

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“EVALUACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN DE METALES  
TÓXICOS EN LAS PARTÍCULAS Y AGUA DE NIEBLA EN LAS  
LOMAS DE ASIA”**

Presentada por:

**NATALIA ANDREA SIERRA MENDEZ**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“EVALUACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN DE METALES TÓXICOS EN LAS  
PARTICULAS Y AGUA DE NIEBLA EN LAS LOMAS DE ASIA”**

Presentada por:

**Natalia Andrea Sierra Méndez**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Luis Shuseki Yoza Yoza

**PRESIDENTE**

---

Mg. Quím. Flora Elsa Huaman Paredes

**MIEMBRO**

---

Mg. Cs Paola Aurelia Jorge Montalvo

**MIEMBRO**

---

Ph. D. Sergio Artemio Pacsi Valdivia

**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A todas las personas que me apoyaron y aportaron ideas para que este trabajo se hiciera realidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermano por el constante apoyo durante la etapa de campo y los consejos dados durante la realización del presente trabajo.

A Diego Wu, por su esfuerzo durante la etapa de campo y por tomarse el trabajo tan en serio como si fuera propio.

Al profesor Sergio Pacsi y a todo el jurado calificador por la asesoría y aportes durante el desarrollo del trabajo.

A SUMPA S.A.C. por aportar la idea principal de esta investigación, por el constante apoyo y motivación para culminar este trabajo, pero sobre todo por la paciencia con mis horarios de trabajo.

A Ivan Reyna y todo su equipo de guardalomas por abrirme las puertas para realizar esta investigación.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT .....	ii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
2.1 Antecedentes de la investigación.....	2
2.1.1 Partículas sólidas Sedimentables (PTSe).....	2
2.1.2 Métodos de medición de PTSe.....	2
2.1.3 Niebla.....	4
2.1.4 Captación del agua de niebla.....	6
2.1.5 Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua.....	7
2.1.6 Calidad del agua de niebla .....	7
2.2 Fuentes de contaminación atmosférica .....	8
2.2.1 Fuentes fijas.....	9
2.2.2 Naturales .....	9
2.2.3 Fuentes móviles .....	9
2.2.4 Identificación de fuentes de contaminación.....	9
2.3 Lomas Costeras.....	11
2.3.1 Lomas de Asia .....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Área de estudio .....	13
3.2 Materiales y equipos .....	16
3.2.1 Materiales.....	16
3.2.2 Equipos.....	16
3.3 Metodología.....	17
3.3.1 Trabajo previo a campo.....	17
3.3.2 Trabajo en campo .....	18
3.3.3 Trabajo en gabinete.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1 Diagnóstico ambiental de las Lomas de Asia.....	25
4.2 Partículas sólidas Sedimentables (PTSe) .....	30

4.2.1	Método de placas receptoras .....	30
4.2.2	Método Bergerhoff .....	34
4.2.3	Comparación de resultados obtenidos entre los métodos pasivos.....	36
4.2.4	Metales tóxicos en PTSe .....	42
4.3	Análisis de calidad del agua de niebla .....	47
4.3.1	Parámetros fisicoquímicos .....	47
4.3.2	Compuestos inorgánicos .....	52
4.4	Datos meteorológicos.....	60
4.5	Inventario de fuentes de contaminación.....	62
4.5.1	Fuentes fijas.....	64
4.5.2	Fuentes naturales .....	70
4.5.3	Fuentes móviles .....	71
4.6	Análisis estadístico .....	72
4.6.1	Prueba t-student .....	72
4.6.2	Gráfica de cajas .....	72
4.6.3	Coefficiente de correlación de Pearson.....	74
V.	CONCLUSIONES .....	76
VI.	RECOMENDACIONES .....	77
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
VIII.	ANEXOS.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación estaciones .....	13
Tabla 2: Ubicación de los neblinómetros de SUMPÁ .....	14
Tabla 3: Periodos de muestreo de PTSe y agua de niebla.....	17
Tabla 4: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, primer muestreo .....	30
Tabla 5: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, segundo muestreo .....	31
Tabla 6: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, tercer muestreo .....	32
Tabla 7: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, cuarto muestreo .....	33
Tabla 8: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, primer muestreo .....	34
Tabla 9: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, segundo muestreo .....	34
Tabla 10: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, tercer muestreo.....	35
Tabla 11: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, cuarto muestreo.....	36
Tabla 12: PTSe obtenidos por los dos métodos en el primer muestreo .....	36
Tabla 13: PTSe obtenidos por los dos métodos en el segundo muestreo .....	38
Tabla 14: PTSe obtenidos por los dos métodos en el tercer muestreo.....	39
Tabla 15: PTSe obtenidos por los dos métodos en el cuarto muestreo.....	40
Tabla 16: Comparación de promedios por estación de muestreo .....	41
Tabla 17: Cantidad de metales tóxicos en PTSe.....	42
Tabla 18: Cantidad de metales tóxicos en el primer muestreo.....	43
Tabla 19: Cantidad de metales tóxicos en el segundo muestreo. ....	44
Tabla 20: Cantidad de metales tóxicos en el tercer muestreo. ....	45
Tabla 21: Cantidad de metales tóxicos en el cuarto muestreo.....	46
Tabla 22: Promedio de metales tóxicos presentes en PTSe durante monitoreo pasivo. ....	47
Tabla 23: Parámetros fisicoquímicos del agua de niebla. ....	48
Tabla 24: Concentración de metales tóxicos en el agua de niebla .....	52
Tabla 25: Concentración de Al en agua de niebla. ....	53
Tabla 26: Concentración de As en agua de niebla.....	54
Tabla 27: Concentración de Cd en agua de niebla .....	56
Tabla 28: Concentración de Fe en agua de niebla .....	57
Tabla 29: Concentración de Pb en agua de niebla.....	59
Tabla 30: Prueba t-student en muestras de PTSe.....	72
Tabla 31: Coeficiente de correlación de Pearson en metales tóxicos en PTSe. ....	74
Tabla 32: Coeficiente de correlación de Pearson en metales tóxicos en agua de niebla. ....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio .....	15
Figura 2: Estación de monitoreo de PTSe.....	19
Figura 3: Toma de muestra de PTSe.....	19
Figura 4: Toma de muestra de agua de niebla .....	20
Figura 5: Medición oxígeno disuelto, pH, Redox.....	23
Figura 6: Estación de monitoreo de PTSe “E1” .....	25
Figura 7: Estación de monitoreo de PTSe “E2” .....	26
Figura 8: Estación de monitoreo de PTSe “E3” .....	26
Figura 9: Estación de monitoreo de PTSe “E4” .....	26
Figura 10: Estación de monitoreo de PTSe “E5” .....	27
Figura 11: Estación de monitoreo de PTSe “E6” .....	27
Figura 12: Neblinómetro ASI-03 instalado por SUMP.A.....	28
Figura 13: Musgo acolchonado encontrado en una rama de <i>Caesalpinia spinosa</i> (Tara) ....	28
Figura 14: Planta captadora de agua de niebla, <i>Fuertesimalva limensis</i> (Malva) .....	29
Figura 15: Especie medicinal <i>Salvia paposana</i> (Salvia).....	29
Figura 16: <i>Geranoaetus polysoma</i> (Aguilucho variable).....	30
Figura 17: Condensación de agua sobre las placas receptoras.....	31
Figura 18: Alas de insecto sobre placa receptora .....	32
Figura 19: Placa receptora manipulada por un externo.....	33
Figura 20: Restos de insectos en estación 3. ....	35
Figura 21: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, primer muestreo.....	37
Figura 22: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, segundo muestreo .....	38
Figura 23: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, tercer muestreo .....	39
Figura 24: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, cuarto muestreo. ....	40
Figura 25: Gráfico de comparación de promedios de PTSe por métodos pasivos .....	41
Figura 26: Gráfico de pH en agua de niebla comparado con ECA 1-A1.....	48
Figura 27: Gráfico C.E. en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	49
Figura 28: Gráfico O.D. en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	50
Figura 29: Gráfico TDS en agua de niebla comparado con ECA 1-A1.....	50
Figura 30: Gráfico de Turbidez en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	51
Figura 31: Gráfico de Al en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	53
Figura 32: Gráfico de As en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	55

Figura 33: Gráfico de Cd en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	56
Figura 34: Gráfico de Fe en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	58
Figura 35: Gráfico de Pb en agua de niebla comparado con ECA 1-A1 .....	59
Figura 36: Rosa de vientos para el área de estudio.....	60
Figura 37: Variación de la temperatura y humedad relativa en el mes de octubre.....	61
Figura 38: Variación de la temperatura y humedad relativa en el mes de noviembre.....	61
Figura 39: Mapa del inventario de fuentes de contaminación en las Lomas. ....	63
Figura 40: Material de construcción al costado de la carretera a Lomas de Asia. ....	64
Figura 41: Horno de barro usado por familia. ....	65
Figura 42: Quema de residuos sólidos al aire libre.....	66
Figura 43: Cantera ubicada a 2 kilómetros de la entrada a las Lomas.....	67
Figura 44: Avícola ubicada a 7 kilómetros de la entrada de las Lomas.....	68
Figura 45: Cultivo de manzana a 5 km de la entrada de las Lomas. ....	69
Figura 46: Vaca pastando dentro de las Lomas. ....	70
Figura 47: Camión transitando por trocha carrozable frente a la entrada de las Lomas. ....	71
Figura 48: Gráfica de caja para el método de placas receptoras. ....	73
Figura 49: Gráfica de caja para el método de Bergerhoff .....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Límites de Detección de la técnica ICP-OES.....	85
Anexo 2: Datos de viento para la realización de la rosa de vientos del área de estudio .....	86
Anexo 3: Modelo de Cadena de custodia de muestras de aire .....	88
Anexo 4: Modelo de cadena de custodia de muestras de agua.....	89
Anexo 5: Modelo de etiquetas muestras de PTSe .....	90
Anexo 6: Modelo de etiquetas muestras de agua.....	91
Anexo 7: Parámetros regulados por la Normativa Peruana (ECA-agua).....	92
Anexo 8: Cálculo para la determinación de PTSe, método de placas receptoras.....	93
Anexo 9: Cálculo para la determinación de PTSe, método de Bergerhoff. ....	94
Anexo 10: Cálculo de conversión de unidades para los metales en PTSe .....	95
Anexo 11: Prueba t para muestras de PTSe .....	96

## RESUMEN

La presente investigación tuvo lugar en las Lomas de Asia, ubicadas en el distrito Asia, provincia Cañete y departamento Lima. La comunidad de Asia no cuenta con acceso a agua potable todo el año, razón por la cual anhelan encontrar en el agua de niebla una fuente de abastecimiento para sus labores cotidianas; sin embargo, las diferentes actividades económicas realizadas en el distrito podrían estar afectando la calidad del recurso hídrico. En los meses de octubre a diciembre del 2018, se realizó el trabajo en campo, este consistió en el monitoreo de Partículas Sólidas Sedimentables (PTSe) en las Lomas para determinar la presencia de metales tóxicos. A su vez, se recogieron muestras de agua de niebla para determinar su composición fisicoquímica (pH, T, C.E., OD, TDS y Turbidez) e inorgánica. En los análisis se encontró que los metales Al (5,5534 t/km<sup>2</sup>/mes), As (0,0032 t/km<sup>2</sup>/mes) y Fe (8,9658 t/km<sup>2</sup>/mes) están presentes en las PTSe, mientras que en las muestras de agua de niebla las concentraciones de Al (0,11 mg/l) y Fe (0,1226 mg/l) no superan la normativa y los metales As (0,02148 mg/l), Cd (0,02520 mg/l) y Pb (0,0422 mg/l) se encuentran por encima de lo estipulado en la normativa. La contaminación del aire en las Lomas se podría deber en primer lugar a la presencia de actividades antrópicas como el uso de fertilizantes fosfatados, extracción de material para construcción, quema de residuos sólidos, emisiones vehiculares y uso de carbón y leña; y, en segundo lugar, a fuentes naturales como el arrastre y resuspensión de partículas del suelo en las Lomas. Por tanto, se determinó que el agua de niebla no es apta para el consumo humano y que, además de los pobladores, guardalomas y personas que frecuentemente visitan las Lomas de Asia, la fauna y flora podría verse afectada por la presencia de metales tóxicos en el agua de niebla y en las partículas sólidas sedimentables.

Palabras clave: Metales tóxicos, PTSe, niebla, Lomas, contaminación.

## ABSTRACT

The present investigation took place in the Lomas de Asia, located in the district Asia, province Cañete and department Lima. The Asian community does not have access to potable water all year round, which is why they want to find in fog water a source of water for their daily tasks; however, the different economic activities carried out in the district could be affecting the quality of the water resource. In the months of October to December of 2018, work was carried out in the field, this consisted in the monitoring of Sedimentary Solid Particles (PTSe) in the Lomas to determinate the presence of toxic metals. At the same time, fog water samples were collected to determine their physicochemical (pH, T, C.E., OD, TDS and Turbidity) and inorganic composition. In was found that metals Al (5,5534 t/km<sup>2</sup>/month), As (0,0032 t/km<sup>2</sup>/month) and Fe (8,9658 t/km<sup>2</sup>/month) are present in the PTSe, while in fog water samples the concentrations of Al (0,11 mg/l) and Fe (0,1226 mg/l) do not exceed the normative and the metals As (0,02148 mg/l), Cd (0,0250 mg/l) and Pb (0,0422 mg/l) are above what is stipulated in the regulations. The air pollution in the Lomas could be due in the first place to the presence of anthropogenic activities such as the use of phosphate fertilizers, extraction of material for construction, burning solid waste, vehicular emissions and the use of coal and firewood; and, secondly, to natural sources such as the dragging and suspension of soil particles in the Lomas. Therefore, it was determined that the mist water is not suitable for human consumption and that, in addition to the residents, guardians and people who frequently visit the Lomas of Asia, fauna and flora could be affected by the presence of toxic metals in fog water and sedimentary solid particles.

Key words: Toxic metals, PTSe, fog, Lomas, contamination.

## I. INTRODUCCIÓN

El ecosistema de las Lomas de Asia (en adelante, Lomas) se encuentra ubicado en el departamento de Lima, provincia Cañete, distrito Asia. Se trata de un conjunto de lomas costeras con vegetación estacional, alimentada por la neblina marina en los meses de junio a noviembre. En las inmediaciones de este ecosistema, se encuentran los pobladores de la Comunidad Campesina de Asia, quienes se benefician de los servicios ecosistémicos que las Lomas ofrecen y a su vez velan por la conservación de este espacio.

La comunidad anhela encontrar en el agua de niebla una fuente de abastecimiento debido a que no cuentan siempre con acceso a agua potable; sin embargo, en el 2017 la consultora SUMPA S.A.C. evaluó la calidad del agua de niebla de las Lomas (340183 E y 8585575 N) y encontró que esta contenía niveles altos de metales tóxicos. La calidad del agua de niebla tiene relación con la calidad del aire debido a que la formación de niebla se requiere núcleos de condensación, por ende, el uso y/o contacto con esta fuente hídrica supondría un riesgo en la salud.

Expuesto lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo principal:

- Determinar y analizar la presencia de metales tóxicos (Al, As, Cd, Fe y Pb) en las Partículas Sólidas Sedimentables (PTSe) del aire ambiental en las Lomas de Asia de la provincia de Cañete.

Y como objetivos específicos:

- Analizar la composición fisicoquímica e inorgánica del agua de niebla y PTSe proveniente del suroeste de las Lomas de Asia.
- Realizar el inventario de las probables fuentes de contaminación atmosférica en los alrededores (anexos Rosario de Asia, Capilla de Asia, Palma Alta y Sarapampa) de las Lomas de Asia.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1 Partículas sólidas Sedimentables (PTSe)**

De acuerdo con Chipoco y Valencia (2015), los PTSe o también llamados Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS), son partículas de diámetro mayor o igual a 10 micras, cuyo tamaño y peso permiten la sedimentación y deposición por acción de la gravedad. Estas partículas se posan sobre diferentes superficies, desde donde vuelven a ser arrastrados largas distancias por acción del viento alterando la calidad del aire ambiental.

La composición de los PTSe es variable y se ve influenciada principalmente por el tipo de fuente de emisión; sin embargo, existen otros factores importantes que afectan la calidad del aire y determinan condiciones de transporte o remoción, dilución o concentración de los contaminantes (Chipoco y Valencia, 2015). De acuerdo con la OMS (2000), las concentraciones de contaminantes están afectadas por las condiciones meteorológicas, y en concordancia con ello, Corleto y Cortez (2012) afirman que el viento es uno de los principales agentes condicionantes de la contaminación por partículas y que la temperatura, altitud y precipitación también impactan sobre la dispersión de los contaminantes.

#### **2.1.2 Métodos de medición de PTSe**

El monitoreo de PTSe se puede realizar mediante métodos pasivos, donde se adsorbe y/o absorbe un contaminante en específico en un sustrato determinado. Estos métodos resultan ser más económicos y su eficiencia puede variar dependiendo del manejo que se les den a las muestras recolectadas.

De acuerdo con la OMS, hay un alto grado de asociación entre los contaminantes en el aire y los efectos en la salud, en especial con los efectos agudos y crónicos por la exposición a largo plazo. Las partículas mayores a 10 micras inhaladas son retenidas en el tracto respiratorio, las partículas entre 5 y 10 micras son detenidas en los bronquios, y las partículas

más finas llegan hasta los alvéolos pulmonares. Al respecto, la OMS ha establecido como límite permisible el equivalente a 5 toneladas por kilómetro cuadrado en un mes (5 t/km<sup>2</sup>/mes).

#### **a. Método de las “Placas receptoras”**

Consiste en el uso de láminas o placas lisas de vidrio a las cuales se les agrega un adherente como la vaselina, que cumple la función de ser el elemento sensible del método, esto permite la adsorción de los PTSe después de la exposición al aire libre por un periodo que puede ir entre un par de horas hasta un mes. Pasado el tiempo, la muestra se lleva a un laboratorio para ser analizada cuantitativamente por el método gravimétrico (Chipoco y Valencia, 2015).

En la evaluación de la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Lima-Callao, Silva y Montoya (2008) del Senamhi, utilizaron este método para el análisis de la red de muestreo de polvo atmosférico, compuesta por 43 estaciones en Lima-Callao. Se encontró que el 73 por ciento de las estaciones superaron el nivel referencial de la OMS, siendo el distrito de Independencia el que presentó el valor máximo (37 t/km<sup>2</sup>/mes) y Jesús María el distrito que presentó el valor más bajo (2,6 t/km<sup>2</sup>/mes).

Chipoco y Valencia (2015), realizaron un estudio para determinar la capacidad de adsorción (remoción, por adherencia) del material particulado en el aire por una especie arbórea y una rastrera, en el cual pusieron placas receptoras en zonas con cobertura y sin cobertura vegetal. Se determinó que las cinco estaciones evaluadas superan el nivel de referencia de la OMS, puesto que los valores encontrados oscilan entre 5,8 t/km<sup>2</sup>/mes y 11,84 t/km<sup>2</sup>/mes. Este estudio a su vez, reveló que en zonas sin cobertura vegetal la cantidad de PTSe es mayor debido a que el viento puede erosionar con mayor facilidad el terreno.

#### **b. Método Bergerhoff**

Este método consiste en recoger durante 30 días toda la precipitación atmosférica (seca y húmeda) en envases de boca ancha situados a 1.5 – 3 metros por encima del suelo; pasado el mes de exposición, la muestra es llevada al laboratorio para el análisis respectivo, filtrado, evaporación del agua, secado y pesado (Corleto y Cortez, 2012).

En su tesis de pre grado, Corleto y Cortez (2012) instalaron en el campus de su universidad cinco estaciones de monitoreo de PTSe utilizando el método de Bergerhoff. Durante cuatro

meses, dos en época seca y dos en época húmeda, se realizó el experimento encontrando que en la época seca los resultados varían entre 4,01 a 18,1 t/km<sup>2</sup>/mes y en época húmeda varían entre 12,24 y 20,14 t/km<sup>2</sup>/mes superando el nivel referencial de la OMS para PTSe.

Otro estudio realizado en el campus de la Universidad Nacional de San Marcos por Marcos et al. (2008), demostró que con el uso de este método se obtienen mayores concentraciones de material particulado que con la metodología de las placas receptoras debido a la mayor área de captación del Bergerhoff. Además, se encontró que 66,67 por ciento de las estaciones analizadas sobrepasaron el nivel referencial de la OMS para el primer mes de muestreo y en el segundo mes el 100 por ciento de las estaciones incumplieron con lo establecido.

Thöni, Krieg y Siewers (1999) utilizaron el método de Bergerhoff para determinar la concentración de 49 elementos en partículas sólidas sedimentables de los Alpes Suizos. Para la determinación de los PTSe, se usaron cinco colectores de Bergerhoff y mensualmente se hizo el secado del agua con el material particulado a 105 °C por dos horas. Los residuos remanentes, fueron pesados para determinar la cantidad de polvo recolectado. Luego, se realizó la digestión de las cenizas para poder hallar la concentración de los metales en la muestra y se encontró que este método puede ser aplicado para la determinación de varios metales entre ellos As, Al, Cd, Fe y Pb.

### **2.1.3 Niebla**

La niebla es una masa de aire compuesta por finas gotas de agua (1 a 40 micrones), que por su peso se encuentran suspendidas en el aire y son transportadas por el viento (Cereceda et al., 2014). La niebla se forma por la condensación del vapor de agua, este proceso implica la existencia de núcleos de condensación con una suficiente cantidad de vapor de agua y temperaturas descendientes. El descenso de temperatura de una masa de aire, puede darse cuando esta entra en contacto con masas de aire más frías o cuando la masa de aire asciende hacia estratos más fríos de la atmósfera. Asimismo, cuando una masa de aire caliente se desplaza cerca de una superficie que se encuentra más fría y en ella existen núcleos de condensación y suficiente vapor de agua, se produce la condensación que da lugar a la niebla (Vásquez et al., 2012).

En Perú la formación de niebla se debe a la presencia de anticiclones o centros de alta presión. Por ejemplo, el Anticiclón del Pacífico Sur que se encuentra frente a la costa

peruana, causa inversión térmica debido a que el aire desciende desde la alta atmósfera y se calienta por compresión (Cereceda et al., 2014). La inversión térmica que se genera en las zonas costeras por la intensificación de los vientos alisios, generados a su vez por el Anticiclón del Pacífico Sur, se le conoce como Inversión de los Alisios (Quispe y Chira, 2004).

A su vez, Capel (1999) menciona que la costa peruana está influenciada por la Corriente de Humboldt, la cual es responsable de las abundantes garúas provocadas por las densas nieblas y condensaciones del estrato de aire de poco espesor que hay sobre la corriente fría.

