DE JULIACA, PROV. : SAN ROMAN REGION: PUNO					
FECHA :	SETIEMBRE DEL 2022					
MAT. PROI:	SEDIMENTO VIAL J3 (Jr. 2 de Mayo - Av. Ricardo Palma)					
1. Peso de Bandeja + Muestra seca antes de lavar	1181.70 gr					
2. Peso Bandeja	gr					
3. Peso de muestra seca antes de lavar (1 - 2)	1181.70 Ok gr					
4. Peso de bandeja + muestra seca despues de lavar	1181.70					
5. Peso Muestra despues de lavar (4 - 2)	1181.70 gr					
6. Peso de material pasante de la malla # 200	gr					
Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Ret. Corregido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.000			0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.000			0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.000			0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.000			0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.000			0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000			0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.500	3.20	3.20	0.27%	0.27%	99.73%
1/4"	6.300	9.50	9.50	0.80%	1.07%	98.93%
No.4	4.750	16.10	16.10	1.36%	2.44%	97.56%
No.10	2.000	380.70	382.60	32.38%	34.81%	65.19%
No.20	0.850	174.90	174.90	14.80%	49.61%	50.39%
No.40	0.425	73.40	73.40	6.21%	55.83%	44.17%
No.50	0.300	57.50	57.50	4.87%	60.69%	39.31%
No.100	0.150	177.20	177.20	15.00%	75.69%	24.31%
No.200	0.075	176.50	176.50	14.94%	90.62%	9.38%
Fondo		110.80	110.80	9.38%	100.00%	
Total		1179.80	1181.70			
Perdida:		0.161%				

D ₁₀ (mm)=	0.077
D ₃₀ (mm)=	0.202
D ₆₀ (mm)=	1.482
Grava (%)=	2.44%
Arena (%)=	88.19%
Finos (%)=	9.38%
C _u =	19.20
C _c =	0.36
CLASIFICACION	
SUCS	SP-SM
USDA	





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y TECNOLOGIA DE MATERIALES



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422)

PROYECT: CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS
EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE JULIACA
UBICACIÓI: CENTRO CIUDAD DE JULIACA, PROV. : SAN ROMAN REGION: PUNO
FECHA : SETIEMBRE DEL 2022
MAT. PROI: SEDIMENTO VIAL J4 (Plaza Bolognesi)

1. Peso de Bandeja + Muestra seca antes de lavar	647.60	gr
2. Peso Bandeja	70.90	gr
3. Peso de muestra seca antes de lavar (1 - 2)	576.70	Ok gr
4. Peso de bandeja + muestra seca despues de lavar	418.00	
5. Peso Muestra despues de lavar (4 - 2)	347.10	gr
6. Peso de material pasante de la malla # 200	232.20	gr

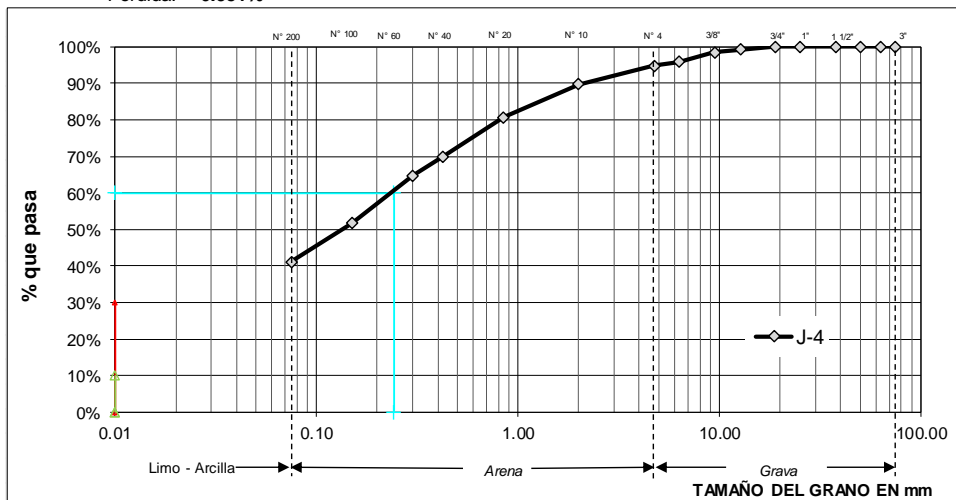
Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Ret. Corregido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.000			0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.000			0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.000			0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.000			0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.000			0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	4.70	4.70	0.81%	0.81%	99.19%
3/8"	9.500	4.00	4.00	0.69%	1.51%	98.49%
1/4"	6.300	14.80	14.80	2.57%	4.07%	95.93%
No.4	4.750	6.30	6.30	1.09%	5.17%	94.83%
No.10	2.000	29.30	29.30	5.08%	10.25%	89.75%
No.20	0.850	51.70	52.40	9.09%	19.33%	80.67%
No.40	0.425	62.00	62.00	10.75%	30.08%	69.92%
No.50	0.300	30.30	30.30	5.25%	35.34%	64.66%
No.100	0.150	75.40	75.40	13.07%	48.41%	51.59%
No.200	0.075	61.00	61.00	10.58%	58.99%	41.01%
Fondo		4.30	236.50	41.01%	100.00%	
Total		343.80	576.70	100.00%		
Perdida:		0.951%				