### **Clasificación de la niebla**

La niebla se puede clasificar de la siguiente manera de acuerdo a su génesis:

- **Nieblas de evaporación**

Como su nombre lo indica, se produce cuando se evapora agua en el aire frío. Esto puede ocurrir de dos maneras: la primera es cuando una corriente de aire frío y relativamente seco fluye o permanece en reposo sobre una superficie de agua de mayor temperatura; la segunda es cuando llueve y el agua que cae tiene mayor temperatura que el aire del entorno, razón por la cual las gotas de lluvia se evaporan y el aire tiende a saturarse (Vistin, 2014).

- **Nieblas por enfriamiento**

Se generan por la disminución de la capacidad del aire para retener vapor de agua cuando disminuye la temperatura. La relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene un volumen de aire y la que contendría si estuviese saturado, es denominado humedad relativa. Las nieblas que son producidas por este mecanismo se clasifican a su vez en nieblas de radiación, advección y orográficas dependiendo de su origen (Vistin, 2014).

- **Nieblas por radiación**

Este tipo de niebla se caracteriza por su formación sobre el suelo durante las noches en las que el cielo se encuentra despejado y el aire es húmedo a niveles bajos de la atmósfera (Franco, 1999). Los cielos despejados permiten que la radiación infrarroja escape al espacio, esto significa que el suelo pierde calor y por tanto la masa de aire que se encuentra cerca al suelo se enfría y si hay suficiente humedad se produce condensación, lo cual da origen a nieblas de escasa dimensión vertical (González, 2017).

- **Nieblas de advección**

De acuerdo con Cereceda et. al (2014), la niebla por advección se genera a partir de una nube estratocúmulo a cientos de kilómetros de la costa, la cual se desplaza por el viento desde el mar hacia el litoral y la cordillera de la Costa (advección). En ese momento, la nube es interceptada por las laderas y cerros, convirtiéndose en niebla a ras del suelo.

Se produce cuando el aire cálido y húmedo fluye de manera horizontal y se desliza sobre una superficie fría, su temperatura desciende hasta alcanzar una temperatura menor al punto de rocío inicial donde se da la formación de la niebla de advección (Franco, 1999).

- **Nieblas orográficas**

Se forman cuando una masa de aire a barlovento asciende por la ladera de una montaña, con el consiguiente enfriamiento adiabático. El aire que se eleva es estable y cuando alcanza el nivel de condensación se forma la niebla. Dicha niebla no baja al valle porque el viento descendente se calienta y se disipa (Vistin, 2014).

#### **2.1.4 Captación del agua de niebla**

La captura de niebla hoy en día tiene un rol muy importante como fuente de abastecimiento en muchas ciudades del mundo donde existen dificultades para acceder al agua potable de una red. La captación de este recurso se ha incrementado en los últimos años, siendo Chile, Perú, Ecuador, Hawái y Omán los países que han implementado una malla de captura de niebla para su consumo (Parada-Molina y Cervantes, 2017).

En Chile se han desarrollado varios proyectos de recolección de agua de niebla desde 1960, uno de los pioneros fue Carlos Espinosa, quién inventó un dispositivo que consistía en un cilindro de 0.7 m de diámetro en el cual estaban dispuestos 1300 monofilamentos de perlón de 0.5 mm de diámetro y 2 m de longitud. Para la recolección del agua atrapada en los monofilamentos se contaba con un embudo metálico al final del sistema. El equipo se mantuvo en funcionamiento por dos años y el agua captada por día varió entre 1.5 l a 15 l, siendo su promedio 3.9 l (Armendáriz, 2013).

En el Parque Nacional Podocarpus en Ecuador, Beiderwieden, Wrzesinsky y Klemm (2005) realizaron un estudio de caracterización química de la niebla recogida en los meses de noviembre a febrero. Se recolectó muestras de niebla usando un colector de niebla pasivo

que consistía en un cilindro de 945 cm<sup>2</sup> de área efectiva, en el cuál las gotas de niebla impactaban sobre la superficie de teflón y se combinaban para formar gotas más grandes que escurrían hasta una botella de polietileno de 500 ml. Con este método, la captación de la niebla simulaba la deposición natural sobre una superficie y permitió la recolección de la muestra una vez por semana.

De acuerdo con Mendoza y Castañeda (2014), en Colombia se han desarrollado varios proyectos de captación de niebla. Uno de ellos realizado en Buga, valle del Cauca, permitió el mantenimiento de una huerta y la producción de gallinas beneficiando a la comunidad. El agua se obtuvo mediante el uso de neblinómetros.

Los neblinómetros son uno de los instrumentos de bajo costo que permiten la colección de niebla y el cálculo de la cantidad de agua que es posible obtener en un lugar. El modelo más utilizado es el neblinómetro estándar o SFC (Standard Fog Collector) cuyas dimensiones son: marco de doble malla Raschel de 35 por ciento de sombra, de 1 m<sup>2</sup> ubicado a partir de 2 metros del suelo. Este modelo permite conocer la cantidad de agua susceptible de colectarse por metro cuadrado de malla y a su vez el número de instrumentos necesarios para abastecer a una población determinada (Cereceda et al, 2014).

### **2.1.5 Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua**

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (2017), el ECA es un instrumento de gestión ambiental donde se estipula los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente. El ECA para agua evalúa 104 parámetros, en 4 categorías y 10 subcategorías entre los que se encuentra la subcategoría de interés del presente trabajo (1-A1), Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. En el anexo 7 se muestran los parámetros inorgánicos y fisicoquímicos evaluados en la normativa en mención.

### **2.1.6 Calidad del agua de niebla**

García (2017) evaluó la calidad del agua de niebla de las Lomas de Villa María del Triunfo en la época húmeda del 2015. Para ello, tomó una muestra de agua de niebla por mes en siete puntos de la zona durante los meses de agosto a octubre. Posteriormente, se analizaron las muestras en un laboratorio y se determinó su composición química. Los resultados obtenidos demostraron que existía contaminación en el agua de niebla y que, según los Estándares de

Calidad Ambiental de Agua, en las Lomas de Villa María del triunfo existe contaminación por arsénico, aluminio, hierro, plomo y nitrito.

De acuerdo con un estudio realizado en las Lomas de Ventanilla por Chávez y Fernández (2016), se evaluó la calidad del agua de niebla considerando los valores de referencia nacionales establecidos por el Ministerio del Ambiente (ECA-agua) en la categoría A1 – aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que pueden ser potabilizadas con desinfección y los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se concluyó que Hierro, Manganeseo y Cadmio presentaban valores muy por encima de lo que está estipulado. Por tanto, el consumo del agua proveniente de la niebla de Ventanilla representa un riesgo significativo para la salud de las personas.

Por otro lado, Vásquez et al. (2012) realizaron el análisis de la composición química del agua de lluvia y niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde en Costa Rica. El proyecto fue llevado a cabo durante octubre, noviembre y diciembre del 2009 y enero del 2010. Se recolectaron 33 muestras, de las cuales se obtuvo que el agua contenía altos niveles de sales de calcio, esto se debe a la influencia del mar sobre la composición de la niebla en Costa Rica. Asimismo, existen otros contaminantes que pueden estar presentes en las muestras recogidas por acción del material particulado transportado por el viento durante la recolección de las muestras.

En su tesis de pregrado, Armendáriz (2013) realizó la evaluación de la calidad del agua de niebla mediante un análisis de las muestras por métodos gravimétricos en laboratorio y con un electrodo se determinó el pH de la misma. Se encontró que, los metales presentes en la niebla no superaban los límites permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

## **2.2 Fuentes de contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica por partículas sólidas tiene dos orígenes, uno es por procesos naturales como la erosión de superficies por acción del viento, volcanes que emanan gases e incendios forestales por las temperaturas altas que ocurren en ciertas zonas secas del mundo. Pero la contaminación por partículas sólidas es generada principalmente por acción del hombre en los procesos industriales de combustión de combustibles, carbón, gasolina, etc. Asimismo, existen procesos productivos que emiten gases nocivos que no han realizado una combustión completa.

A continuación, se mostrará la clasificación de las fuentes de contaminación atmosférica.

### **2.2.1 Fuentes fijas**

Este tipo de fuentes se caracterizan porque están situadas en un lugar determinado e inamovible, incluso cuando la emisión de los contaminantes se produce de manera dispersa (Gaitán y Cárdenas, 2017). A su vez, estas fuentes pueden ser:

- **Puntuales:** aquella instalación en un lugar determinado, que tiene como fin desarrollar procesos industriales o actividades que emiten contaminantes significativos a la atmósfera. Por ejemplo, las fundiciones primarias, refinerías, industrias de alimentos y otros (DIGESA, 2005).
- **Área:** es el conjunto de establecimientos o lugares donde se desarrollan actividades que individualmente emiten cantidades pequeñas de contaminantes, pero que de forma conjunta representan un aporte significativo de contaminantes a la atmósfera. Aquí se pueden clasificar a los establecimientos comerciales y de servicios, como las panaderías, talleres de carpintería, grifos y otros (DIGESA, 2005).

### **2.2.2 Naturales**

Son las emisiones generadas por procesos biológicos (bióticos y abióticos) sin intervención humana. Por ejemplo, la actividad de un volcán, el océano, el material particulado erosionado por el viento, entre otros.

### **2.2.3 Fuentes móviles**

En este tipo de fuentes se encuentran los automóviles o vehículos de transporte que por su uso se ven en la obligación de desplazarse. Por lo tanto, los automóviles, camiones, trenes, barcos, aviones y otros pertenecen a esta clasificación (Gaitán y Cárdenas, 2017).

### **2.2.4 Identificación de fuentes de contaminación**

En un estudio realizado por Vásquez et al. (2012) afirman que, el agua atmosférica juega un papel importante en la remoción de componentes solubles presentes en el medio y que conocer la composición de la misma, ayuda a entender la contribución de los contaminantes emitidos por las diversas fuentes naturales y antropogénicas a la atmósfera. Por ejemplo, se encontró un alto contenido de  $\text{Ca}^{+2}$  cuyo origen, aparte de ser el mar, era el polvo del suelo.

Asimismo, se encontró que el  $K^+$  presente en el agua de niebla tenía dos orígenes, uno en la corteza terrestre que al ser erosionada y arrastrada por el viento generaba una mezcla del material particulado con el agua atmosférica; y el segundo origen era por la quema de biomasa cerca de la zona de estudio.

Ávila (1999), menciona que las masas de aire absorben contaminantes cuando se desplazan en la atmósfera y esto afecta en gran medida el contenido de gases solubles y de partículas en el agua de niebla. Los gases y partículas se estabilizan mediante transformaciones químicas y físicas, antes de depositarse sobre una superficie. Se identificaron fuentes de contaminación cuyo material particulado contenía una rica composición mineralógica que aportaba al contenido de  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y P en las lluvias que se producían en dichos lugares.

García (2017) identifica como principales fuentes de contaminación del agua de niebla, en las Lomas de Villa María, a la fábrica de cemento de la compañía UNACEM, el arrastre de partículas del suelo, la contaminación atmosférica de Lima Metropolitana y la granja porcina ubicada al oeste de las Lomas de Villa María. Las mismas que en sus actividades emiten metales como arsénico, aluminio, hierro, plomo, entre otras.

En estudios realizados por Garrido y Camargo (2012), se expone que, en las principales urbes de América Latina como en San Salvador, Santiago de Chile, Quito, Medellín y Bogotá, el parque automotor es el responsable de las elevadas concentraciones de material particulado. En estas ciudades el incremento de transporte y, en especial, el uso de buses antiguos, contribuyen a la emisión de material particulado.

Economopoulos (2002) elaboró una lista de fuentes y procesos industriales responsables de la contaminación ambiental, en esta lista incluye el número de la Clasificación Internacional Industrial Uniforme de todas las Actividades Económicas (CIIU) e indica el impacto que causan dichas actividades con respecto a las emisiones de PTSe. Por ejemplo, la quema al aire libre de residuos municipales domésticos (CIIU 920) genera aproximadamente 8 Kg de PTSe por tonelada quemada, si a estos residuos se les añade componentes de vehículos como neumáticos, baterías, mangueras y motores las emisiones de PTSe por tonelada quemada de residuos aumenta a 50 Kg. Además, la quema de maleza o de residuos forestales (CIIU 111) también genera PTSe, por cada tonelada de material agrícola que se quema al aire libre se emite 11 Kg de PTSe.

De manera similar, la extracción de piedra, arcilla y arena (CIU 2901) no controlado puede llegar a generar alrededor de 0,4 Kg de PTSe por tonelada extraída, se añade que la descarga del material al camión genera 0,17 Kg de PTSe por tonelada descargada y el transporte del material genera 1,7 Kg de PTSe por tonelada transportada. En las actividades de transporte se menciona que los vehículos ligeros con motor de gasolina pueden emitir al menos 0,07 Kg de PTSe por cada 1000 km recorridos y los vehículos ligeros con motor diésel generan 0,2 Kg de PTSe por cada 1000 km recorridos. A su vez, los camiones pesados con motor diésel mayor a 16 t generan 1,6 Kg de PTSe por cada 1000 km de distancia.

Por consiguiente, las principales fuentes de contaminación se encuentran en zonas urbanas e industriales; sin embargo, los vehículos constituyen una de las fuentes mayoritarias. Por otra parte, cabe resaltar que existen procesos erosivos que dan origen a polvos finos e incluso también la cocción de alimentos genera material particulado que influye sobre las condiciones de calidad del aire y a su vez sobre la calidad del agua de niebla.

### **2.3 Lomas Costeras**

Son ecosistemas frágiles, oasis de neblina de alta diversidad florística en medio de un entorno árido, formadas por las precipitaciones de las nieblas invernales del Océano Pacífico. Son ecosistemas únicos y complejos que entrelazan relaciones biológicas y antrópicas, una fuente de herencia natural y cultural para las civilizaciones de Lima; sin embargo, debido a los asentamientos cada vez más frecuentes en su territorio, se está poniendo en riesgo su biodiversidad y su existencia (Nieuwland y Mamani, 2016).

La presencia de la niebla ha permitido a lo largo de los años, la existencia de las Lomas, ecosistemas que albergan una gran diversidad biológica de flora y fauna, que han servido de alimento y desarrollo a grandes civilizaciones. En el Perú, existe escasez de agua en las zonas de la costa, la única fuente de agua que permite la biodiversidad de las Lomas es la niebla. No se cuenta con evidencias de otras fuentes de agua dado que en la costa las precipitaciones son menores a 40 mm anuales y la distancia promedio a fuentes de producción de agua de lluvia está a más de 50 km (Talavera, 2015).

Cabe resaltar que, dentro del rol biológico del agua de niebla en las Lomas, existen dos aspectos importantes según Talavera (2015). El primero es que existe una dinámica entre la vegetación y ciclo hidrológico en las Lomas, ya que la vegetación captura y almacena el agua de la niebla, pero a su vez, extrae agua del subsuelo por medio de su sistema radicular,

lo transporta y luego lo disipa a la atmósfera por transpiración. El segundo aspecto consiste en que la vegetación arbórea, además de proporcionar agua, aporta sombra, refugio y fuentes de alimentación para la demás diversidad biológica presente en las Lomas.

### **2.3.1 Lomas de Asia**

Las Lomas de Asia ubicadas en el distrito de Asia, provincia Cañete, departamento Lima; pertenecen a la comunidad campesina de Asia y tienen una extensión de 10053,13 ha. En el 2010, surge un proyecto de ecoturismo en las lomas de Asia llamado “Proyecto Lomas de Asia”. No obstante, en dicho proyecto se propuso trabajar con un área aproximada de 802,65 ha, esta área limita al norte con las Lomas de la Comunidad Campesina de Coayllo, al este con predios de la misma comunidad, al sur con las Lomas del distrito de Quilmaná y Cerro Azul, y al oeste con los predios de Sarapampa de la Comunidad Campesina de Asia.

De acuerdo con Reyna (2017), las Lomas de Asia son un potencial de recursos no metálicos, entre los que destacan los depósitos de construcción (grava, arena y piedra) que se encuentran en las colinas y partes planas. Además, en las Lomas se han identificado zonas de acumulación eólica activa, es decir, terrenos donde existe una fuerte acumulación de arena que ha sido transportada por el viento. Por otro lado, el agua disponible en las Lomas proviene de las lluvias estacionales y de los kilómetros de atrapa nieblas que captan agua y almacenan en tanques.

Para cubrir las necesidades hídricas, los guarda lomas instalaron dos kilómetros de redes atrapa nieblas en la parte más alta de las Lomas, el agua captada es conducida a través de canaletas a reservorios de 25 litros. En los meses de invierno se ha llegado a capturar hasta 10 litros por metro cuadrado en un día, esta agua se usa para regar la vegetación, llenar los bebederos para aves y mamíferos, y la limpieza de los servicios higiénicos en las Lomas (Reyna, 2017).

En las Lomas las condiciones climáticas han permitido que una cantidad significativa de flora y fauna habite en armonía en el área. Dentro de la flora se destaca la abundancia de líquenes, musgos y hongos en las Lomas, también de suculentas, tillandsias, cactáceas, árboles, arbustos, orquídeas y herbáceas. En cuanto a la fauna existen 48 especies de aves, 4 especies de mamíferos, 3 especies de reptiles y más de 15 artrópodos registrados en las Lomas.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

El área de estudio se centra en el conjunto de lomas costeras llamadas Lomas de Asia, ubicadas en el distrito de Asia, provincia Cañete, departamento Lima. La entrada a las Lomas se ubica geográficamente en las coordenadas 8585911 N y 339495 E y se encuentran a una altitud de 282 m.s.n.m en propiedad de la Comunidad Campesina de Asia. Esta zona fue declarada de interés público y de prioridad regional de acuerdo con la Ordenanza Regional N° 029-2015-CR-RL, así como las rutas ecoturísticas promovidas en dicho ecosistema.

El área del estudio se delimitó de acuerdo con las rutas ecoturísticas ya establecidas por la Comunidad Campesina de Asia en el denominado “Proyecto Lomas de Asia”. En una primera visita, se hizo un recorrido por el ecosistema para determinar las rutas de acceso y la posible ubicación de las estructuras para el monitoreo pasivo. Posteriormente, en otra visita, se realizó la instalación de seis estructuras de madera distribuidas por el área de estudio y se colocaron los elementos para el monitoreo, esto incluía la placa de vidrio con la vaselina y la jarra con agua destilada para la captura de PTSe. Además, se usó un GPS para registrar las coordenadas UTM en el *datum* WGS84 de las estaciones de monitoreo pasivo y las rutas de caminata. En la tabla 1 se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de PTSe.

**Tabla 1: Ubicación estaciones**

Estación	Código	Coordenadas*	
		Este	Norte
1	E1	339573	8585880
2	E2	340190	8586677
3	E3	340351	8586931
4	E4	340596	8586849
5	E5	340319	8587241
6	E6	340850	8587298

\*Sistema UTM / Datum WGS84, Zona 18 sur, en metros

FUENTE: Elaboración propia

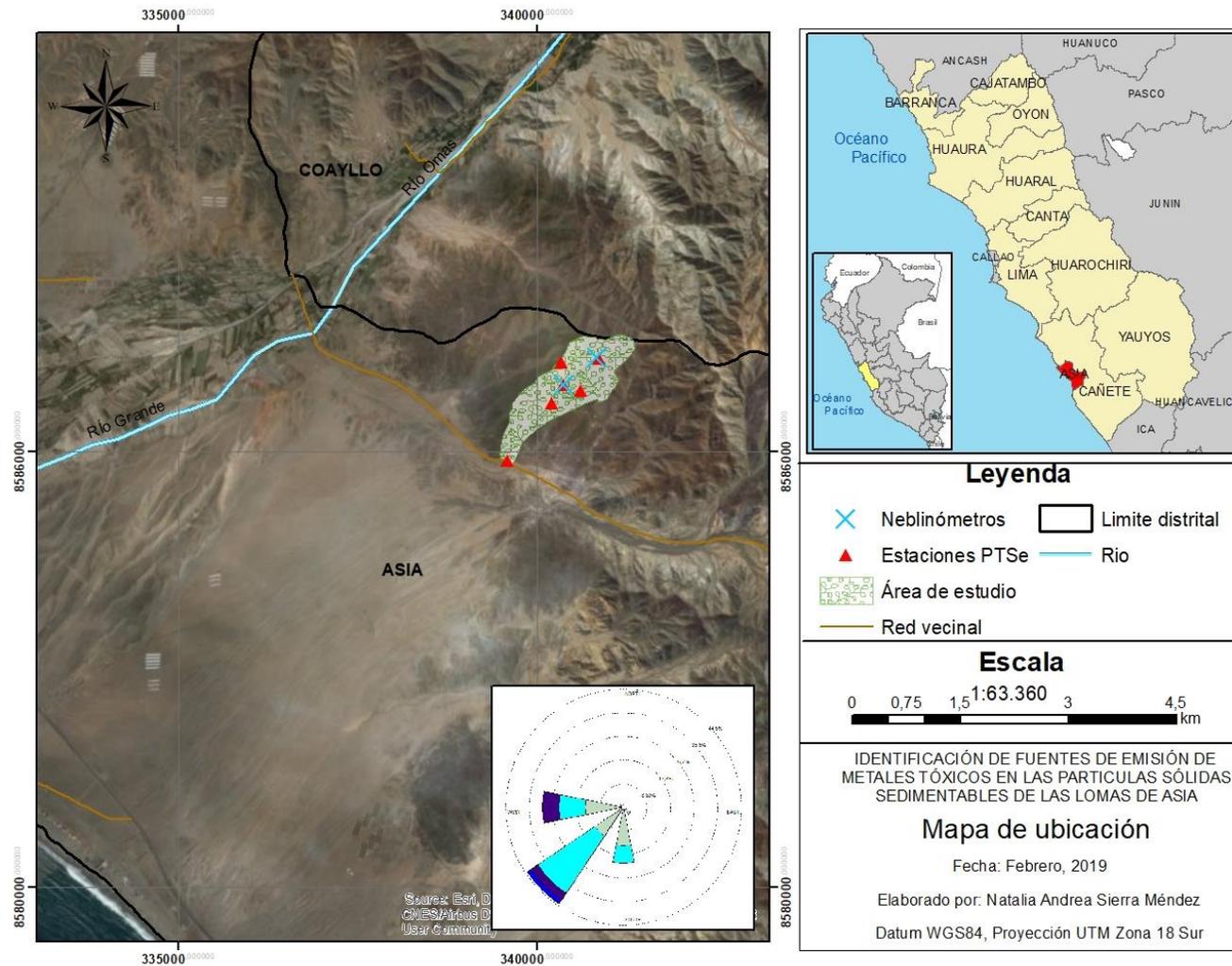
Para la ubicación de las estaciones de monitoreo se tuvo en cuenta la cercanía a las rutas ya existentes, la ubicación cerca a algún límite de las lomas o fuente de contaminación y a los neblinómetros ya instalados por la consultora SUMPA. En la tabla 2 se muestran las coordenadas de los neblinómetros y en la figura 1 se presenta el área de estudio.

**Tabla 2: Ubicación de los neblinómetros de SUMPA**

Neblinómetro	Altura m.s.n.m	Coordenadas*	
		Este	Norte
ASI-03	580	340824	8587300
ASI-04	440	340367	8586931

\*Sistema UTM / Datum WGS84, Zona sur 18L

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio**

FUENTE: Elaboración propia

## 3.2 Materiales y equipos

### 3.2.1 Materiales

- 12 l de agua destilada
- 14 botellas plásticas de Polietileno de 500 mL con tapa y contratapa
- Un *cooler*
- 12 jarras de boca ancha
- 12 placas de vidrio de 10x10 cm
- 6 espantapájaros
- 6 estructuras de madera para soporte de jarras y placas
- 6 vasos precipitados
- 24 placas de Petri de vidrio
- Cinta film para sellar placas de Petri
- Vaselina
- Espátula
- Caja para transportar muestras
- Dos *Sharpie* negros de punta fina.
- Dos rollos de cinta de embalaje
- Una caja de papel *Tissue*
- Dos tijeras
- Un par de pilas AA
- Una libreta de Campo
- Etiquetas para botellas de monitoreo
- Tres copias de cadenas de custodia para monitoreo
- Mapa con las estaciones de monitoreo

### 3.2.2 Equipos

- Neblinómetros CAAN
- Equipo multiparámetro ODEON® OPEN X
- Turbidímetro – AP2000
- Balanza analítica electrónica Sartorius
- Plancha eléctrica Robax

- Estufa memert
- Cámara fotográfica
- GPS Garmin 64s
- Laptop
- Microsoft Office 2016
- Software Arcgis
- Google Earth
- IBM SPSS Statistic 19

### 3.3 Metodología

A continuación, se describen las actividades que se realizaron para el cumplimiento de los objetivos de la presente tesis.

#### 3.3.1 Trabajo previo a campo

##### a. Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica se realizó en artículos científicos, trabajos de investigación y documentos relacionados con la metodología a utilizar para el cumplimiento de los objetivos del trabajo. Esto incluyó literatura sobre metales tóxicos, calidad del agua de niebla, análisis químicos de agua de niebla, análisis químicos de sedimentos, fuentes de contaminación, entre otros.

##### b. Determinación de frecuencia de monitoreo y periodos de muestreo.

La determinación de las fechas en las que se realizó la visita a las Lomas para la toma de muestras de PTSe y agua de niebla, fue coordinada previamente con el director del Proyecto de Lomas de Asia. Se acordó que aproximadamente cada 15 días se realizaría el muestreo y los periodos de muestreo fueron establecidos de la siguiente manera:

**Tabla 3: Periodos de muestreo de PTSe y agua de niebla**

Muestreo	Fecha	
	Inicio	Final
Primero	8-oct-18	21-oct-18
Segundo	21-oct-18	4-nov-18
Tercero	4-nov-18	18-nov-18
Cuarto	18-nov-18	1-dic-18

FUENTE: Elaboración propia

### **c. Preparación material de campo**

Antes de las salidas de campo, se realizó el pesado inicial de las placas de vidrio; para ello fue necesario hacer una limpieza previa a las placas con agua destilada y un papel tissue, luego se prosiguió a poner una película uniforme de vaselina para cubrir toda la placa. Después, se etiquetaron las placas y con ayuda de una balanza analítica se les tomó el peso inicial ( $W_i$ ). La vaselina es el elemento sensible del método que va a permitir la adherencia de los contaminantes sobre las placas de vidrio. Por tanto, se tiene que:

$$W_i = W_{\text{placa}} + W_{\text{vaselina}}$$

Donde:

$W_i$ : Peso inicial de la placa

$W_{\text{placa}}$ : Peso de la placa de vidrio

$W_{\text{vaselina}}$ : Peso de la película de vaselina

También, se realizó el lavado con agua destilada de las jarras de plástico que serían usadas en método Bergerhoff para el siguiente periodo de muestreo y se alistaron los materiales requeridos para el método en campo. Por ejemplo, las tapas de las jarras que ya estaban expuestas en las Lomas, 3 litros de agua destilada para añadirlas en los envases que serían dejados en campo y 6 botellas de polietileno con tapa y contratapa para transvasar el agua de las jarras y transportarlas de manera segura al laboratorio.

### **3.3.2 Trabajo en campo**

#### **a. Instalación de estructuras de madera en campo**

Previamente se mandaron a fabricar seis estructuras de madera que sirvieran de soporte para las jarras del método Bergerhoff y las placas de vidrio. Luego, estas fueron llevadas a campo y se instalaron teniendo en cuenta que estuvieran a una altura mayor a 1.5 m y menor a 3 m, además de estar distribuidas en puntos específicos y representativos del área de estudio. En la siguiente figura se muestra una estación ya instalada y recogiendo datos en campo.



**Figura 2: Estación de monitoreo de PTSe**

FUENTE: Elaboración propia

**b. Toma muestras PTSe**

Los métodos usados para la cuantificación de las PTSe se dejaron expuestos por 15 días para que recogieran la precipitación atmosférica (húmeda y seca) en los colectores; los cuales, pasado el tiempo de exposición fueron recogidos con mucho cuidado evitando la contaminación y sellados correctamente para su transporte hacia el laboratorio de la Universidad Agraria La Molina (UNALM) donde se analizaron. Además, se llevaron jarras y vidrios limpios para reemplazar los retirados en campo.



**Figura 3: Toma de muestra de PTSe**

FUENTE: Elaboración propia

### **c. Toma de muestras de agua de niebla**

La toma de muestra de agua de niebla se realizó al mismo tiempo que la toma de muestras de PTSe. La niebla recolectada por los neblinómetros CAAN, de la consultora SUMPA, fue recogida en frascos plásticos de polietileno de 500 mL con tapa y contratapa. Se sellaron, etiquetaron y fueron llevados a las oficinas de SUMPA para posteriormente ser enviados a un laboratorio acreditado ante el INACAL para su análisis.



**Figura 4: Toma de muestra de agua de niebla**

FUENTE: Elaboración propia

### **d. Fuentes de contaminación**

Para la identificación de fuentes de contaminación atmosférica en las Lomas, se procedió en primer lugar a delimitar la zona que sería estudiada. Esta área se definió con base en los problemas de contaminación atmosférica y los caminos ya preexistentes en las Lomas. Posteriormente, en los anexos Rosario de Asia, Capilla de Asia, Palma Alta y Sarapampa se registraron las fuentes de contaminación agrupándolas como fuentes puntuales, fijas y móviles. Se realizó una evaluación rápida, que se basa en experiencias previas y permite de una manera efectiva la evaluación de fuentes de contaminación en un tiempo corto y con pocos recursos (Economopoulos, 2002).

A su vez, se usó la lista de actividades incluidas en el inventario de aire y modelos de control, clasificados con el sistema CIU de las Naciones Unidas para la verificación e identificación de las principales actividades en el área de estudio. También, con ayuda del

*software* Google Earth Pro se identificaron algunas fuentes de contaminación. Con el inventario se buscó evaluar las fuentes más grandes que tienen un mayor impacto sobre las Lomas.

### 3.3.3 Trabajo en gabinete

#### a. Análisis PTSe

##### Placas receptoras

A continuación, se enumeran los pasos que se siguieron para el análisis de las muestras obtenidas por el Método de Placas Receptoras.

- i. Retirar los insectos que quedaron adheridos a la película de vaselina.
- ii. Pesar la placa de vidrio en la Balanza Analítica Digital.
- iii. Calcular el peso de los PTSe mediante la siguiente fórmula:

$$W_{\text{final}} = W_{\text{placa}} + W_{\text{PTSe}}$$

$$W_{\text{final}} - W_{\text{placa}} = \Delta W = W_{\text{PTSe}}$$

- iv. Calcular la cantidad de PTSe, mediante la ecuación:

$$C = \frac{\Delta W \times 30 \times 10^4}{A \times d}$$

Donde:

W = Peso en gramos (g)

$\Delta W$  = Diferencia de pesos en gramos (g)

WPTSe = Peso de las Partículas Sólidas Sedimentables (g)

C = Cantidad PTSe (t/km<sup>2</sup>/mes)

A = Área de la placa = L•L (cm<sup>2</sup>)

d= Días de exposición

##### Método de Bergerhoff

A continuación, se enumeran los pasos que se siguieron para el análisis de las muestras obtenidas por el Método de Bergerhoff.

- i. Preparar las placas de Petri, lavándolas cuidadosamente con detergente, enjuagándola con agua destilada, dejando durante media hora en la estufa a 105°C y luego enfriarla en el desecador por 15 minutos, retirar del desecador, etiquetar, pesar en balanza analítica y anotar el peso.
- ii. Transferir el líquido recolectado a un vaso precipitado de 500 mL previamente lavado con agua destilada.
- iii. Retirar los insectos o material grueso que interfiera con el análisis.
- iv. Lavar las jarras que contenían el agua, raspando los bordes con ayuda de una espátula y agua destilada para liberar cualquier partícula adherida a las paredes del recipiente.
- v. Poner los vasos precipitados en una plancha eléctrica para evaporar el agua hasta un volumen de 10 mL aproximadamente.
- vi. Transferir los 10 mL de líquido concentrado desde el vaso precipitado a la placa de Petri.
- vii. Colocar la placa Petri con el residuo a la estufa a 105°C por dos horas.
- viii. Enfriar en el desecador por 20 minutos.
- ix. Retirar la placa del desecador con ayuda de una pinza metálica y pesar la placa en la balanza analítica.
- x. Calcular el peso de los PTSe mediante la siguiente fórmula:

$$W_{\text{final}} = W_{\text{placa}} + W_{\text{PTSe}}$$

$$W_{\text{final}} - W_{\text{placa}} = \Delta W = W_{\text{PTSe}}$$

- xi. Calcular la cantidad de PTSe, mediante la ecuación:

$$C = \frac{\Delta W \times 30 \times 10^4}{A \times d}$$

Donde:

W = Peso en gramos (g)

$\Delta W$  = Diferencia de pesos en gramos (g)

WPTSe = Peso de las Partículas Sólidas Sedimentables (g)

C = Cantidad PTSe (t/km<sup>2</sup>/mes)

A = Área de la jarra =  $\pi \cdot r^2$  (cm<sup>2</sup>)

d= Días de exposición

- xii. Sellar las placas de Petri con la cinta film.
- xiii. Guardar las placas de Petri para su transporte al laboratorio donde será analizada su composición química.

#### **b. Medición de parámetros en el agua de niebla**

Se hizo uso del Multiparámetro y Turbidímetro de SUMP A en las instalaciones de su oficina, con estos equipos se midieron los parámetros físicos de pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos totales y turbidez. Una vez finalizada la medición, las muestras fueron almacenadas a baja temperatura hasta su transporte al laboratorio acreditado ante el INACAL para su análisis químico.



**Figura 5: Medición oxígeno disuelto, pH, Redox.**

FUENTE: Elaboración propia

#### **c. Cálculo de variables meteorológicas**

Durante el trabajo en campo se llevó un control de la predominancia del viento en el área de estudio con ayuda de la herramienta Windy ([www.windy.com](http://www.windy.com)).

#### **d. Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos fueron contrastados mediante la comparación con un método de referencia, para el caso de las PTSe recolectadas se realizó la prueba t-student con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre el método de placas receptoras y el método de Bergerhoff. Asimismo, para los metales tóxicos determinados en las PTSe y agua de

niebla se realizaron correlaciones de Pearson para cada grupo; de modo que, si presentan una alta correlación positiva, dichos metales provienen de una misma fuente.

### **Prueba t – student**

Esta prueba paramétrica de comparación de muestras, permite comparar dos grupos de medias aritméticas para determinar que la diferencia de resultados entre los dos métodos no se deba al azar, es decir que la diferencia sea estadísticamente significativa. En el anexo 11 se muestran los pasos para realizar esta prueba.

### **Coefficiente de correlación de Pearson**

Los datos obtenidos fueron ordenados y procesados en Excel para ser utilizados por el programa de IBM SPSS Statistics 19, y mediante este determinar el coeficiente de correlación de Pearson. Esta relación lineal se usará para identificar si la composición química de las muestras procede de una misma fuente.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Diagnóstico ambiental de las Lomas de Asia

Como se mencionó en el capítulo 4, la ubicación de las estaciones de monitoreo pasivo fueron determinadas por su cercanía a los límites de las Lomas, la facilidad de acceso y las rutas ya existentes. A continuación, se detallará la ubicación de estos puntos.

La estación “E1” se encuentra ubicada en el límite entre la trocha carrozable para ingresar a las Lomas y el estacionamiento, a 80 metros aproximadamente de la entrada vehicular y a una altura de 223 m.s.n.m.



**Figura 6: Estación de monitoreo de PTSe “E1”**

La estación “E2” se encuentra en el área de la cocina, comedor y zona de campamento donde eventualmente algunos vehículos pueden estacionar. La altura en este punto es de 374 m.s.n.m.



**Figura 7: Estación de monitoreo de PTSe “E2”**

La estación “E3” se encuentra en el camino “Apu cerro macho” a una altura de 431 m.s.n.m. y a 10 metros lineales, aproximadamente, del neblinómetro ASI-04 de la empresa SUMPA.



**Figura 8: Estación de monitoreo de PTSe “E3”**

La estación “E4” se encuentra ubicado en el campamento “3 estrellas” a 473 m.s.n.m. y colinda con el límite Sureste de las Lomas.



**Figura 9: Estación de monitoreo de PTSe “E4”**

Por su parte, la estación “E5” se encuentra ubicada al Nor-oeste de las Lomas, a 557 m.s.n.m. limitando con las lomas de la Comunidad de Coayllo.



**Figura 10: Estación de monitoreo de PTSe “E5”**

Finalmente, la estación “E6” se encuentra ubicada a 606 m.s.n.m. a 20 metros lineales del Neblinómetro ASI-03 de SUMPA.



**Figura 11: Estación de monitoreo de PTSe “E6”**

Los neblinómetros ASI-03 y ASI-04 fueron instalados mirando al Sur-oeste, ya que se conocía la dirección predominante del viento. Estos estaban distanciados a 140 metros altitudinales y se encontraban a 580 y 440 m.s.n.m respectivamente.



**Figura 12: Neblinómetro ASI-03 instalado por SUMP**

Durante el trabajo en campo, se observó que en los alrededores de las estaciones de monitoreo de PTSe y neblinómetros existe una gran diversidad de flora y fauna. En el caso concreto de la vegetación se identificó que la cantidad de especies se redujo conforme fue pasando las semanas de monitoreo debido a que la humedad también disminuyó. A su vez, es importante analizar la presencia de estas especies en el ecosistema debido a que la presencia de metales tóxicos en el ambiente podría tener un impacto negativo sobre la diversidad de fauna y flora en las Lomas.

Algunas especies vegetales como el musgo acolchonado y la *Fuertisimalva limensis* (Malva) son captadoras de agua atmosférica en la zona de estudio. La función del musgo es mantener la humedad de los tallos del árbol en el que habitan y de otras plantas epifitas. La Malva se caracteriza por ser una especie que permite rehidratar los suelos, sus flores cumplen la función de atraer insectos polinizadores, y sus semillas de alimento de la fauna silvestre (Reyna, 2017).



**Figura 13: Musgo acolchonado encontrado en una rama de *Caesalpinia spinosa* (Tara)**



**Figura 14: Planta captadora de agua de niebla, *Fuertesimalva limensis* (Malva)**

A otras especies vegetales identificadas en la zona de estudio se les atribuyen propiedades medicinales como la *Salvia paposana*, la cual es usada por los pobladores en los casos de bronquitis, rinitis o en las mujeres durante desbalances hormonales. Las plantas en general, tienden a acumular y ser superficies en las que el material particulado del aire se deposita, el polvo impide la fotosíntesis y por ende los procesos fundamentales en los que la planta adquiere los nutrientes y energía necesaria para vivir.



**Figura 15: Especie medicinal *Salvia paposana* (Salvia)**

Así mismo, en las Lomas se identificaron varias especies de aves y mamíferos entre los que se destaca al aguilucho variable y a la vizcacha. El aguilucho se alimenta de serpientes, ratones y vizcachas, la presencia de esta ave en las Lomas indicaría buenas condiciones (Reyna, 2017). Por su parte, la vizcacha se alimenta de hierbas, raíces y líquenes. Sin

embargo, la presencia de metales tóxicos en el ambiente de las Lomas podría afectar la salud de estas especies; además, si los alimentos que consume la vizcacha, como las plantas, no encontraran un ambiente ideal para desarrollarse, este animal tendría que migrar y a su vez obligaría al aguilucho a migrar también.



**Figura 16: *Geranoaetus polysoma* (Aguilucho variable)**

## 4.2 Partículas sólidas Sedimentables (PTSe)

A continuación, se exponen los resultados para PTSe por los métodos pasivos de placas receptoras y Bergerhoff.

### 4.2.1 Método de placas receptoras

En las siguientes tablas se presentan los valores de PTSe obtenidos para los cuatro muestreos.

**Tabla 4: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, primer muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	Observaciones
1	E1A	68,3461	68,3364	-	
2	E2A	68,5872	68,5136	-	
3	E3A	68,1809	68,1462	-	Placas húmedas
4	E4A	68,4253	68,4170	-	
5	E5A	72,2230	72,1910	-	
6	E6A	72,3915	72,3469	-	

FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 4 se observa que el peso final es menor al peso inicial en las seis estaciones; esto se debe a que, para el periodo de exposición la niebla era densa y las gotas de agua se condensaban fácilmente sobre la placa de vidrio generando un efecto de lavado de la muestra de PTSe. A su vez, se observan sobre la placa insectos que se quedaron adheridos al elemento sensible de la placa y que, al ser retirados, se llevan consigo parte del elemento sensible del método. En la figura 17 se muestra las gotas de agua sobre la superficie del vidrio en campo.



**Figura 17: Condensación de agua sobre las placas receptoras**

**Tabla 5: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, segundo muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Observaciones
1	E1B	68,5744	68,5786	0,0042	0,9	
2	E2B	72,6373	72,6213	-	-	Placa húmeda
3	E3B	72,3962	72,4099	0,0137	2,9357	
4	E4B	72,4638	72,4658	0,0020	0,4286	
5	E5B	72,4106	72,4245	0,0139	2,9786	
6	E6B	71,5844	71,6055	0,0211	4,5214	

FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 5 se observa que, para cinco estaciones el peso final de la placa es mayor que el inicial y por lo tanto es posible calcular la cantidad de PTSe (en el anexo 8 se muestra el procedimiento paso a paso para el cálculo de las PTSe). Se evidencia que las cinco estaciones se encuentran por debajo del límite permisible establecido por la OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes). Sin embargo, una estación presenta peso negativo pues su peso final se vio afectado por el efecto de “lavado” que genera la condensación de agua sobre las PTSe y el retiro de los insectos.

**Tabla 6: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, tercer muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Observaciones
1	E1C	68,8669	68,8533	-	-	Alas de insecto encontradas
2	E2C	69,0044	69,0110	0,0066	1,4143	
3	E3C	68,9059	68,9067	0,0008	0,1714	
4	E4C	68,9048	68,9078	0,0030	0,6429	
5	E5C	73,1103	73,1124	0,0021	0,4500	
6	E6C	73,0641	73,0616	-	-	Placa húmeda

FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 6 se muestra que para cuatro estaciones fue posible determinar la cantidad de PTSe y los valores encontrados no superan el límite permisible establecido por la OMS. Sin embargo, para dos estaciones la diferencia de peso es negativa; en la estación 1 la pérdida de peso se debe a la presencia de un insecto que cayó a la placa receptora y en su intento de despegarse de la vaselina se arrastró por la placa y se llevó parte del elemento sensible consigo como se aprecia en la figura 18. Al respecto, Ramos (2017) menciona que para evitar que los insectos se adhieran al elemento sensible, se debe instalar una malla sobre cada placa. En la última estación el peso negativo se debe al efecto de lavado que genera la condensación del agua sobre la muestra de PTSe.



**Figura 18: Alas de insecto sobre placa receptora**

**Tabla 7: Resultados de PTSe por el método de placas receptoras, cuarto muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Observaciones
1	E1D	73,1552	73,2154	0,0602	13,8923	
2	E2D	73,2823	72,7272	-	-	Manipulada por externos
3	E3D	72,2327	72,2158	-	-	Placa húmeda
4	E4D	73,0829	73,1182	0,0353	8,1462	
5	E5D	72,9091	72,8481	-	-	Placa húmeda
6	E6D	69,5084	69,5171	0,0087	2,0077	

FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 7 se muestra que de las tres estaciones en las que fue posible determinar la cantidad de PTSe, en dos se supera el valor límite establecido por la OMS. La placa receptora de la estación 1 al momento de ser pesada presentaba gotas de agua las cuales pudieron haber interferido con el peso final. A su vez, dos estaciones presentaron peso negativo debido al efecto “lavado” por la condensación de agua sobre las PTSe. La estación 2, presenta una diferencia de peso negativo debido a la manipulación de una persona externa, ya que esta se encontró que el elemento sensible de la placa estaba boca abajo entrando en contacto con la base que la sostenía. La figura 19 muestra el estado en el que se encontró la placa.



**Figura 19: Placa receptora manipulada por un externo**

#### 4.2.2 Método Bergerhoff

En las siguientes tablas se presentan los valores de PTSe obtenidos para los cuatro muestreos

**Tabla 8: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, primer muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)
1	E1A	28,8214	28,8496	0,0282	5,2191
2	E2A	28,3326	28,3520	0,0194	3,5904
3	E3A	28,6267	28,6488	0,0221	4,0901
4	E4A	28,2579	28,2758	0,0179	3,3128
5	E5A	27,6310	27,6558	0,0248	4,5898
6	E6A	27,6327	27,6552	0,0225	4,1642

FUENTE: Elaboración propia

La tabla 8 corresponde a los resultados de las concentraciones de PTSe empleando el método de Bergerhoff. Se muestra que la estación 1 supera el límite permisible de la OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes) para el primer muestreo, cabe destacar que esta estación se encuentra cerca a la trocha carrozable para ingresar a las Lomas.

**Tabla 9: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, segundo muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)
1	E1B	27,6331	27,6591	0,0260	4,4682
2	E2B	27,0632	27,0794	0,0162	2,7840
3	E3B	27,8908	27,9132	0,0224	3,8495
4	E4B	27,1545	27,1837	0,0292	5,0182
5	E5B	27,1033	27,1246	0,0213	3,6605
6	E6B	28,2253	28,2392	0,0139	2,3888

FUENTE: Elaboración propia

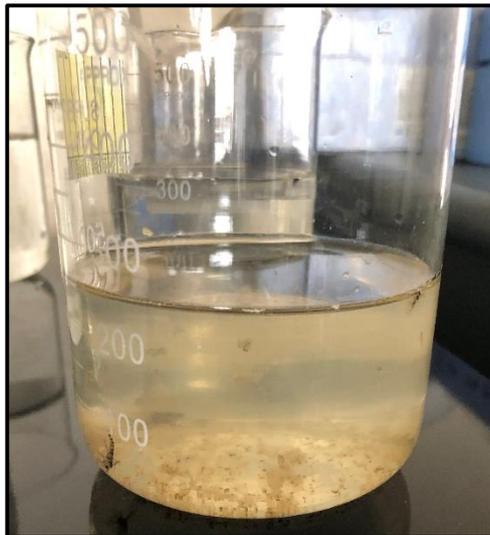
En la tabla 9 se muestra que la mayoría de estaciones para el segundo muestreo presentan un valor de PTSe menor al límite establecido por la OMS a excepción de la estación 4 cuyo valor se encuentra en el límite.