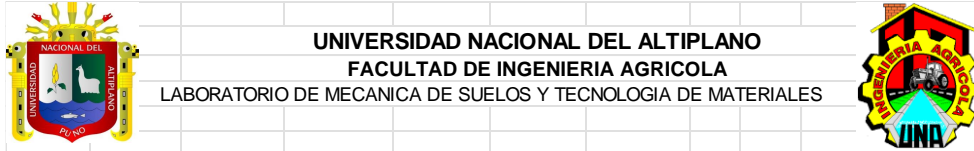
D ₁₀ (mm)=	-
D ₃₀ (mm)=	-
D ₆₀ (mm)=	0.242

Grava (%)=	5.17%
Arena (%)=	53.82%
Finos (%)=	41.01%

C _u =	-
C _c =	-

CLASIFICACION	
SUCS	SM
USDA	





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y TECNOLOGIA DE MATERIALES

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(ASTM D-422)

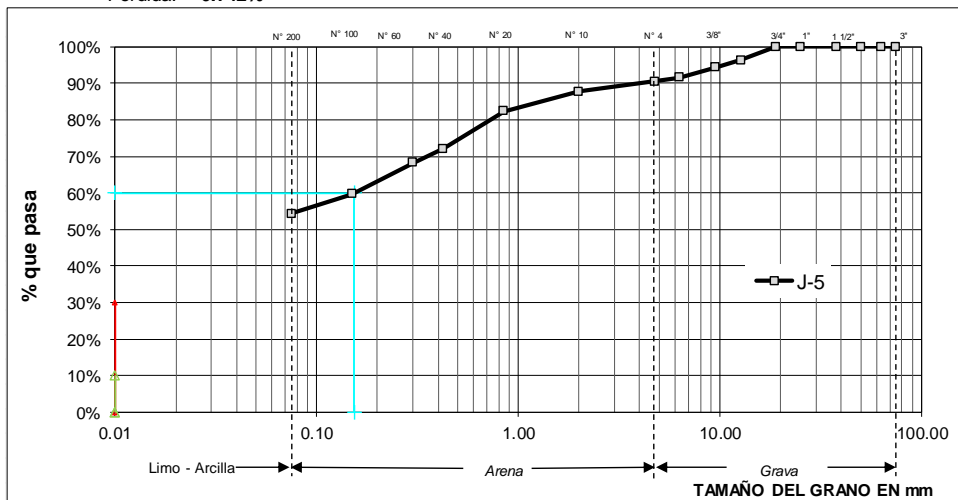
PROYECT: CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS
EN ZONAS DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE JULIACA
UBICACIÓN: CENTRO CIUDAD DE JULIACA, PROV. : SAN ROMAN REGION: PUNO
FECHA : SETIEMBRE DEL 2022
MAT. PRO: SEDIMENTO VIAL J5 (Plaza Zarumilla)

1. Peso de Bandeja + Muestra seca antes de lavar **583.80** gr
2. Peso Bandeja gr
3. Peso de muestra seca antes de lavar (1 - 2) **583.80** Ok gr
4. Peso de bandeja + muestra seca despues de lavar **269.70**
5. Peso Muestra despues de lavar (4 - 2) **269.70** gr
6. Peso de material pasante de la malla # 200 **314.10** gr

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Ret. Corregido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.000			0.00%	0.00%	100.00%
2 1/2"	63.000			0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.000			0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.000			0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.000			0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	21.60	21.60	3.70%	3.70%	96.30%
3/8"	9.500	11.60	11.60	1.99%	5.69%	94.31%
1/4"	6.300	16.30	16.30	2.79%	8.48%	91.52%
No.4	4.750	6.20	6.20	1.06%	9.54%	90.46%
No.10	2.000	15.40	15.40	2.64%	12.18%	87.82%
No.20	0.850	31.30	31.30	5.36%	17.54%	82.46%
No.40	0.425	58.10	60.10	10.29%	27.83%	72.17%
No.50	0.300	22.90	22.90	3.92%	31.76%	68.24%
No.100	0.150	49.90	49.90	8.55%	40.30%	59.70%
No.200	0.075	31.10	31.10	5.33%	45.63%	54.37%
Fondo	Fondo	3.30	317.40	54.37%	100.00%	
Total		267.70	583.80	100.00%		
Perdida:		0.742%				

D ₁₀ (mm)=	-
D ₃₀ (mm)=	-
D ₆₀ (mm)=	0.154
Grava (%)=	9.54%
Arena (%)=	36.09%
Finos (%)=	54.37%
C _u =	-
C _c =	-

CLASIFICACION	
SUCS	ML
USDA	



Anexo 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis.



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ROBERTO ALFARO ALEJO
identificado con DNI 01225117 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACIÓN POR
METALES PESADOS EN ZONAS DE ALTO TRAFICO VEHICULAR
DE LA CIUDAD DE JULIACA"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 14 de AGOSTO del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella

Anexo 5. Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional.



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ROBERTO ALFARO ALEJO,
identificado con DNI 01325117 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"CARACTERIZACION DE SEDIMENTOS Y LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN ZONAS DE ALTO TRAFICO VEHICULAR DE LA CIUDAD DE JULIACA"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 14 de AGOSTO del 20 23


FIRMA (obligatoria)