**Tabla 10: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, tercer muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Observaciones
1	E1C	27,7040	27,7167	0,0127	2,1826	
2	E2C	25,7553	25,7693	0,0140	2,4060	
3	E3C	27,1842	27,2805	0,0963	16,5496	Restos de insectos
4	E4C	29,0183	29,0357	0,0174	2,9903	
5	E5C	27,8493	27,8642	0,0149	2,5606	
6	E6C	27,1499	27,1646	0,0147	2,5263	

FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 10 se presentan los resultados del análisis y las concentraciones de PTSe por el método de Bergerhoff, se observa que cinco estaciones presentan un valor de PTSe por debajo del límite, mientras que la estación 3 presenta un valor elevado que evidentemente supera el límite permisible estipulado por la OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes). En la figura 20 se muestra los restos de virutas e insectos encontrados en el agua.



**Figura 20: Restos de insectos en estación 3.**

**Tabla 11: Resultados de PTSe por el método de Bergerhoff, cuarto muestreo**

Estación	Código	Peso inicial (g)	Peso final (g)	$\Delta W$ (g)	PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)
1	E1D	28,1204	28,1315	0,0111	2,0543
2	E2D	26,6457	26,6631	0,0174	3,2203
3	E3D	29,0709	29,0959	0,0250	4,6269
4	E4D	27,5399	27,5539	0,0140	2,5910
5	E5D	26,4828	26,4949	0,0121	2,2394
6	E6D	27,8527	27,8671	0,0144	2,6651

FUENTE: Elaboración propia

En la tabla 11 se presentan los resultados de PTSe para el cuarto muestreo, se evidencia que las seis estaciones cumplen con el límite permisible estipulado por la OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes).

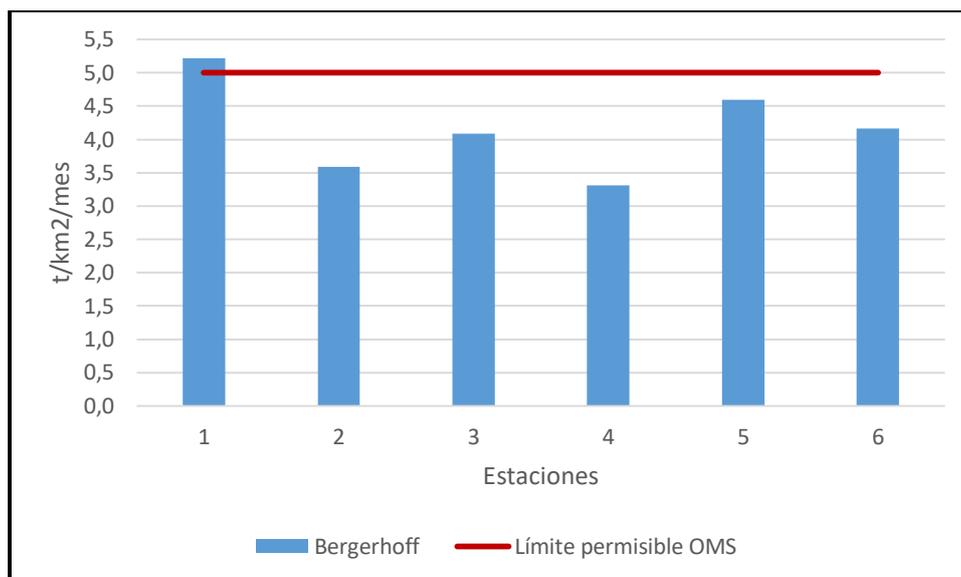
#### 4.2.3 Comparación de resultados obtenidos entre los métodos pasivos

A continuación, se presentan los resultados de partículas sólidas sedimentables obtenidas durante los cuatro muestreos realizados, comparando las dos metodologías con el valor límite establecido por la Organización Mundial de la Salud.

**Tabla 12: PTSe obtenidos por los dos métodos en el primer muestreo**

Estación	Código	Método Placas receptores PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Método Bergerhoff PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)
1	E1A	-	5,2191
2	E2A	-	3,5904
3	E3A	-	4,0901
4	E4A	-	3,3128
5	E5A	-	4,5898
6	E6A	-	4,1642

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 21: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, primer muestreo.**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 12 y la figura 21 se observa que por el método de placas receptoras no se obtiene ningún resultado válido puesto que la precipitación horizontal (niebla) realizó un efecto de lavado sobre la muestra de PTSe y esto generó un peso final menor al inicial.

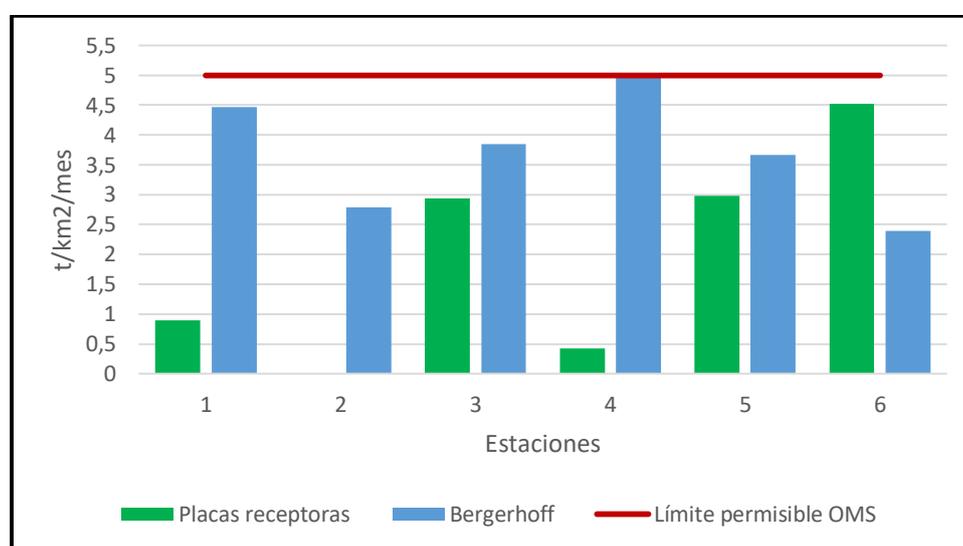
Además, los resultados de cantidad de PTSe obtenidos en el primer muestreo exponen que el valor más alto de Partículas Sólidas Sedimentables (5,22 t/km<sup>2</sup>/mes) corresponde a la estación 1 que se encuentra en el límite de las Lomas y la trocha carrozable para acceder al área de estudio, y el valor más bajo de Partículas Sólidas Sedimentables (3,31 t/km<sup>2</sup>/mes) corresponde a la estación 4.

Con respecto al valor límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud para PTSe (5 t/km<sup>2</sup>/mes) la estación 1 es la única que para el primer muestreo supera el valor de referencia.

**Tabla 13: PTSe obtenidos por los dos métodos en el segundo muestreo**

Estación	Código	Método Placas receptoras PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Método Bergerhoff PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)
1	E1B	0,9000	4,4682
2	E2B	-	2,7840
3	E3B	2,9357	3,8495
4	E4B	0,4286	5,0182
5	E5B	2,9786	3,6605
6	E6B	4,5214	2,3888

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 22: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, segundo muestreo**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 13 y la figura 22 se observa que para el segundo muestreo el método de placas receptoras ya obtiene resultados y en la mayoría de estaciones el valor de PTSe que presenta es menor al analizado por el método de Bergerhoff.

Los resultados de cantidad de PTSe obtenidos en el segundo muestreo por el método de placas receptoras detallan que la estación 6 presenta el valor más alto de PTSe (4,52 t/km<sup>2</sup>/mes) y la estación 4 el valor más bajo (0,43 t/km<sup>2</sup>/mes); mientras que por el método de Bergerhoff el valor más alto de PTSe (5,02 t/km<sup>2</sup>/mes) se encuentra en la estación 4 y el valor más bajo (2,39 t/km<sup>2</sup>/mes) en la estación 6.

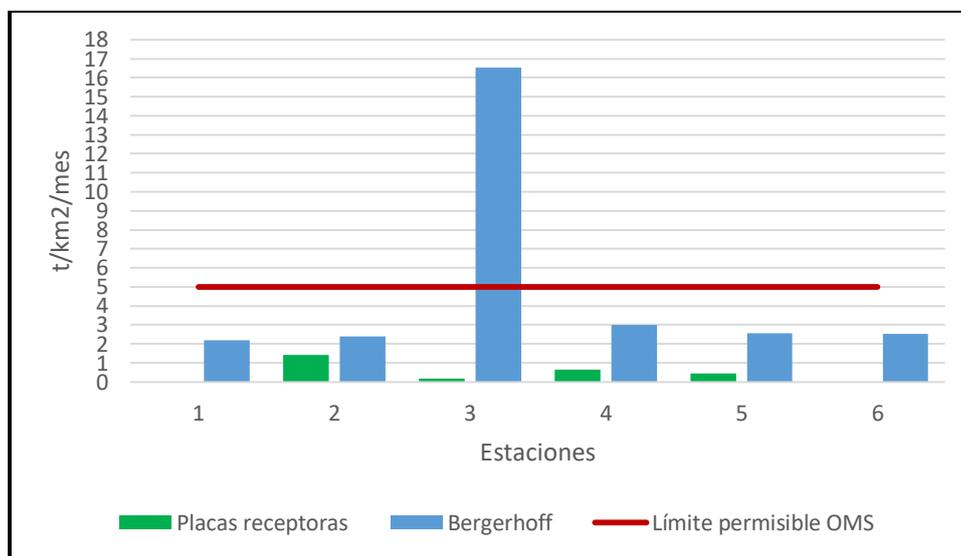
Con respecto a la normativa de la OMS todas las estaciones se encuentran por debajo del límite permisible a excepción de la estación 4 que se encuentra en el límite, cabe destacar

que esta estación corresponde al área de campamento de tres estrellas y por lo tanto se podría estar afectando la salud de las personas que acampan en dicha zona.

**Tabla 14: PTSe obtenidos por los dos métodos en el tercer muestreo**

Estación	Código	Método Placas receptoras PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Método Bergerhoff PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)
1	E1C	-	2,1826
2	E2C	1,41429	2,4060
3	E3C	0,17143	16,5496
4	E4C	0,64286	2,9903
5	E5C	0,45000	2,5606
6	E6C	-	2,5263

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 23: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, tercer muestreo**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 14 y la figura 23 se observa que los resultados por el método de Bergerhoff presentan un valor de PTSe mayor en todas las estaciones que el valor obtenido por el método de placas receptoras para el tercer muestreo.

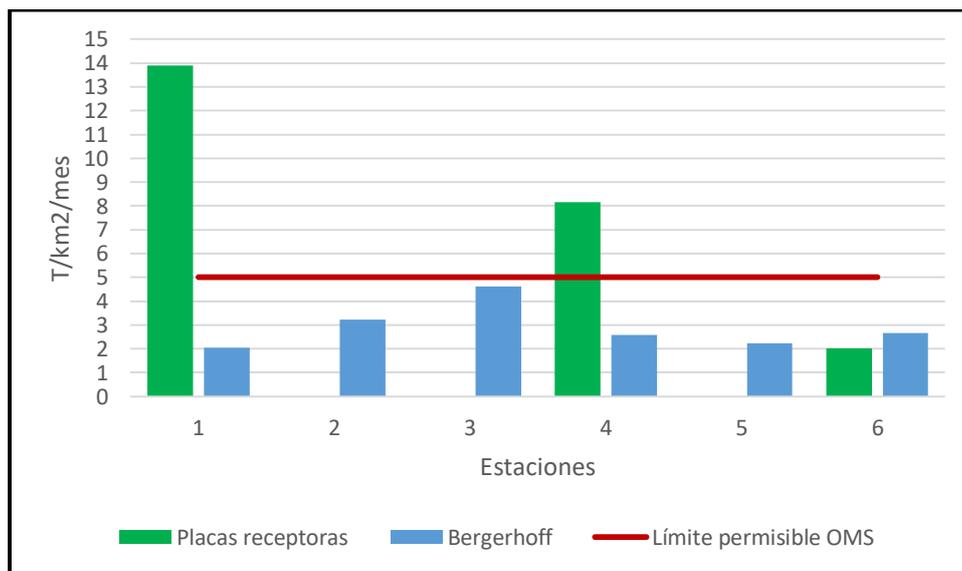
La cantidad de PTSe obtenidos en el tercer muestreo por el método de placas receptoras exhibe que el valor más alto (1,41 t/km<sup>2</sup>/mes) se obtiene en la estación 2 y el valor más bajo (0,17 t/km<sup>2</sup>/mes) en la estación 3; mientras que por el método de Bergerhoff se obtuvo que la cantidad más alta de PTSe se encuentra en la estación 3 (16,55 t/km<sup>2</sup>/mes) y la cantidad más baja (2,18 t/km<sup>2</sup>/mes) en la estación 1.

Con respecto al límite permisible recomendado por la Organización Mundial de la Salud, la estación 3 es la única que supera, por más de tres veces, el valor de 5 t/km<sup>2</sup>/mes. Una exposición prolongada a los PTSe podría afectar la salud de las personas que realizan actividades en dicha área.

**Tabla 15: PTSe obtenidos por los dos métodos en el cuarto muestreo**

Estación	Código	Método Placas receptoras PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)	Método Bergerhoff PTSe (t/km <sup>2</sup> /mes)
1	E1D	13,8923	2,0543
2	E2D	-	3,2203
3	E3D	-	4,6269
4	E4D	8,1462	2,5910
5	E5D	-	2,2394
6	E6D	2,0077	2,6651

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 24: Gráfico comparativo de PTSe por los dos métodos, cuarto muestreo.**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 15 y la figura 24 se observa que, a diferencia de los muestreos anteriores, la cantidad de PTSe obtenida por el método de placas receptoras es mayor a la cantidad de PTSe obtenida por el método de Bergerhoff en dos estaciones.

Por el método de placas receptoras el valor más alto de PTSe registrado (13,89 t/km<sup>2</sup>/mes) fue en la estación 1 y el valor más bajo (2,01 t/km<sup>2</sup>/mes) en la estación 6; mientras que con

el método de Bergerhoff la mayor cantidad de PTSe (4,62 t/km<sup>2</sup>/mes) se encontró en la estación 3 y la menor cantidad (2,05 t/km<sup>2</sup>/mes) en la estación 1.

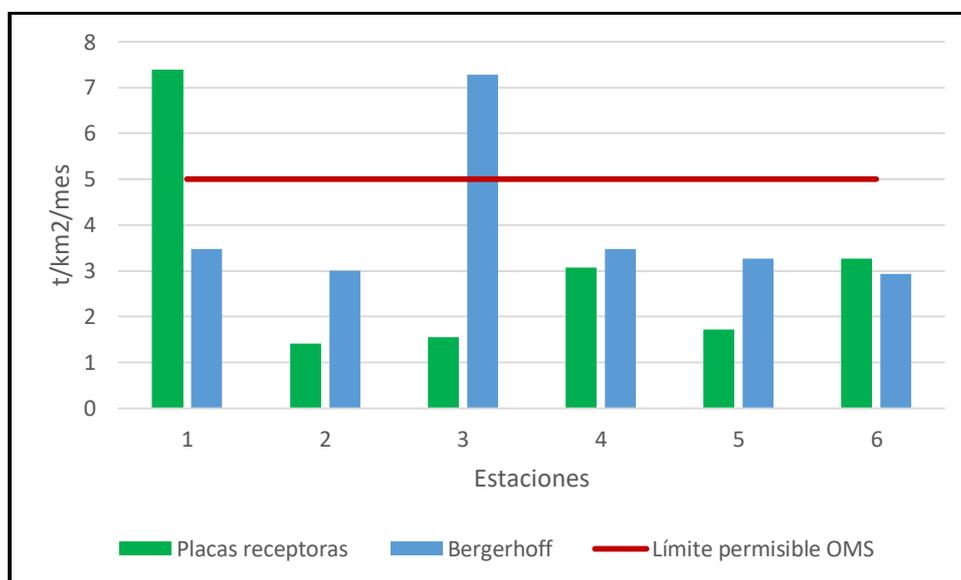
Con respecto al límite permisible de la OMS se observa que las estaciones 1 y 4 no cumplen puesto que las concentraciones de PTSe son mayores a 5 t/km<sup>2</sup>/mes esto puede estar afectando la salud de las personas que visitan con mayor frecuencia las Lomas.

A continuación, se presentan los promedios de Partículas Sólidas Sedimentables obtenidos por estación, su comparación por método y con el límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud.

**Tabla 16: Comparación de promedios por estación de muestreo**

Estaciones	Método de placas receptoras	Método de Bergerhoff
1	7,3962	3,4811
2	1,4143	3,0002
3	1,5536	7,2790
4	3,0725	3,4781
5	1,7143	3,2626
6	3,2646	2,9361

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 25: Gráfico de comparación de promedios de PTSe por métodos pasivos**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 16 y figura 25 se advierte que, en promedio en el periodo de muestreo, las estaciones 1 y 3 superan el límite permisible establecido por la OMS para PTSe esto indica

que existe contaminación atmosférica y que por lo tanto se puede estar poniendo en riesgo la salud de las personas que frecuentan las Lomas y de la flora y fauna que allí habita.

#### 4.2.4 Metales tóxicos en PTSe

A continuación, se exponen los resultados obtenidos del análisis de los PTSe del método de Bergerhoff por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. (ALAB) acreditado ante el INACAL con registro N° LE-096. El tipo de ensayo realizado por ALAB fue la determinación de Metales Totales por la técnica espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES por sus siglas en inglés).

**Tabla 17: Cantidad de metales tóxicos en PTSe**

Código	Metal					Unidad
	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Hierro	Plomo	
E1A	25,97	0,026	<0,0024	50,527	<0,019	µg/muestra
E2A	68,23	0,025	0,0044	96,795	<0,019	µg/muestra
E3A	14,92	0,014	<0,0024	21,762	<0,019	µg/muestra
E4A	30,33	0,014	<0,0024	29,953	<0,019	µg/muestra
E5A	25,68	<0,014	<0,0024	38,836	<0,019	µg/muestra
E6A	23,08	<0,014	<0,0024	34,071	<0,019	µg/muestra
E1B	90,7	0,026	<0,0024	138,517	<0,019	µg/muestra
E2B	32,29	0,025	<0,0024	45,367	<0,019	µg/muestra
E3B	40,63	<0,014	<0,0024	167,07	<0,019	µg/muestra
E4B	26,44	<0,014	<0,0024	35,625	<0,019	µg/muestra
E5B	28,97	<0,014	<0,0024	42,336	<0,019	µg/muestra
E6B	12,65	<0,014	<0,0024	15,158	<0,019	µg/muestra
E1C	38,71	0,02	<0,0024	55,329	<0,019	µg/muestra
E2C	43,17	<0,014	<0,0024	59,735	<0,019	µg/muestra
E3C	48,7	0,031	<0,0024	74,181	<0,019	µg/muestra
E4C	23,82	<0,014	<0,0024	37,291	<0,019	µg/muestra
E5C	9,54	<0,014	<0,0024	18,051	<0,019	µg/muestra
E6C	9,99	<0,014	<0,0024	15,457	<0,019	µg/muestra
E1D	28,24	0,021	<0,0024	46,03	<0,019	µg/muestra
E2D	51,19	<0,014	<0,0024	87,226	<0,019	µg/muestra
E3D	15,01	<0,014	<0,0024	22,492	<0,019	µg/muestra
E4D	23,28	<0,014	<0,0024	34,666	<0,019	µg/muestra
E5D	11,4	0,015	<0,0024	12,723	<0,019	µg/muestra
E6D	26,18	0,03	<0,0024	33,756	<0,019	µg/muestra

FUENTE: ALAB Informe de Ensayo N°: IE-18-5022. Elaboración propia

Con el fin de estandarizar los resultados, se convirtieron los datos a t/km<sup>2</sup>/mes debido a que para todas las muestras se usaron envases con un área determinada y estuvieron expuestos al aire por un tiempo específico.

**a. Primer muestreo**

En las siguientes tablas se presentan las concentraciones de los metales tóxicos obtenidas con la técnica de ICP-OES de las muestras recogidas por el método de Bergerhoff durante el primer muestreo.

**Tabla 18: Cantidad de metales tóxicos en el primer muestreo.**

<b>Código</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Arsénico</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Hierro</b>	<b>Plomo</b>	<b>Unidad</b>
E1A	4,8064	0,0048	0,0004	9,3513	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E2A	12,6276	0,0046	0,0008	17,9143	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E3A	2,7613	0,0026	0,0004	4,0276	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E4A	5,6133	0,0026	0,0004	5,5435	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E5A	4,7527	0,0026	0,0004	7,1875	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E6A	4,2715	0,0026	0,0004	6,3057	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
<b>PROMEDIO</b>	<b>5,8055</b>	<b>0,0033</b>	<b>0,0005</b>	<b>8,3883</b>	<b>0,0035</b>	<b>t/km<sup>2</sup>/mes</b>

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 18 se puede observar que la estación 1 es la que presenta la mayor cantidad de As (0,0048 t/km<sup>2</sup>/mes), esta estación se encuentra cerca a la trocha carrozable para ingresar a las Lomas y de los estacionamientos de vehículos por lo que su concentración puede deberse a una actividad antrópica. Sin embargo, no se descarta que las fuentes naturales influyan sobre su concentración debido a que la zona no está pavimentada y por tanto se facilitaría la resuspensión del material particulado.

A su vez, la estación 2 presenta la mayor cantidad de Al (12,63 t/km<sup>2</sup>/mes), Cd (0,0008 t/km<sup>2</sup>/mes) y Fe (17,91 t/km<sup>2</sup>/mes) para el primer periodo de muestreo. La presencia de estos metales puede deberse a un factor antrópico ya que este punto se encuentra al lado del comedor y la cocina, los cuales usan leña y carbón para la combustión que permitirá la cocción de los alimentos, además en esta zona también se parquean vehículos que suben con visitantes. Aun así, la presencia de estos metales también puede deberse a una fuente natural como lo son las partículas del suelo arrastradas y erosionadas que el viento transporta.

En el caso de Pb, las concentraciones se encuentran por debajo de límite de detección de la técnica usada para el análisis y de acuerdo con Thöni, Krieg y Siewers (1999) el método de Bergerhoff no es el más adecuado para la determinación de este metal.

### b. Segundo muestreo

En las siguientes tablas se muestran las concentraciones de metales tóxicos presentes en los sedimentos recogidos por el método Bergerhoff para el segundo muestreo.

**Tabla 19: Cantidad de metales tóxicos en el segundo muestreo.**

Código	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Hierro	Plomo	Unidad
E1B	15,5872	0,0045	0,0004	23,8048	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E2B	5,5492	0,0043	0,0004	7,7965	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E3B	6,9825	0,0024	0,0004	28,7118	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E4B	4,5438	0,0024	0,0004	6,1223	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E5B	4,9786	0,0024	0,0004	7,2756	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E6B	2,1740	0,0024	0,0004	2,6050	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
<b>PROMEDIO</b>	6,6359	0,0031	0,0004	12,7193	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 19 se observa que la estación 1 es la que presenta la mayor cantidad de Al (15,59 t/km<sup>2</sup>/mes) y As (0,0048 t/km<sup>2</sup>/mes). La estación 1 se encuentra cercana a la trocha carrozable para ingresar a las Lomas y de los estacionamientos de vehículos por lo que la presencia de dichos metales puede deberse a una actividad antrópica. Sin embargo, la presencia de estos metales también puede deberse a una fuente natural como lo son las partículas del suelo arrastradas y erosionadas que el viento transporta.

Por otro lado, la estación 3 presenta la mayor cantidad de Fe (28,71 t/km<sup>2</sup>/mes). La presencia de Fe en las Lomas se debe a las fuentes antrópicas como los vehículos y el uso de carbón vegetal para cocinar o generar calor. Sin embargo; la presencia de este metal también se debe a su abundancia en fuentes naturales como rocas y corteza.

Los metales Cd y Pb presentan un valor por debajo de límite de detección del método; no obstante, para comparar y poner los resultados en el escenario menos favorable, se tomó el valor igual al del límite de detección.

### c. Tercer muestreo

En las siguientes tablas se presenta la cantidad de Al, As, Cd, Fe y Pb obtenida de los PTSe recogidos mediante el método de Bergerhoff para el tercer muestreo.

**Tabla 20: Cantidad de metales tóxicos en el tercer muestreo.**

<b>Código</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Arsénico</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Hierro</b>	<b>Plomo</b>	<b>Unidad</b>
E1C	6,6525	0,0034	0,0004	9,5086	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E2C	7,4190	0,0024	0,0004	10,2657	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E3C	8,3693	0,0053	0,0004	12,7484	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E4C	4,0936	0,0024	0,0004	6,4086	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E5C	1,6395	0,0024	0,0004	3,1022	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
E6C	1,7168	0,0024	0,0004	2,6564	0,00327	t/km <sup>2</sup> /mes
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,9818</b>	<b>0,0031</b>	<b>0,0004</b>	<b>7,4483</b>	<b>0,0033</b>	<b>t/km<sup>2</sup>/mes</b>

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 20 se observa que la estación 3 presenta la mayor cantidad de Al (8,37 t/km<sup>2</sup>/mes), As (0,0053 t/km<sup>2</sup>/mes) y Fe (12,74 t/km<sup>2</sup>/mes) para el tercer muestreo. La presencia de estos metales puede deberse a la influencia de factores naturales como el arrastre de partículas por acción del viento. Sin embargo, las actividades antrópicas también pueden influir sobre sus concentraciones.

También, que la cantidad de As en las estaciones 2, 4, 5 y 6 fue menor al límite de detección y que los metales Cd y Pb presentaron una concentración menor al límite de detección de la técnica de análisis utilizada para todas las estaciones.

### d. Cuarto Muestreo

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la presencia de Al, As, Cd, Fe y Pb en las muestras de PTSe recogidas por el método de Bergerhoff.

**Tabla 21: Cantidad de metales tóxicos en el cuarto muestreo.**

<b>Código</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Arsénico</b>	<b>Cadmio</b>	<b>Hierro</b>	<b>Plomo</b>	<b>Unidad</b>
E1D	5,2265	0,0039	0,0004	8,5190	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E2D	9,4740	0,0026	0,0004	16,1433	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E3D	2,7780	0,0026	0,0004	4,1627	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E4D	4,3085	0,0026	0,0004	6,4158	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E5D	2,1098	0,0028	0,0004	2,3547	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
E6D	4,8452	0,0056	0,0004	6,2474	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
<b>PROMEDIO</b>	4,7903	0,0033	0,0004	7,3071	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 21 se observa que la estación 2 presenta el valor más alto de Al (9,47 t/km<sup>2</sup>/mes) y Fe (16,14 t/km<sup>2</sup>/mes) para el cuarto muestreo. La presencia de dichos metales puede estar relacionado con las actividades que se realizan en el área cercana que corresponde al comedor y a la zona de campamento, puesto que se realiza la combustión de leña para la cocción de alimentos y la obtención de calor. Además, la presencia de estos metales también se debe a su abundancia en fuentes naturales como rocas y corteza.

Por otra parte, la estación 6 presentó la cantidad más alta de As (0,0056 t/km<sup>2</sup>/mes), la cantidad obtenida en esta estación puede deberse a una fuente antrópica como la ganadería que se realiza en las zonas altas de las Lomas o al uso de fertilizantes en las lomas contiguas a las de Asia.

Las estaciones 2,3 y 4 presentaron concentraciones menores al límite de detección de la técnica usada para As. Y las concentraciones de Cd y Pb se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica usada para el análisis.

**e. Promedio de metales tóxicos presentes en las PTSe durante el monitoreo pasivo**

La tabla 22 presenta el promedio de metales tóxicos presentes en las PTSe durante el monitoreo pasivo en las Lomas de Asia.

**Tabla 22: Promedio de metales tóxicos presentes en PTSe durante monitoreo pasivo.**

Monitoreo	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Hierro	Plomo	Unidad
1°	5,8055	0,0033	0,0005	8,3883	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
2°	6,6359	0,0031	0,0004	12,7193	0,0033	t/km <sup>2</sup> /mes
3°	4,9818	0,0031	0,0004	7,4483	0,0033	t/km <sup>2</sup> /mes
4°	4,7903	0,0033	0,0004	7,3071	0,0035	t/km <sup>2</sup> /mes
<b>PROMEDIO</b>	5,5534	0,0032	0,0004	8,9658	0,0034	t/km <sup>2</sup> /mes

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 22 se observa que, en promedio para el aluminio, se obtiene una cantidad de 5,5534 t/km<sup>2</sup>/mes, donde la mayor cantidad (6,6359 t/km<sup>2</sup>/mes) se obtiene en el segundo monitoreo y la menor cantidad (4,7903 t/km<sup>2</sup>/mes) en el cuarto monitoreo. Mientras que, el Arsénico presenta una cantidad de 0,0032 t/km<sup>2</sup>/mes durante el periodo de monitoreo, la mayor (0,0033 t/km<sup>2</sup>/mes) y menor (0,0031 t/km<sup>2</sup>/mes) cantidad se registra en el primer y cuarto muestreo respectivamente.

Durante el monitoreo de PTSe, el hierro presentó una cantidad de 8,9658 t/km<sup>2</sup>/mes, siendo el segundo monitoreo donde se presenta la mayor cantidad (12,7193 t/km<sup>2</sup>/mes) y el último monitoreo donde se observa la menor cantidad (7,3071 t/km<sup>2</sup>/mes) de este metal.

Las concentraciones de cadmio y plomo se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica utilizada para su análisis, por lo que la cantidad promedio resulta del peor escenario posible, donde la cantidad de estos metales para cada monitoreo es igual a la del límite de detección. Los metales cadmio y plomo no se determinan en las PTSe debido a que suelen estar en partículas finas con diámetro menor a 2,5 micras.

### **4.3 Análisis de calidad del agua de niebla**

En este acápite se exponen los resultados del análisis fisicoquímico del agua de niebla.

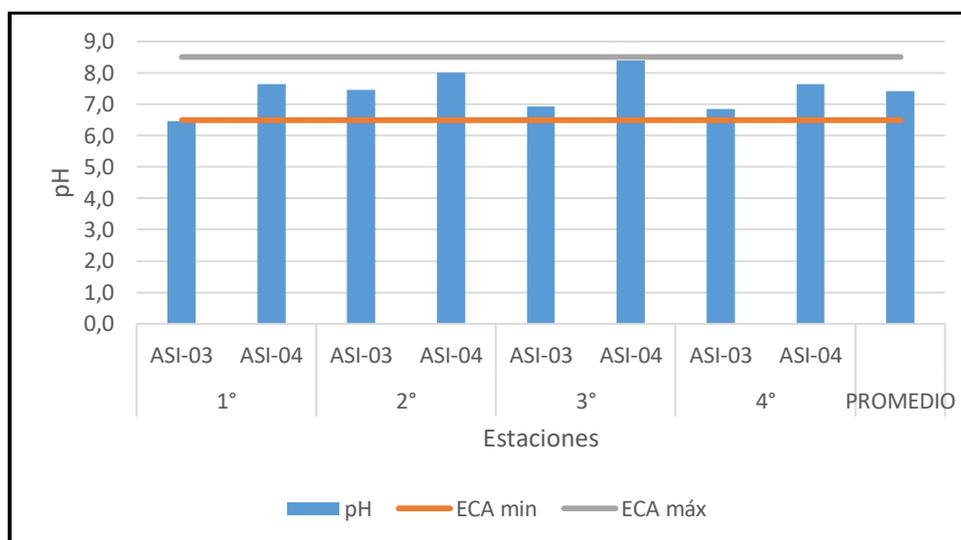
#### **4.3.1 Parámetros fisicoquímicos**

En la tabla 23 se presentan los parámetros fisicoquímicos del agua de niebla fueron medidos en la oficina de SUMPA, el multiparámetro y el turbidímetro usados fueron previamente calibrados en un centro acreditado por el INACAL. Al respecto conviene aclarar que los parámetros no fueron medidos en campo debido al riesgo que implicaba transportar los equipos hasta las Lomas.

**Tabla 23: Parámetros fisicoquímicos del agua de niebla.**

Muestreo	Neblinómetro	pH	T (°C)	C.E. (μS/cm)	OD mg/l	TDS KCL (ppm)	Turbidez (NTU)
1°	ASI-03	6,459	9,040	402,200	7,838	203,000	1,570
	ASI-04	7,654	20,800	2306,000	6,342	1164,000	8,410
2°	ASI-03	7,469	15,930	845,500	8,127	427,000	4,440
	ASI-04	8,013	15,200	1516,000	6,372	766,600	4,500
3°	ASI-03	6,930	17,220	714,700	8,183	360,800	4,250
	ASI-04	8,405	17,300	1618,000	7,448	817,000	9,270
4°	ASI-03	6,855	19,950	559,600	7,451	282,400	2,480
	ASI-04	7,643	20,380	1055,000	6,923	531,900	6,500
<b>PROMEDIO</b>		7,429	16,978	1127,125	7,336	569,088	5,178

FUENTE: Elaboración propia

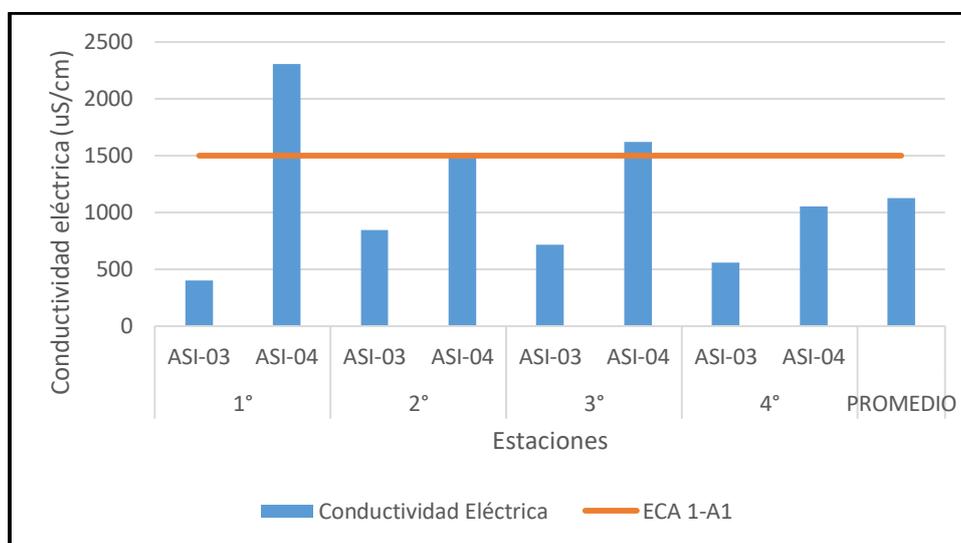


**Figura 26: Gráfico de pH en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 23 y la figura 26 se puede resaltar que, en promedio, el pH del agua de niebla en las Lomas es neutro, además que el pH del agua de niebla proveniente del neblinómetro ASI-03 tiende a ser más ácida que la del neblinómetro ASI-04, esto podría generar un sabor metálico en el agua poco agradable para la población. Sin embargo, el valor de pH en todos los muestreos se encuentra dentro del rango (6,5-8,5) que establecen los ECA de agua para la categoría aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (1-A1).

De acuerdo con Riani, Cordova y Arifin (2018), la bioacumulación de metales pesados está relacionado con las condiciones ambientales como temperatura, pH y conductividad

eléctrica., donde un menor pH incrementa la toxicidad y biodisponibilidad de metales pesados.

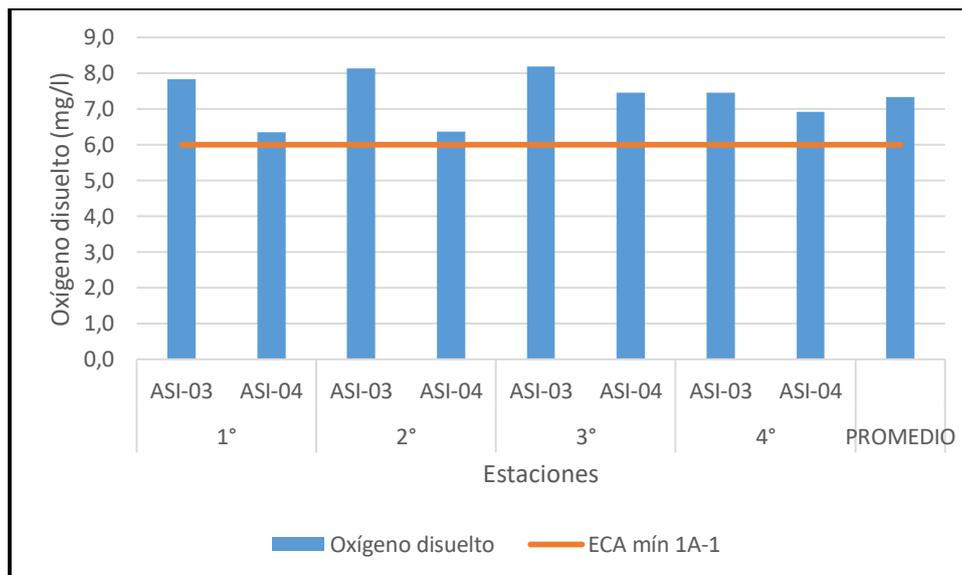


**Figura 27: Gráfico C.E. en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 23 y la figura 27 se puede resaltar que la conductividad eléctrica (C.E.) está ligada a la presencia de sales en el agua además de ser una medida indirecta de la concentración de sólidos disueltos totales o de minerales en el agua. Al realizar una comparación de lo estipulado en los ECA 1-A1 (1500 µs/cm) con lo obtenido en campo se hace notar que, en promedio, la CE no supera la normativa durante el monitoreo. No obstante, salta a la vista que todas las muestras analizadas durante el muestreo para el neblinómetro ASI-03 cumplen por estar debajo del límite; mientras que, en el neblinómetro ASI-04 se incumple la normativa en los tres primeros muestreos. Lo anteriormente descrito puede implicar que el agua que se recoge en el punto ASI-04 presente un mayor contenido de sales.

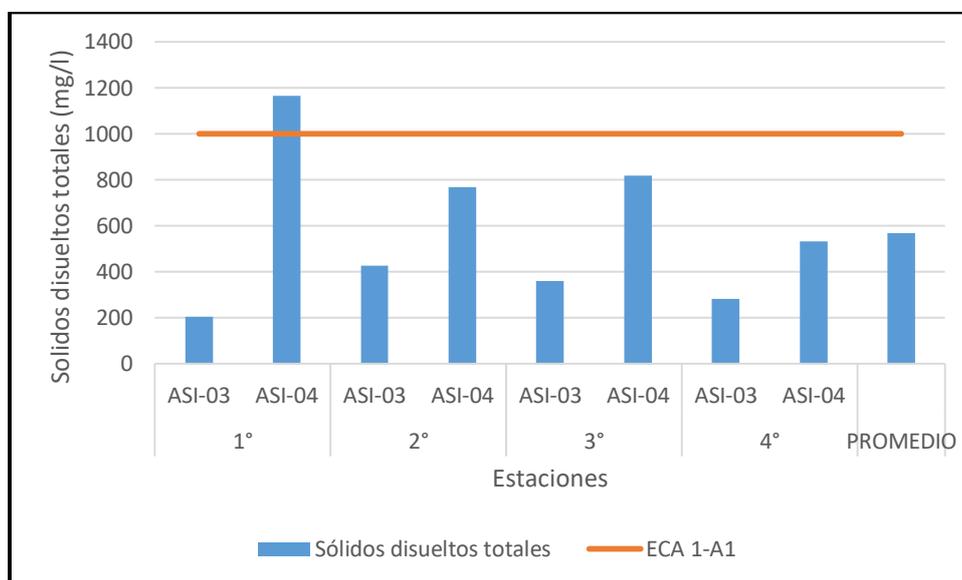
De acuerdo con Riani, Cordova y Arifin (2018), la bioacumulación de metales pesados está influenciada por el tipo de metal, biota, duración de la exposición y las condiciones ambientales como la temperatura, pH y salinidad. Al respecto afirman que una concentración baja de salinidad incrementa la toxicidad del metal pesado y su bioacumulación.

Por su parte, Solano (2005), en su tesis doctoral menciona que la conductividad eléctrica presenta correlaciones directas con los metales. De acuerdo a los resultados obtenidos en campo, los valores más altos de C.E. se observan en la estación ASI-04; estación que presenta la mayor concentración de Al, As y Fe en promedio.



**Figura 28: Gráfico O.D. en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

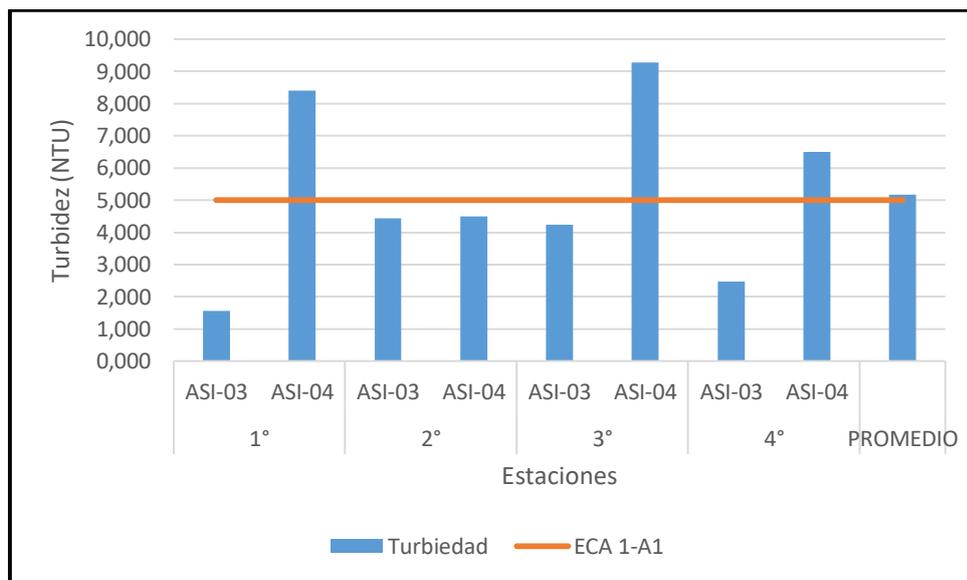
De acuerdo con los datos presentados en la tabla 23 y la figura 28 se puede resaltar que el oxígeno disuelto (OD) es un importante indicador de la calidad de agua, en los ECA 1-A1 se recomienda que el valor de oxígeno disuelto este por encima de los 6 mg/l, en efecto el agua de niebla de los cuatro muestreos se encuentra por encima de este valor, por lo que se presume que la cantidad de materia orgánica es baja.



**Figura 29: Gráfico TDS en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 23 y la figura 29 se puede resaltar que los Sólidos Disueltos Totales (TDS) es la medida de todos los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua que tienen un tamaño menor a dos micrómetros. Como se

mencionó anteriormente, este parámetro está relacionado con la conductividad eléctrica, por lo tanto, los resultados encontrados se asemejan a los determinados para el parámetro de C.E., donde las muestras obtenidas en el neblinómetro ASI-04 presentan una mayor concentración de TDS que las del neblinómetro ASI-03. No obstante, al comparar los resultados con los ECA 1-A1 todas las muestras cumplen con la normativa a excepción de la muestra proveniente de ASI-04 del primer muestreo que supera el valor establecido (1000 mg/l).



**Figura 30: Gráfico de Turbidez en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 23 y la figura 30 se puede resaltar que la turbidez es un indicador de la calidad del agua debido a que un alto valor puede ser producido por materia en suspensión que a su vez se asocia con la existencia de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias que pueden afectar la salud de las personas que entren en contacto con dicho recurso.

La normativa establece que no se debe superar el valor de 5 UNT y los resultados encontrados revelan que las muestras del neblinómetro ASI-03 cumplen con la normativa; mientras que, las muestras del neblinómetro ASI-04 presentan valores mayores a 5 UNT a excepción de la muestra del segundo monitoreo, lo que deja que en promedio el agua de niebla de las Lomas no cumpla con la normativa. De acuerdo con Riani, Cordova y Arifin (2018), en aguas con baja turbiedad se incrementa la toxicidad del metal pesado y su bioacumulación.

### 4.3.2 Compuestos inorgánicos

En las siguientes tablas y figuras se exhiben los resultados del análisis de metales tóxicos en el agua de niebla recogida por los neblinómetros de la consultora SUMPA. El análisis fue realizado por el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. (SAG) acreditado ante el INACAL con registro N° LE-047, el método de ensayo usado fue: determinación de elementos traza en agua por la técnica espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

**Tabla 24: Concentración de metales tóxicos en el agua de niebla**

Muestreo	Estación	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Hierro	Plomo	Unidad
1°	ASI-03	0,111	0,0107	0,02084	0,1614	0,0867	mg/l
	ASI-04	0,101	0,03741	0,02534	0,1341	0,0955	mg/l
2°	ASI-03	0,124	0,01121	0,01801	0,1557	0,0181	mg/l
	ASI-04	0,251	0,03212	0,04271	0,1908	0,0451	mg/l
3°	ASI-03	0,048	0,02016	0,03532	0,0556	0,0331	mg/l
	ASI-04	0,037	0,03178	0,00869	0,0618	0,0239	mg/l
4°	ASI-03	0,091	0,01322	0,03864	0,0956	0,0256	mg/l
	ASI-04	0,122	0,01526	0,01207	0,1257	0,0095	mg/l

FUENTE: Elaboración propia

A continuación, se mostrará la comparación de los metales tóxicos con los ECA para agua en la categoría 1-A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

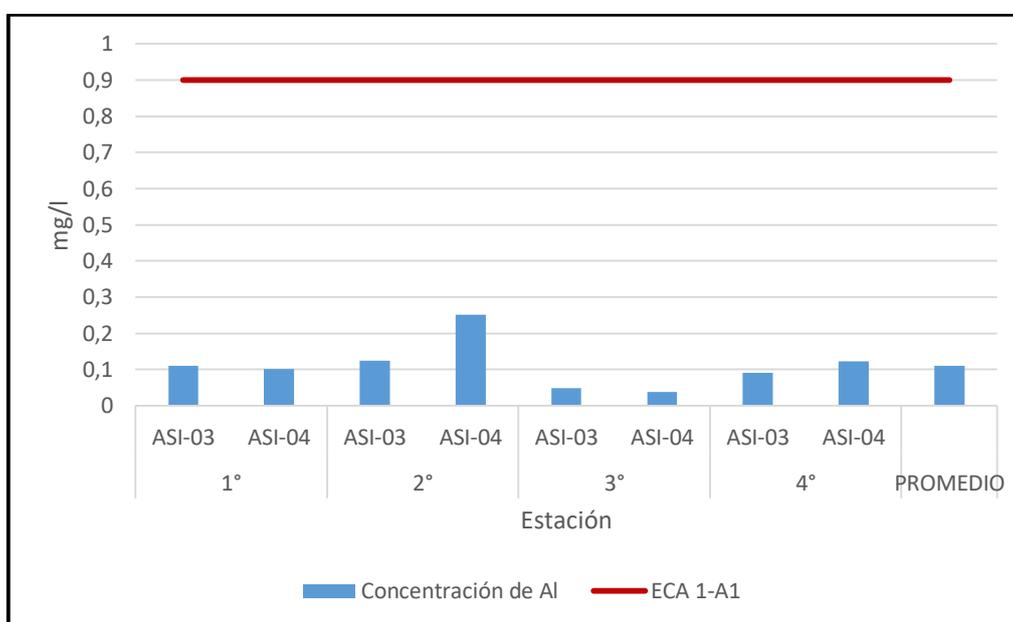
#### a. Aluminio

En la tabla 25 se muestran las concentraciones de aluminio en el agua de y posteriormente en la figura 31 son comparados con la normativa ambiental.

**Tabla 25: Concentración de Al en agua de niebla.**

Muestreo	Estación	Aluminio	Unidad
1°	ASI-03	0,111	mg/l
	ASI-04	0,101	mg/l
2°	ASI-03	0,124	mg/l
	ASI-04	0,251	mg/l
3°	ASI-03	0,048	mg/l
	ASI-04	0,037	mg/l
4°	ASI-03	0,091	mg/l
	ASI-04	0,122	mg/l
<b>PROMEDIO</b>		0,1106	mg/l

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 31: Gráfico de Al en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 25 y figura 31 se puede observar que en promedio la concentración de aluminio (0,1106 mg/l) durante el monitoreo del agua de niebla no supera el límite establecido en los ECA de agua para la categoría de aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (1-A1).

A su vez, la estación ASI-04 en el segundo muestreo es la que presenta el valor más alto de concentración (0,251 mg/l); y a su vez, la misma estación presenta el valor más bajo de concentración (0,037 mg/l) en el tercer muestreo.

Las concentraciones de aluminio en el agua de niebla durante el tiempo de muestreo fueron muy variables, los valores altos registrados pueden deberse al incremento de actividades antrópicas que generan emisiones de aluminio, también es posible que los sedimentos que son transportados por el aire y que se depositan en las canaletas y/o malla del neblinómetro aporten a la concentración de este metal.

En su estudio, García (2017) encontró que la concentración de Al en el agua de niebla en las Lomas de Villa María es de 0,69 mg/l, seis veces más de lo encontrado en las Lomas de Asia. A su vez, Chávez y Fernández (2016) en su estudio de niebla en ventanilla, encontraron que la concentración promedio de Al es de 2,6 mg/l, tres veces más de lo estipulado en el ECA 1-A1 y 24 veces lo encontrado en la Lomas de Asia.

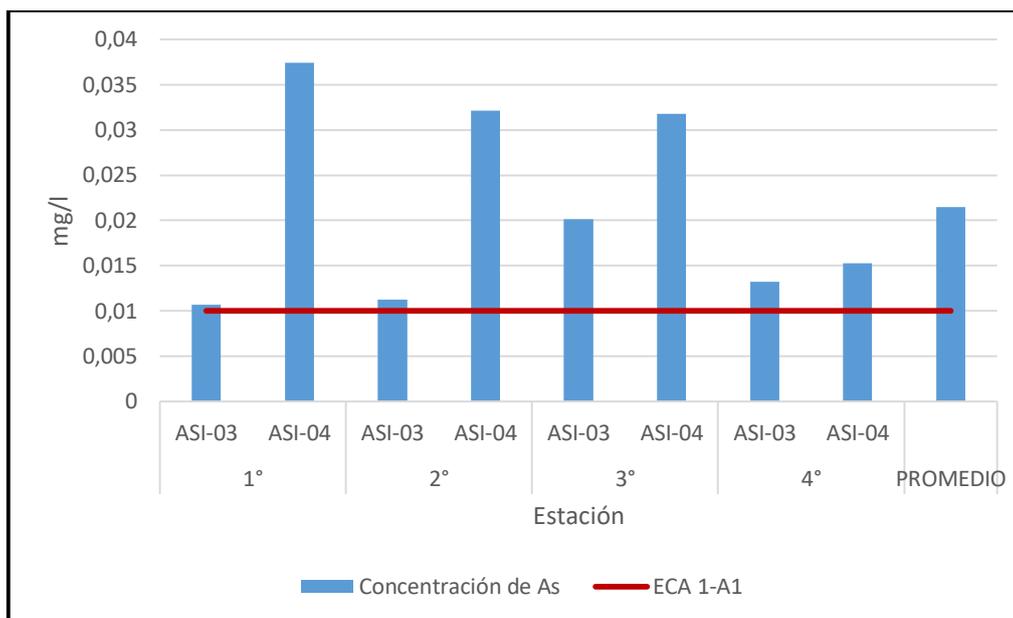
#### **b. Arsénico**

En la tabla 26 se muestran las concentraciones de arsénico en el agua de niebla recogida en los neblinómetros de SUMPA para los cuatro muestreos y posteriormente en la figura 32 son comparados con los ECA de agua en la categoría 1-A1.

**Tabla 26: Concentración de As en agua de niebla**

<b>Muestreo</b>	<b>Estación</b>	<b>Arsénico</b>	<b>Unidad</b>
1°	<b>ASI-03</b>	0,0107	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,03741	mg/l
2°	<b>ASI-03</b>	0,01121	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,03212	mg/l
3°	<b>ASI-03</b>	0,02016	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,03178	mg/l
4°	<b>ASI-03</b>	0,01322	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,01526	mg/l
<b>PROMEDIO</b>		0,02148	mg/l

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 32: Gráfico de As en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 26 y figura 32 se puede observar que en promedio la concentración de arsénico (0,02148 mg/l) durante el monitoreo de agua de niebla supera, en más de dos veces, la concentración estipulada en los ECA de agua para la categoría 1-A1.

Además, las concentraciones en la estación ASI-04 fueron mayores a las de la estación ASI-03 en los cuatro muestreos. El valor más alto de arsénico registrado (0,03741 mg/l) fue en la estación ASI-04 y el valor más bajo registrado (0,0107 mg/l) fue en la estación ASI-03 ambos en el primer muestreo.

Las dos estaciones superan los valores establecidos en los ECA de agua durante todos los muestreos, por lo tanto, el consumo o uso de esta agua puede afectar la salud de las personas que entran en contacto con este recurso, sin olvidar que parte de la niebla es respirada por los turistas, guarda lomas y pobladores.

Las concentraciones de arsénico en el agua de niebla fueron muy variables; sin embargo, los valores se mantuvieron altos durante el muestreo, lo cual puede deberse a la influencia de actividades antrópicas y en menor medida los sedimentos transportados por el viento que se depositan sobre los neblinómetros.

En el estudio realizado por Chávez y Fernández (2016), se determinó que la concentración de As promedio en el agua de niebla en Ventanilla es de 0,027 mg/l, valor muy cercano a lo encontrado en las Lomas de Asia.

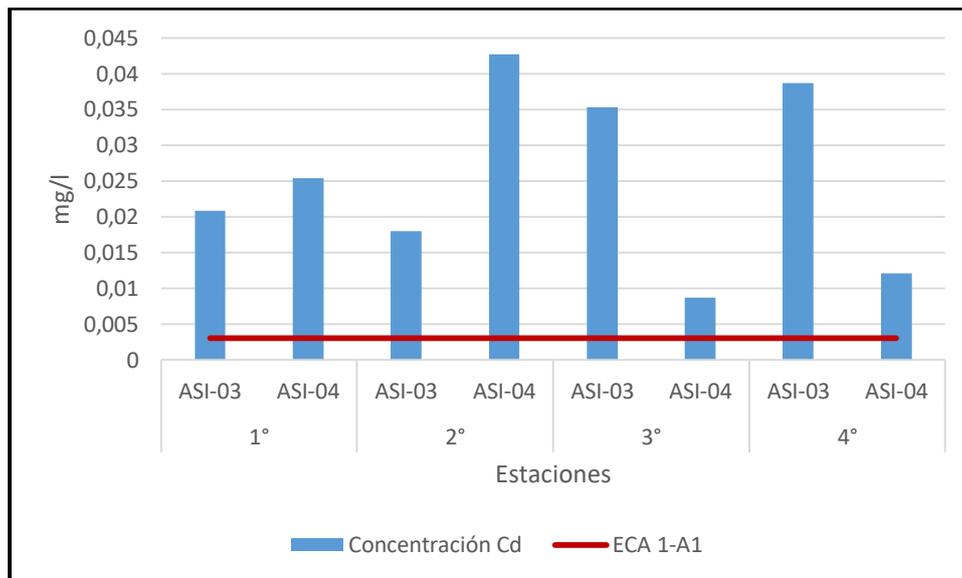
**c. Cadmio**

En la tabla 27 se muestran las concentraciones de cadmio en el agua de niebla recogida en los neblinómetros para los cuatro muestreos y posteriormente en la figura 33 son comparados con los ECA de agua en la categoría 1-A1.

**Tabla 27: Concentración de Cd en agua de niebla**

Muestreo	Estación	Cadmio	Unidad
1°	ASI-03	0,02084	mg/l
	ASI-04	0,02534	mg/l
2°	ASI-03	0,01801	mg/l
	ASI-04	0,04271	mg/l
3°	ASI-03	0,03532	mg/l
	ASI-04	0,00869	mg/l
4°	ASI-03	0,03864	mg/l
	ASI-04	0,01207	mg/l
<b>PROMEDIO</b>		0,02520	mg/l

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 33: Gráfico de Cd en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 27 y figura 33 se puede observar que en promedio la concentración de cadmio (0,0252 mg/l) durante el monitoreo de agua de niebla supera el valor de referencia en más de ocho veces. Además, las concentraciones de cadmio variaron durante todo el muestreo siendo evidente que el valor más alto de cadmio registrado (0,04271 mg/l) fue en la estación ASI-04 durante el segundo muestreo y el valor más bajo registrado (0,00869 mg/l) fue en la misma estación, pero en el tercer muestreo.

También, se observa que las dos estaciones superan los valores establecidos en los ECA de agua durante todos los muestreos, por lo tanto, el consumo o uso de esta agua puede afectar la salud de las personas que entran en contacto con este recurso, sin olvidar que parte de la niebla es respirada por los turistas, guarda lomas y pobladores.

Las concentraciones de cadmio se mantuvieron altas durante el muestreo, lo cual puede deberse a la influencia de actividades antrópicas y en menor medida a los sedimentos transportados por el viento que se depositan sobre los neblinómetros. Chávez y Fernández determinaron que, en Ventanilla la concentración promedio de Cd es 0,2032 mg/l, concentración que es ocho veces la encontrada en las Lomas de Asia.

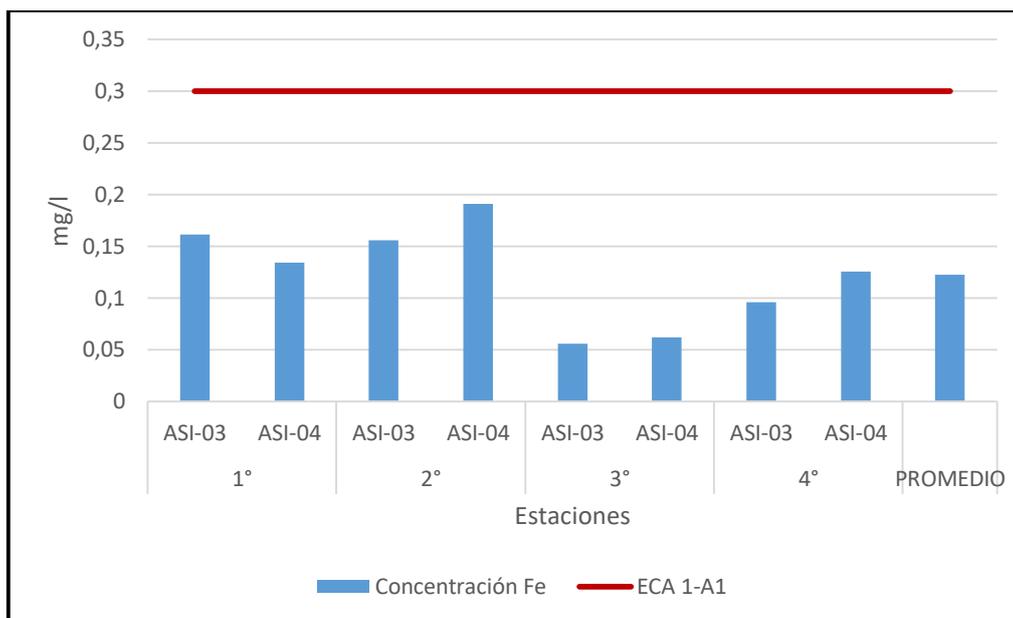
#### **d. Hierro**

En la tabla 28 se muestran las concentraciones de hierro en el agua de niebla recogida en los neblinómetros de SUMPA para los cuatro muestreos y posteriormente en la figura 34 son comparados con los ECA de agua en la categoría 1-A1.

**Tabla 28: Concentración de Fe en agua de niebla**

<b>Muestreo</b>	<b>Estación</b>	<b>Hierro</b>	<b>Unidad</b>
1°	<b>ASI-03</b>	0,1614	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,1341	mg/l
2°	<b>ASI-03</b>	0,1557	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,1908	mg/l
3°	<b>ASI-03</b>	0,0556	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,0618	mg/l
4°	<b>ASI-03</b>	0,0956	mg/l
	<b>ASI-04</b>	0,1257	mg/l
<b>PROMEDIO</b>		0,1226	mg/l

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 34: Gráfico de Fe en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 28 y figura 34 se puede observar que la concentración promedio de hierro (0,1226 mg/l) durante el monitoreo de agua de niebla, no supera el valor establecido en los ECA agua en la categoría de aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (1-A1).

La mayor concentración de hierro (0,1908 mg/l) en el agua de niebla se presenta en la estación ASI-04 del segundo muestreo; y la menor concentración (0,0556 mg/l) se encuentra en la estación ASI-03 del tercer muestreo. Cabe recalcar que en los últimos tres muestreos la concentración de hierro es mayor en la estación ASI-04.

Las concentraciones de hierro en el agua de niebla durante el tiempo de muestreo fueron muy variables, los valores altos registrados pueden deberse al incremento de actividades antrópicas que generan emisiones de hierro, también es posible que los sedimentos que son transportados por el aire y que se depositan en las canaletas y/o malla del neblinómetro aporten a la concentración de este metal.

La concentración de Fe determinada por García (2017) en la niebla de las Lomas de Villa María es de 0,23 mg/l. Chávez y Fernández (2016) encontraron que, en Ventanilla, la concentración de este metal es 2,272 mg/l. La concentración de Fe en las Lomas de Asia es menor a la encontrada en otros estudios.

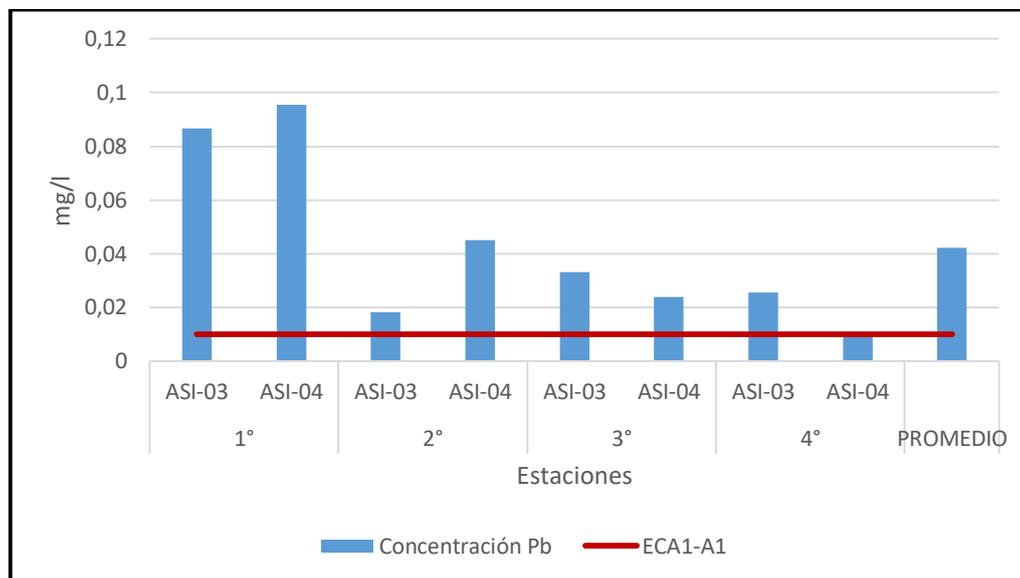
### e. Plomo

En la tabla 29 se muestran las concentraciones de plomo en el agua de niebla recogida en los neblinómetros de SUMPA para los cuatro muestreos y posteriormente en la figura 35 son comparados con los ECA de agua en la categoría 1-A1.

**Tabla 29: Concentración de Pb en agua de niebla**

Muestreo	Estación	Plomo	Unidad
1°	ASI-03	0,0867	mg/l
	ASI-04	0,0955	mg/l
2°	ASI-03	0,0181	mg/l
	ASI-04	0,0451	mg/l
3°	ASI-03	0,0331	mg/l
	ASI-04	0,0239	mg/l
4°	ASI-03	0,0256	mg/l
	ASI-04	0,0095	mg/l
<b>PROMEDIO</b>		0,04219	mg/l

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 35: Gráfico de Pb en agua de niebla comparado con ECA 1-A1**

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 28 y figura 35 se puede observar que la concentración promedio de plomo (0,0422 mg/l) en el agua de niebla durante el muestreo supera los ECA de agua en la categoría 1, subcategoría 2, en más de cuatro veces. Las concentraciones de plomo variaron durante todo el muestreo siendo evidente que el valor más alto de plomo registrado (0,0955 mg/l) fue en

la estación ASI-04 durante el primer muestreo y el valor más bajo registrado (0,0095 mg/l) fue en la misma estación, pero en el cuarto muestreo.

Las dos estaciones superan los valores establecidos en los ECA de agua durante todos los muestreos, a excepción del último muestreo donde la concentración de Pb en ASI-04 se encuentra justo por debajo del límite. Por lo tanto, el consumo o uso de esta agua puede afectar la salud de las personas que entran en contacto con este recurso, sin olvidar que parte de la niebla es respirada por los turistas, guarda lomas y pobladores.

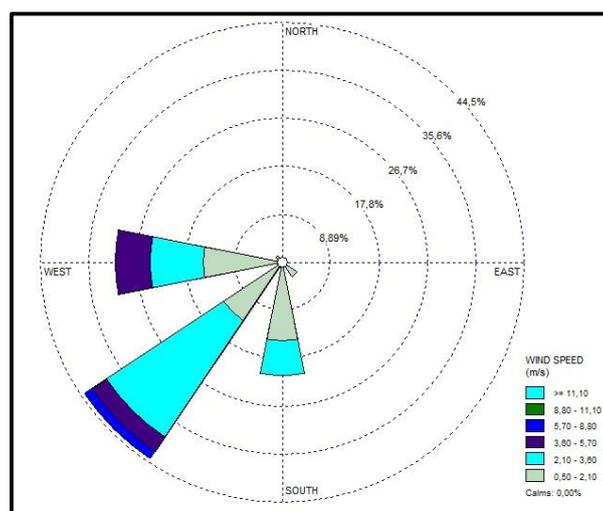
Las concentraciones de plomo se mantuvieron altas durante el muestreo, lo cual puede deberse a la influencia de actividades antrópicas y en menor medida a los sedimentos transportados por el viento que se depositan sobre los neblinómetros.

Chávez y Fernández (2016), determinaron que en promedio la niebla de Ventanilla contiene 0,0449 mg/l de Pb, valor que se asemeja al encontrado en las Lomas de Asia.

#### 4.4 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se obtuvieron con ayuda de la herramienta checa Windy para el caso de la dirección predominante del viento y del servicio meteorológico de Meteoblue para los datos de temperatura y humedad relativa del área de estudio.

Los datos recogidos con Windy que se usaron para hacer la rosa de viento y determinar la dirección predominante del viento se encuentran en el Anexo 2.

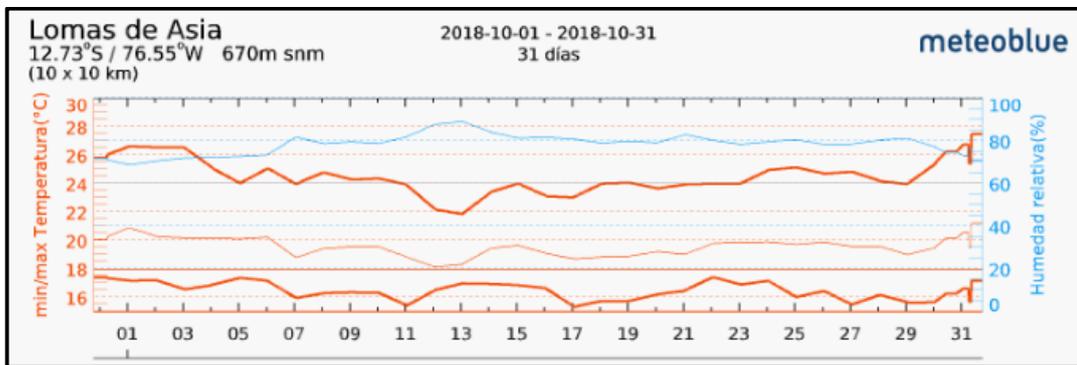


**Figura 36: Rosa de vientos para el área de estudio.**

FUENTE: Elaboración propia

De la figura anterior, se observa que la dirección predominante del viento durante el periodo de muestreo fue Sur-Oeste, esto es un factor determinante para el estudio ya que permite ver de donde provienen los gases y partículas que aumentan los niveles de contaminación en las Lomas.

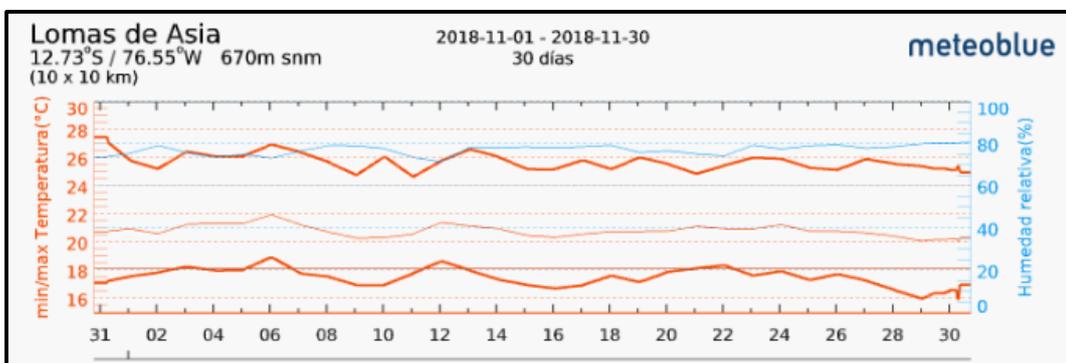
La temperatura determina los movimientos de las masas de aire y por ende la estabilidad o inestabilidad de la atmósfera y la humedad relativa, indica la humedad de aire, lo cual puede favorecer las reacciones de los contaminantes aumentando su concentración. En las siguientes figuras se muestran unas gráficas con las variaciones de la temperatura y humedad relativa del área de estudio en los meses de octubre y noviembre.



**Figura 37: Variación de la temperatura y humedad relativa en el mes de octubre.**

**FUENTE: Meteoblue (2019).**

De la figura 37 se observa que la temperatura máxima se encuentra por encima de los 22°C y que la tendencia es de ir aumentando hasta 27,5°C a finales del mes. Por otro lado, la humedad relativa presenta un comportamiento estable, con ligeros picos, el valor más alto el 13 de octubre (91 por ciento) y el más bajo (75 por ciento) el 31 de octubre.



**Figura 38: Variación de la temperatura y humedad relativa en el mes de noviembre.**

**FUENTE: Meteoblue (2019).**

De la figura 38 se puede hacer notar que temperatura máxima se encuentra por encima de los 24,5°C y que la tendencia para el mes de noviembre fue de disminuir; sin embargo, se observa que las temperaturas mínimas registradas son mayores a las del mes de octubre. Por otro lado, la humedad relativa presenta un comportamiento estable, el valor más alto registrado (80 por ciento) fue el 30 de noviembre y el menor valor registrado (74 por ciento) el 12 de noviembre.

#### **4.5 Inventario de fuentes de contaminación**

Es este acápite se presentan las principales fuentes de contaminación identificadas en el área de estudio. En la figura 39 se muestra un mapa con los anexos estudiados y las fuentes de contaminación encontradas.



#### 4.5.1 Fuentes fijas

A continuación, se van a presentar las fuentes de contaminación encontradas en la zona de estudio, clasificadas en tres grupos de acuerdo a su ubicación y la emisión de los contaminantes.

##### a. Fuentes puntuales

#### Construcciones

En los anexos de Rosario y Capilla de Asia se observaron varias construcciones de casas y bastante material de descarte abandonado por la carretera. En la figura 40 se aprecia el material de construcción al costado de la carretera a Lomas de Asia.



**Figura 40: Material de construcción al costado de la carretera a Lomas de Asia.**

FUENTE: Elaboración propia

Ahmed y Arocho (2019) afirman que los sitios de construcción son una de las principales fuentes urbanas de emisiones de polvo, asimismo esta actividad genera una cantidad significativa de desechos y de problemas públicos de salud incluso más riesgosos que otros procesos productivos. Al respecto, Oliveira et al. (2019) encuentra que las nano partículas encontradas en los desechos de construcción, contienen algunas partículas ultra finas como As, Pb y otros nueve elementos metálicos potencialmente peligrosos. Uno de los minerales más comunes en las muestras fue la magnetita ( $Fe_3O_4$ ), que se usa ampliamente para la fabricación de acero y es un mineral común en las cenizas de carbón utilizadas para la fabricación de cemento. En general, las nano partículas detectadas en el estudio contenían un gran número de metales traza entre los que se incluía As, Fe y Pb.

## Hornos de barro

En Capilla de Asia y a unos cuantos metros de la entrada a las Lomas se identificaron hornos artesanales que funcionan con leña o carbón los cuales también son una fuente importante de PTSe. En la figura 41 se observa un horno frente a una casa de familia.



**Figura 41: Horno de barro usado por familia.**

FUENTE: Elaboración propia

Zambrano (2017), encontró que la combustión de la leña genera contaminantes como dióxido de carbono, monóxido de carbono, material particulado (PM) y compuestos orgánicos volátiles. De los contaminantes mencionados, el PM 2.5 cobra mayor importancia debido a los efectos en la salud de las personas que se encuentran expuestas durante mayor tiempo a las cocinas.

En relación con lo anterior, Widziewicz et al. (2016) analizan la presencia de Cromo (Cr) y Arsénico (As) en el material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>) del ambiente en Polonia debido a la nocividad de estos elementos sobre la salud humana. Al respecto encuentran que el As proviene de una fuente antropogénica debido a su relación con la temperatura ambiental y el origen se da en las emisiones municipales como la quema de carbón en estufas domésticas. A su vez, Liu et al. (2018) en su estudio sobre las fuentes antropogénicas de emisiones de metales en PM<sub>2,5</sub> concluyen que las fuentes de combustión de carbón como cocinas residenciales son las mayores contribuyentes de As, Cd y Pb.

## Quema de residuos sólidos

La incineración o quema de residuos sólidos es una práctica que ha generado rechazo en todo el mundo; sin embargo, se sigue realizando de manera ilegal por la falta de control de las autoridades. El inconveniente radica en que muchos de los desechos incluyen una gran

cantidad de plásticos, metales y materiales que contienen sustancias peligrosas, además que con el aumento poblacional la cantidad de residuos generados se incrementa y en consecuencia la contaminación. En la figura 42 se observa la quema de residuos sólidos a unos escasos metros de la entrada a las Lomas.



**Figura 42: Quema de residuos sólidos al aire libre.**

FUENTE: Elaboración propia

De acuerdo con el Plan de Manejo de Residuos Sólidos del distrito de Asia (2015), la población de Asia al 2015 era de 9578,46 habitantes y la generación Per-cápita de residuos sólidos era de 0,523 Kg/hab/día, esto quiere decir que por día se estarían generando 5 t/día de residuos domiciliarios. Según la caracterización de los residuos sólidos en el distrito, el 44 por ciento corresponde a materia orgánica, el 10 por ciento a residuos sanitarios, el 7 por ciento a bolsas plásticas, el 6 por ciento a papel, el 5 por ciento a material inerte, el 4 por ciento a madera y follaje, cartón, telas y textiles y el porcentaje restante a plástico duro, vidrio, metal, PET, caucho, cuero, jebe tecnopor y otros.

Por otra parte, Edo et al. (2017) en su estudio mencionan que los desechos sólidos municipales consisten principalmente en papel y cartón, plásticos y residuos de alimentos. También afirman que la madera residual de actividades como la demolición y construcción consta de varias maderas usadas y puede contener hasta 1-2 por ciento de materiales no leñosos como vidrio, plástico, metales u hormigón. La composición química de esta madera residual tiene un efecto sobre las partículas y las emisiones de gases que se liberan cuando se quema este material, en especial porque algunos preservativos de la madera contienen Arsénico (Chen, 2016).

En cuanto a los metales que se emiten por la práctica de esta actividad, Tangri (2003) afirma que los incineradores liberan una variedad de metales tóxicos en las que se incluye al Pb, Cd, As, Be y Ni. Al respecto, Greenpeace (2009), asegura que esta actividad emite sustancias químicas persistentes, tóxicas y bioacumulativas, entre las cuales están los metales Cd, As y Pb.

### **Canteras**

A unos cuantos metros de la entrada a las Lomas se puede apreciar la extracción de material para construcción, en la figura 43 se muestra el material extraído para construcción.



**Figura 43: Cantera ubicada a 2 kilómetros de la entrada a las Lomas.**

FUENTE: Elaboración propia

Yurrebaso y Vásquez (2011), afirman que las actividades de extracción incrementan los niveles de material particulado en el ambiente, debido a que una parte del polvo generado en las canteras se emite directamente y otra se resuspende una vez sedimentado por acción del viento o del tráfico. En acuerdo con lo anterior, la junta de Andalucía (2018) afirma que el procesado del material que se extrae genera una cantidad significativa de partículas en cada etapa y aparte de ello se dan emisiones asociadas al consumo de combustible por las máquinas empleadas para la extracción. Algunos de los metales tóxicos que se emiten por las explotaciones a cielo abierto y todas las actividades relacionadas son: As, Cd y Pb.

#### **b. Fuentes de área**

### **Restaurantes**

En Asia hay una gran variedad de restaurantes entre los cuales se pueden destacar los de comida marina, los pequeños puestos en las principales plazas de los anexos del distrito y

los restaurantes que operan en las playas durante las altas temporadas. La DIGESA (2005) en el inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la ciudad de Lima-Callao se identificó que en las actividades comerciales y de servicios que realizan combustión se encuentran los restaurantes como fuente de área puntual, identifican que los principales restaurantes que emiten contaminantes son las pollerías, las panaderías y parrilladas familiares por el uso de carbón vegetal y leña.

Wang et al. (2017) determinaron que de los metales presentes en el material particulado, generado por la cocción de alimentos, se encuentra en mayor proporción Fe, Mg y Zn, en proporción media Pb y Cu y en menor medida Cd, Cr y Hg. Mientras que, Zhao Y, Chen y Zhao B (2019) afirman que el perfil químico del PM<sub>2,5</sub> producido por las cocinas del hogar varía de acuerdo con el método de cocina, por ejemplo, el método de saltar la comida genera una mayor cantidad de PM<sub>2,5</sub> que freír, hervir o asar. Los metales más abundantes encontrados fueron S, Ca, Na, K, Al, Mg y Fe, los menos abundantes fueron Pb, Mn y Cr.

Por otro lado, Taner et al. (2013) mencionan que la mayoría de cocciones se basan en la combustión de biomasa (carbón vegetal o leña), keroseno, gas natural, petróleo líquido y energía eléctrica. En restaurantes se usa mucho el carbón vegetal, el cual contiene varios tipos de compuestos y elementos traza, los metales encontrados en el material particulado fueron: Ca, Mg, Cr, Cu, Ni, Se, V, Fe, Al, As, Cd y Pb.

### **Avícolas**

En el área de estudio se observan varias avícolas como San Fernando, que entre los cerros y alejados de la población, realizan sus actividades de crianza de aves. En la Figura 44 se muestra una granja avícola.



**Figura 44: Avícola ubicada a 7 kilómetros de la entrada de las Lomas.**

FUENTE: Elaboración propia

López (2009) menciona que una de las principales fuentes de contaminación se debe a la yacija, según el autor se compone de viruta de pino o cualquier otro material empleado como cama, excretas, restos de desperdicio, plumas y agua, en el cual se encuentra en concentraciones bajas Cu, Zn, Fe y Mg que actúan como micronutrientes y cantidades traza de elementos como Cd, Pb, As y Hg.

A su vez, Herrera, Rojas y Bolaños (2013) evalúan los niveles de emisión de contaminantes en granjas avícolas en Costa Rica y describen que, por lo general, las emisiones suelen ser una mezcla de gases, compuestos orgánicos volátiles y partículas. Por otro lado, en la Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire del Gobierno Vasco (2000), se menciona que las granjas avícolas emiten como contaminantes principales: PM<sub>10</sub>, compuestos orgánicos volátiles, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>.

### **Agricultura y ganadería**

En los valles de Asia hay cultivos que los pobladores han adaptado para ser regados con una cantidad racionada de agua y ser de excelente calidad. En la Figura 45 se aprecia un cultivo de manzanas que se encuentra a 5 km de la entrada de las lomas.



**Figura 45: Cultivo de manzana a 5 km de la entrada de las Lomas.**

FUENTE: Elaboración propia

En la zona de estudio también se realiza la crianza de ganado bovino y ovino lo cual puede ser apreciado en la Figura 46.



**Figura 46: Vaca pastando dentro de las Lomas.**

FUENTE: Elaboración propia

De acuerdo con el estudio de Peng et al. (2019), el rápido incremento de la economía ha conllevado al aumento de metales pesados en los suelos agrícolas en las últimas décadas, como Zn, Cu, Ni, Pb, Cr y Cd, así como el metaloide As. En relación a lo anterior, el estiércol contiene una gran cantidad de metales debido a los aditivos que se les da a los animales para prevenir enfermedades y la mejora de la eficiencia de la alimentación. La irrigación con aguas residuales contiene metales como el Zn, Pb, Cu, As, Cd, Ni y Hg y los lodos presentan un contenido alto de As, Cd, Ni, Hg y Cr.

Por otro lado, Shi et al. (2018) menciona que la cosecha de cultivos y la lixiviación son las rutas de salida más dominantes de los elementos Cd, Cu, Hg y Zn, y la escorrentía superficial la vía de salida dominante para As, Cr, Ni y Pb. También, evalúa las principales fuentes de contaminación y concuerda con que el estiércol de ganado y la irrigación son las principales fuentes de metales; sin embargo, también añade que la fertilización es una de las fuentes de contaminación más altas puesto que los fertilizantes de fósforo contienen metales como As, Cd, Cr, Hg y Pb. Al respecto, Peng et al. (2019) señala que las concentraciones de Cu, Hg, Ni, Pb y Zn en los superfosfatos son mayores que en otros fertilizantes de fósforo y que en el fosfato monoamónico se encuentran las concentraciones más altas de As.

#### **4.5.2 Fuentes naturales**

Muchos de los metales estudiados son componentes naturales de la corteza terrestre y se encuentran allí porque cumplen un importante papel biológico para los seres vivos. Sin embargo, una alta concentración puede ser tóxica tanto para los humanos como para los ecosistemas. Baltazar et al. (2018), menciona que varias rocas, sedimentos y arcillas encontradas durante trabajos subterráneos contenían niveles peligrosos de contaminantes como As, Se, B, Pb, Cd, Cu y Zn. Por ejemplo, el As se encuentra en la corteza terrestre en

cantidades pequeñas, pero se encuentra en una mayor concentración en minerales como por ejemplo la Arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) y la Pirita arsenical ( $\text{Fe}(\text{SAs})_2$ ). Mientras que, los metales como Pb y Cd se encuentran en cantidades pequeñas en la corteza, pero en las rocas pueden hallarse en mayores concentraciones.

Por otro lado, Vásquez, Macías y Menjivar (2014) evaluaron diferentes formas de Al y Fe presentes en los suelos de bosque del departamento de Magdalena en Colombia y concluyen que el Fe tiene afinidad por la materia orgánica del suelo y que el Al corresponde a la estructura de silicatos.

### 4.5.3 Fuentes móviles

Dentro de las actividades económicas que se ejercen en Asia se encuentra el transporte terrestre (CIU 711), donde el crecimiento de la población, el aumento de turistas y el desplazamiento de los mismos pobladores han originado una alta demanda de taxistas y líneas de servicios de transportes particulares. A su vez, los camiones pesados que transitan por las trochas carrozables cercanas al área de estudio, transportando residuos sólidos, material de construcción y otros objetos influyen sobre la calidad del aire atmosférico en las Lomas. En la figura 47 se percibe un camión de carga con material transitando frente a la entrada de las Lomas, este camión transportaba arena de una cantera cercana a las Lomas.



**Figura 47: Camión transitando por trocha carrozable frente a la entrada de las Lomas.**

FUENTE: Elaboración propia

Lc et al. (2018) afirman que, metales como Zn y Cd provienen principalmente de las emisiones de vehículos en las ciudades y que estos metales promueven el smog fotoquímico y suelos contaminados con cadmio. A su vez, Agarwal et al. (2015) encuentran que, en automóviles de nueva generación, la concentración de varios metales traza como Fe y Pb es relativamente más baja que en carros antiguos. También, hallaron que en el material

particulado colectado del tubo de escape de vehículos diésel y de gasolina se mostraban concentraciones significativas de Fe y Pb, y que las concentraciones de material particulado eran mayores en los vehículos diésel que en los de gasolina.

Por otra parte, Dzikúć, Adamczyk y Piwowar (2017) realizaron un estudio en Polonia en el cual encontraron que los metales pesados como Cd y Pb provienen del transporte y afectan negativamente la salud de las personas y del ambiente.

## 4.6 Análisis estadístico

### 4.6.1 Prueba t-student

Se realizó una prueba t-student con el fin de determinar si existe una diferencia significativa entre el peso de PTSe recogido por el método de las placas de vidrio y el recogido por el método de Bergerhoff. En el anexo 11 se encuentran los cálculos realizados para elaborar la siguiente tabla.

**Tabla 30: Prueba t-student en muestras de PTSe.**

	n	$\bar{X}$	S2	$t_{exp}$	$t_{tabla}$ al 95%
Método de placas receptoras	12	3,207	16,6	3,7254	2,1098
Método de Bergerhoff	24	3,906	8,175		

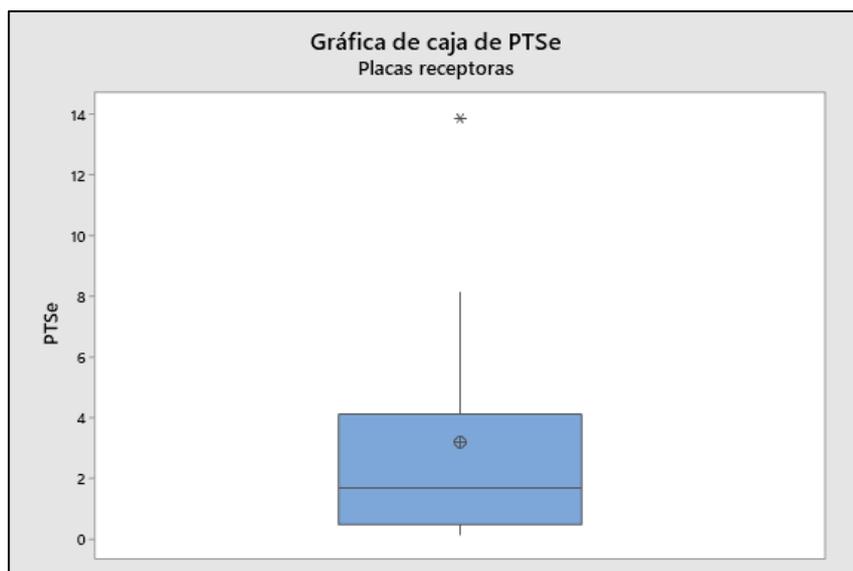
FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 30 se puede observar que, al tratarse de una prueba t estudent la hipótesis nula ( $H_0$ ) es que no existe diferencia significativa en la cuantificación de PTSe mediante el uso de los dos métodos y el criterio para aceptar la  $H_0$  es que  $t_{exp} < t_{tabla}$  al 95%.

De acuerdo con los resultados obtenidos, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la  $H_0$  y afirmar que existe una diferencia significativa en la cuantificación de PTSe mediante el uso de los dos métodos al 95% de confianza.

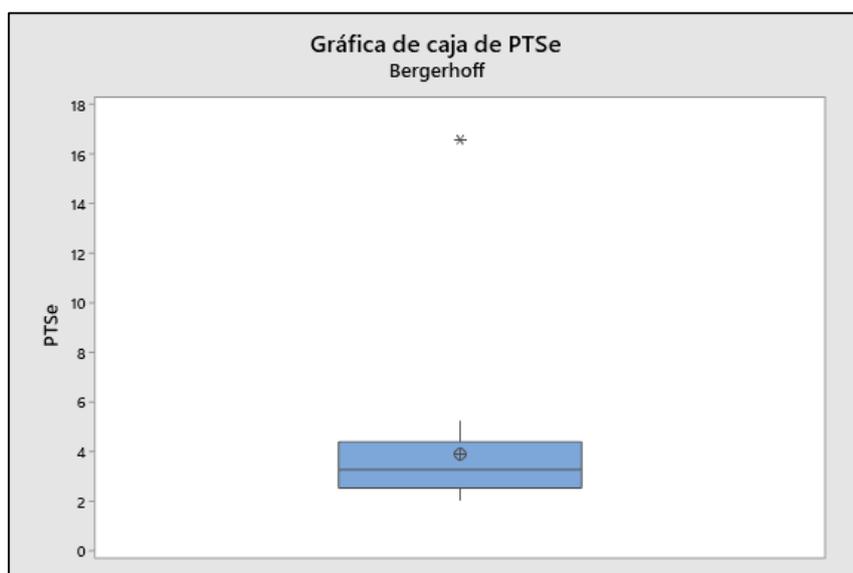
### 4.6.2 Gráfica de cajas

Las figuras 48 y 49 muestran el gráfico de cajas para las PTSe en el método de placas receptoras y Bergerhoff respectivamente.



**Figura 48: Gráfica de caja para el método de placas receptoras.**

De la figura 48 se observa que el 50 por ciento de los datos de PTSe son menores o igual a 1,71 t/km<sup>2</sup>/mes, asimismo, existe un valor atípico (13,89 t/km<sup>2</sup>/mes) que puede estar afectando los resultados. Se aprecia que del segundo cuartil (50 por ciento) al tercer cuartil (75 por ciento) la cantidad de PTSe están más dispersas y que dentro de este rango se encuentra la media de PTSe para el método de placas receptoras.



**Figura 49: Gráfica de caja para el método de Bergerhoff**

De la figura 49 se observa que el 50 por ciento de los datos de PTSe son menores o igual a 3,37 t/km<sup>2</sup>/mes con el método de Bergerhoff. También, existe un valor atípico (16,54 t/km<sup>2</sup>/mes) que está muy alejado de los otros datos y puede afectar los resultados.

### 4.6.3 Coeficiente de correlación de Pearson

A continuación, se muestran las tablas con el coeficiente de correlación de Pearson para los resultados de la cantidad de metales en las PTSe recogidas por el método de Bergerhoff en las Lomas de Asia en los meses de octubre a diciembre. Esta prueba permite asociar los componentes químicos que puedan ser emitidos por una misma fuente, el valor de correlación de Pearson varía de -1 a 1 y entre más cercano a la unidad se indica que existe correlación entre los componentes químicos.

**Tabla 31: Coeficiente de correlación de Pearson en metales tóxicos en PTSe.**

	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Fe</b>	<b>Pb</b>
<b>Al</b>	1	0,498	0,413	0,814	a
<b>As</b>	0,498	1	0,257	0,307	a
<b>Cd</b>	0,413	0,257	1	0,257	a
<b>Fe</b>	0,814	0,307	0,257	1	a
<b>Pb</b>	A	A	A	a	a

a. No se puede calcular porque al menos una variable es constante

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 31 se observa que para el Pb no se terminó la correlación de este metal con los demás debido a que su cantidad en las PTSe fue menor al límite de detección de la técnica usada para su análisis, por tanto, el valor usado para las pruebas estadísticas fue igual al límite.

También, se observa una correlación entre el Al y Fe, esto implicaría que provienen de una misma fuente y de acuerdo con lo señalado en el acápite anterior, una de las principales fuentes de Al y Fe es el arrastre de partículas del suelo de las Lomas. Los demás metales muestran entre sí una correlación muy baja (menor a 0,5) indicando que no provienen de la misma fuente de contaminación.

La tabla 32 presenta el coeficiente de correlación de Pearson para los metales encontrados en el agua de niebla recogida por los neblinómetros de la consultora SUMPA. Cabe destacar que el agua fue recogida al tiempo que se recogían las muestras de PTSe.

**Tabla 32: Coeficiente de correlación de Pearson en metales tóxicos en agua de niebla.**

	<b>Al</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Fe</b>	<b>Pb</b>
<b>Al</b>	1	0,126	0,440	0,869	0,1
<b>As</b>	0,126	1	0,103	-0,051	0,338
<b>Cd</b>	0,440	0,103	1	0,167	0,161
<b>Fe</b>	0,869	-0,051	0,167	1	0,352
<b>Pb</b>	0,1	0,338	0,161	0,352	1

FUENTE: Elaboración propia

De la tabla 32 se observa que existe una alta correlación entre el Al y el Fe que representa que estos dos metales provienen de una misma fuente de contaminación, por los resultados encontrados en el acápite de identificación de fuentes de contaminación, se evidencia que el arrastre de material particulado del suelo de las lomas, por acción del viento, es el principal responsable de la presencia de Al y Fe.

También, existe una baja correlación entre los demás metales, esto indica que no provienen de la misma fuente de contaminación.

## V. CONCLUSIONES

1. Se determinó que en las Partículas Sólidas Sedimentables (PTSe) del aire ambiental de las Lomas de Asia en el distrito de Asia, provincia Cañete y departamento Lima, hay presencia de metales tóxicos como Al, As y Fe. Sin embargo, los límites de detección de la técnica utilizada para el análisis de los PTSe no permitieron determinar si existe o no la presencia de Cd y Pb.
2. De acuerdo con el inventario de fuentes de contaminación realizado, la posible principal fuente de contaminación atmosférica de Al y Fe es el arrastre y resuspensión de partículas del suelo en las Lomas. Asimismo, las fuentes de contaminación de As podrían ser el uso de fertilizantes fosfatados en los cultivos de Asia y la quema de residuos al aire libre. Para el Cd, se encontró que las emisiones vehiculares podrían ser la principal fuente de este metal. Por último, se determinó que la presencia de Pb podría deberse a la quema de leña y el material de construcción que es dejado en las carreteras sin ninguna barrera contra el viento.
3. El análisis de la composición fisicoquímica del agua de niebla dejó en evidencia que existe un alto contenido de sales en el agua de niebla, además la estación ASI-04 presenta condiciones de calidad más bajas que las de la estación ASI-03. A su vez, el análisis de la composición inorgánica muestra que los metales As, Cd y Pb presentan una concentración mayor a los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua, para la categoría 1, subcategoría A1.
4. Con el análisis de metales en las PTSe de las Lomas se encontró que el método de Bergerhoff es recomendable para la determinación de Al y Fe.
5. El agua de niebla recogida en las Lomas de Asia no es apta para el consumo humano debido a la presencia de metales tóxicos en cantidades superiores a lo estipulado en la normativa legal vigente.
6. Además de los pobladores, guardalomas y personas que frecuentemente visitan las Lomas de Asia, la fauna y flora podría verse afectada por la presencia de metales tóxicos en el agua de niebla y en las partículas sólidas sedimentables.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Para la cuantificación de PTSe el método más recomendado y que es más preciso, debido a las condiciones de humedad en las lomas y las facilidades para su manipulación, es el de Bergerhoff.
2. Para obtener una mayor muestra de PTSe con el método de Bergerhoff y facilitar el análisis de la composición química en un laboratorio, el diámetro del recipiente a utilizar debería ser mayor a 13 cm.
3. Medir los parámetros fisicoquímicos pH, Conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto *in-situ*.
4. Replicar el monitoreo pasivo en los meses de enero, febrero y marzo para poder comparar las concentraciones de metales tóxicos en las PTSe en un periodo seco, donde se estima estas deben aumentar.
5. Realizar un monitoreo de las emisiones de las fuentes de contaminación para corroborar la composición química del material particulado emitido.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, A; Gupta, T; Bothra, P; Shukla, P. 2015. Emission profiting of diesel and gasolina cars at a city traffic junction. *Particuology* 18: 186-193.
- Ahmed, S; Arocho, I. 2019. Emission of particulate matters during construction: A comparative study on a Cross Laminated Timber (CLT) and a Steel building construction Project. *Journal of Building Engineering* 22: 281-294.
- Armendáriz, M. 2013. Diseño y construcción de un Prototipo de Captación de Agua Atmosférica para su aprovechamiento en Comunidades con difícil acceso al agua potable (en línea). Tesis Ingeniera Ambiental. Quito, UDLA.123p. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/2262/1/UDLA-EC-TIAM-2013-05.pdf>
- Ávila, A. 1999. Las lluvias de barro y el transporte y deposición de material sahariano sobre el nordeste de la península Ibérica (en línea). *Orsis* 14: 105-127. Consultado 8 jul. 2018. Disponible en: <https://ddd.uab.cat/pub/orsis/02134039v14/02134039v14p105.pdf>
- Baltazar, C; Igarashi, T; Villacorte, M; Park, I; Opiso, E; Ito, M, Hiroyoshi, N. 2018. Arsenic, selenium, boron, lead, cadmium, copper, and zinc in naturally contaminated rocks: A review of their sources, modes of enrichment, mechanisms of release, and mitigation strategies. *Science of the Total Environment* 645: 1522-1533.
- Beiderwieden, E; Wrzesinsky, T; Klemm, O. 2005. Chemical characterization of fog and rain water collected at the eastern Andes cordillera (en línea). Institute for Landscape Ecology, University of Münster, Münster, Alemania. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00304817/document>
- Capel, J. 1999. Lima, un clima de desierto litoral. *Anuales de Geografía de la Universidad complutense* 19: 25-45.

- Cereceda, P; Hernández, P; Leiva J; Rivera, J. 2014. Agua de Niebla: Nuevas Tecnologías para el Desarrollo sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas (en línea). Chile. Impresora La Discusión S.A. 132p. Consultado 8 jul. 2018. Disponible en: <http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/Libro-Agua-de-Niebla-1.pdf>
- Chávez, D; Fernández, J. 2016. Contenido de hidrocarburos totales de petróleo y metales totales en el agua de niebla de ventanilla. *Quepo*, 30: 79-89.
- Chen, W; Shi, Y; Wu, S; Zhu, Y. 2016. Anthropogenic arsenic cycles: A research framework and features. *Journal of Cleaner Production* 139: 328-336.
- Chipoco, J y Valencia, F. 2015. Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire en una especie arbórea *Schinus terebinthifolius* y una rastrera *Aptenia cordifolia* en el Condominio a Quebrada - Cienaguilla. Trabajo de titulación Ingeniero Forestal. Lima, UNALM. 111p.
- Corleto, A; Cortez, D. 2012. Comparación de los métodos de Bergerhoff y placas receptoras para la cuantificación de polvo atmosférico sedimentable. Trabajo de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. San Salvador. 161 pp.
- DIGESA. 2005. Resultados del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas Cuenca Atmosférica de la ciudad de Lima-Callao (en línea). Consultado el 21 feb. 2019. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/inventario\\_aire/fuentes\\_fijas/Informe%20Inventario%20FUENTES%20FIJAS%20Lima-Callao1.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/inventario_aire/fuentes_fijas/Informe%20Inventario%20FUENTES%20FIJAS%20Lima-Callao1.pdf)
- DIGESA. 2005. Resultados del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas Cuenca Atmosférica de La Ciudad de Lima- Callao. (en línea). Consultados el 11 sep. 2018. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario\\_aire/fuentes\\_fijas/Informe%20Inventario%20FUENTES%20FIJAS%20Lima-Callao1.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario_aire/fuentes_fijas/Informe%20Inventario%20FUENTES%20FIJAS%20Lima-Callao1.pdf)
- Dzikúć, M; Adamczyk, J; Piwowar, A. 2017. Problems associated with the emissions limitations from road transport in the Lubuskie Providence (Poland). *Atmospheric Environment* 160: 1-8.
- Economopoulos, A. 2002. Evaluación de fuentes de contaminación del aire (en línea). Consultado 7 nov. 2018. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/33551060\\_Evaluacion\\_de\\_fuentes\\_de\\_co](https://www.researchgate.net/publication/33551060_Evaluacion_de_fuentes_de_co)

ntaminacion\_del\_aire\_Parte\_I\_Tecnicas\_para\_el\_inventario\_rapido\_de\_la\_contaminacion\_ambiental.

- Edo, M; Skoglund, N; Gao, Q; Persson, P; Jansson, S. (2017). Fate of metals and emissions of organic pollutants from torrefaction of waste wood, MSW, and RDF. Waste Management.
- EPA. S.F. Secondary Drinking Water Regulations: Guidance for Nuisance Chemicals. Consultado el 9 feb. 2019. Disponible en: <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals>
- Franco, E. 1999. Meteorología Aeronáutica I (en línea). México. 58p. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: <https://tmaviation.files.wordpress.com/2013/10/meteorologc3ada-i.pdf>
- Gaitán, M; Cárdenas, P. 2017. Guía para elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas. MINAMBIENTE. Bogotá, Colombia.
- García, F. 2017. Estudio de la variación temporal y espacial de la calidad del agua de niebla en las Lomas de Villa María. Tesis Ingeniero Ambiental. Lima, Perú, UNALM. 542p.
- Garrido, A; Camargo, Y. 2012. Partículas respirables en el aire: generalidades y monitoreo en Latinoamérica. Santa Marta, Colombia. INGE CUC 8 (1): 293-312. (en línea). Consultado 5 may. 2018. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4869009.pdf>
- Gobierno Vasco. 2005. Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire (en línea). Consultado 21 feb. 2019. Disponible en: [http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eprtr/es\\_guia/adjuntos/agroalimentario.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eprtr/es_guia/adjuntos/agroalimentario.pdf)
- González, R. 2017. Nubes y otros meteoros (en línea). Madrid, España. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. 126 p. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: [http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/Nubes\\_desde\\_Oviedo/Nubes\\_desde\\_Oviedo.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Nubes_desde_Oviedo/Nubes_desde_Oviedo.pdf)
- Greenpeace. 2009. Incineración de residuos: malos humos para el clima. España. 56p.

- Herrera, J; Rojas, J; Bolaños, A. 2013. Diagnóstico preliminar de los niveles de emisión de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en distintas modalidades de producción en granjas avícolas en Costa Rica (en línea). Consultado 21 feb. 2019. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5536151.pdf>
- Junta de Andalucía. 2018. Guía de apoyo para la notificación de las emisiones en explotaciones a cielo abierto y canteras (en línea). Consultado el 21 de feb. 2019. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/administracion\\_electronica/Tramites/Vigilancia\\_Preencion/Modelos/EPRTR/Modelos/Guias\\_apoyo/Guia\\_%20Ep3b\\_Explotaciones\\_cieloabierto\\_canteras.pdf.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/administracion_electronica/Tramites/Vigilancia_Preencion/Modelos/EPRTR/Modelos/Guias_apoyo/Guia_%20Ep3b_Explotaciones_cieloabierto_canteras.pdf.pdf)
- Lc, W; Hu, Y; Li, E; Liu, H; Pan, H; Ji, S; Hayat, T; Alsaedi, A; Ahmad, B. 2018. Evaluation of vehicle emission in Yunnan providence from 2003 to 2015. *Journal of Cleaner Production* 207: 814-825.
- Liu, Y; Xing, J; Wang, S; Fu, X; Zheng, H. 2018. Source-specific speciation profiles of PM<sub>2,5</sub> for heavy metals and their anthropogenic emissions in China. *Environmental Pollution* 239: 544-553.
- López, M. 2009. Estudio de la tasa de ventilación, emisión de gases y composición de la yacija en granjas comerciales de pollos de carne del sureste español. Tesis de Licenciatura. Universidad de Murcia. 82p.
- Marcos, R; Cabrera, M; Laos, H; Mamani, D; Valderrama, A. 2008. Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad universitaria de San Marcos. (en línea). Consultado el 26 ago. 2018. Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/rev\\_cedit/2008\\_V03/pdf/a06v3.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a06v3.pdf)
- Mendoza, B; Castañeda, F. 2014. Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. Tesis Especialización. Bogotá, Colombia, Universidad Católica. 63p.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). 2017. Preguntas frecuentes (en línea). Consultado 29 abr. 2019. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/estandares-de-calidad-ambiental/wp-content/uploads/sites/146/2017/06/Preguntas-frecuentes.pdf>
- Municipalidad de Asia. 2015. Plan de Manejo de Residuos Sólidos del distrito de Asia. (en línea). Consultado el 30 abr. 2019. Disponible en:

[https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/10599/PLAN\\_10599\\_2015\\_PLAN\\_DE\\_MANEJO\\_DE\\_RESIDUOS\\_SOLIDOS\\_DEL\\_DISTRITO\\_DE\\_ASIA.PDF](https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/10599/PLAN_10599_2015_PLAN_DE_MANEJO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_DEL_DISTRITO_DE_ASIA.PDF)

- Nieuwland, B; Mamani, J. 2016. Las Lomas de Lima: enfocando ecosistemas desérticos como espacios abiertos en Lima Metropolitana. *Espacio y Desarrollo* 29: 109-133. Consultado 5 may. 2018. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/17572/18489>
- Oliveira, M; Izquierdo, M; Querol, X; Lieberman, R; Saikia, B; Silva, L. 2019. Nanoparticles from Construction Wastes: A Problem to Health and the Environment. *Journal of Cleaner Production* 219: 236-243.
- OMS. 2000. Guidelines for Air Quality - Guías para la Calidad de Aire. Traducido por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS /OPS). 1-77 pp.
- Parada-Molina P; Cervantes J. 2017. Catchment rainwater and cloud water in the dry season in the city of Xalapa, Veracruz, México. *Ingeniería del agua*, 21(3): 153-163. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/Ia.2017.5661>
- Peng, H; Chen, Y; Weng, L; Ma, J; Ma, Y; Li, Y; Islam, S. 2019. Comparisons of heavy metal input inventory in agricultural soils in North and South China: A review. *Science of the Total Environment* 660: 776-786.
- Quispe, N; Chira, J. 2004. Entornos sinópticos en la ocurrencia de niebla en Lima. *Boletín Meteorológico e Hidrológico del Perú (en línea)*. Lima, Perú. 65p. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: <http://www.wamis.org/countries/peru/PER200401.pdf>
- Ramos, L. 2017. Partículas Atmosféricas Sedimentables en tres áreas de esparcimiento poblacional de las principales vías vehiculares del casco urbano de la ciudad de Tingo María (en línea). *Práctica preprofesional*. UNAS. 110p. Consultado el 25 de may. 2019. Disponible en: [https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/PARTICULAS%20ATMOSFERICA%20SEDIMENTABLES%20EN%20TRES%20AREAS%20DE%20ESPARCIMIENTO%20POBLACIONAL%20DE%20LAS%20PRINCIPALES%20VIAS%20VEHICULARES%20DEL%20CASO%20URBANO%20DE%20LA%20CIUDAD%20DE%20TINGO%20MARIA.pdf](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PARTICULAS%20ATMOSFERICA%20SEDIMENTABLES%20EN%20TRES%20AREAS%20DE%20ESPARCIMIENTO%20POBLACIONAL%20DE%20LAS%20PRINCIPALES%20VIAS%20VEHICULARES%20DEL%20CASO%20URBANO%20DE%20LA%20CIUDAD%20DE%20TINGO%20MARIA.pdf)
- Reyna I. 2017. Lomas de Asia: Refugio de vida Silvestre y trabajos de conservación. 1ra Edición. Lima, Perú. 147p.

- Riani, E; Cordova, M; Aeifin, Z. 2018. Heavy metal pollution and its relation to the malformation of Green mussels cultured in Muara Kamal waters, Jakarta Bay, Indonesia.
- Shi, T; Ma, J; Wu, F; Ju, T; Gong, Y; Zhang, Y; Wu, X; Hou, H; Zhao, L; Shi, H. 2018. Mass balance-based inventory of heavy metals inputs to and outputs from agricultural soils in Zhejiang Providence, China. *Science of the Total Environment* 649: 1269-1280.
- Silva, J; Montoya, Z. 2008. Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de las Partículas Sólidas Sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima-Callao durante el año 2004. SENAMHI. Lima, Perú.
- Solano, A. 2005. Movilización de Metales Pesados en Residuos y Suelos Industriales Afectados por la Hidrometalurgia del Cinc. Tesis Doctoral. Murcia, España. Universidad de Murcia. 267p.
- Talavera, C. 2015. El Rol del agua de las neblinas en la conservación y manejo de la biodiversidad de los ecosistemas de lomas: Lomas de Atiquipa (en línea). MINAM. 13p. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/diiversidad/wp-content/uploads/sites/63/2015/01/resumen3.pdf>
- Taner, S; Pekey, B; Pekey, H. 2013. Fine particulate matter in the indoor air of barbeque restaurants: Elemental compositions, sources and health risk. *Science of the Total Environment* 455:79-87.
- Tangri, N. 2005. Incineración de residuos: una tecnología muriendo. 1ra Edición. California, Estados Unidos. GAIA. 113p.
- Thöni, L; Krieg, F; Siewers, U. 1999. Testing the Bergerhoff method to determine the bulk deposition loads of 49 elements. *Atmospheric Environment* 33: 337-344.
- Vásquez, J; Macías, F; Menjivar, J. 2014. Formas de hierro y aluminio en suelos con diferentes usos en la zona norte del departamento del Magdalena, Colombia (on line). Consultado 22 de feb. 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n4/v63n4a07.pdf>
- Vásquez, T; Alfaro, R; Sibaja, JP; Esquivel, G; Valdés, J. 2012. Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica

- Monteverde. (en línea). *Uniciencia* 26: 51-63. Consultado el 8 jul. 2018. Disponible en: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/3862/3703>
- Vistin, D. 2014. Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de agua por medio de dos tipos de neblinómetros en las tres cuencas de la Parroquia Achupallas, Cantón Alausi, Provincia de Chimborazo. Trabajo para optar el titular de Ingeniero Forestal. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 71p.
  - Wang, L; Xiang, Z; Stevanovic, S; Ristovski, Z; Salimi, F; Gao, J. 2017. Role of Chinese cooking emissions on ambient air quality and human health. *Science of the Total Environment* 589:173-181.
  - Widziwicz, K; Rogula-Kozłowska, W; Loska, K. 2016. Cancer risk from arsenic and chromium species bound to PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>1</sub> – Polish case study. *Atmospheric Pollution Research*: 1-11.
  - Yurrebaso, L y Vásquez, M. 2011. Plan de Acción del Aire en Camargo: Propuesta de Acciones Correctoras en el municipio de Camargo (en línea). Consultado el 21 de feb. De 2019. Disponible: [http://medioambientecantabria.es/documentos\\_contenidos/60728\\_1.AccionesCamargo.pdf](http://medioambientecantabria.es/documentos_contenidos/60728_1.AccionesCamargo.pdf)
  - Zambrano, D. 2017. Concentración de material particulado por combustión de leña en la zona rural del municipio de Santa Sofía, Boyacá. Trabajo para optar el título de especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Bogotá, Colombia. UMNG. 20p.
  - Zhao, Y; Chen, C; Zhao, B. 2019. Emission characteristics of PM<sub>2,5</sub> – bound chemicals from residential Chinese cooking. *Building and Environment* 149: 623-629.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Límites de Detección de la técnica ICP-OES

A continuación, se muestran los límites de la técnica de espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente.

<b>Tipo de Ensayo</b>	<b>Metal</b>	<b>L.D.</b>	<b>Unidad</b>
Metales Totales (ICP-OES)	Al	0,04	µg/muestra
	As	0,014	µg/muestra
	Cd	0,0024	µg/muestra
	Fe	0,019	µg/muestra
	Pb	0,029	µg/muestra

FUENTE: ALAB E.I.R.L

**Anexo 2: Datos de viento para la realización de la rosa de vientos del área de estudio**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Dirección</b>	<b>Velocidad</b>
2018	10	12	21	225	1
2018	10	21	8	270	1
2018	10	21	9	270	3
2018	10	21	12	270	3
2018	10	21	15	225	2
2018	10	21	18	180	1
2018	10	21	20	225	6
2018	10	21	21	225	1
2018	10	22	9	270	4
2018	10	22	12	270	4
2018	10	22	15	270	3
2018	10	22	18	180	2
2018	10	22	20	180	3
2018	10	22	21	180	1
2018	10	25	21	180	2
2018	10	28	12	270	4
2018	10	28	17	225	2
2018	10	28	22	180	2
2018	10	30	9	225	2
2018	10	30	17	225	3
2018	11	1	10	270	3
2018	11	1	15	270	2
2018	11	1	19	270	1
2018	11	2	12	225	3
2018	11	2	20	135	1
2018	11	4	20	180	2
2018	11	6	20	180	3
2018	11	11	14	225	4
2018	11	11	17	225	4
2018	11	12	19	180	2
2018	11	13	8	270	4
2018	11	13	14	225	3
2018	11	13	15	225	3
2018	11	13	19	180	3
2018	11	13	21	225	1
2018	11	14	18	225	1
2018	11	15	11	270	3
2018	11	17	12	225	3
2018	11	20	8	270	1
2018	11	21	6	270	1
2018	11	21	7	270	1
2018	11	21	8	315	1
2018	11	21	10	270	2

Continuación...

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Dirección</b>	<b>Velocidad</b>
2018	11	21	12	225	3
2018	11	21	13	225	3
2018	11	21	14	225	3
2018	11	21	15	225	3
2018	11	21	16	225	3
2018	11	21	17	225	3
2018	11	21	18	225	3
2018	11	21	20	180	3
2018	11	25	12	225	3
2018	11	25	15	225	2
2018	11	25	18	180	2
2018	11	27	17	225	3
2018	11	27	19	135	2
2018	11	28	8	270	1
2018	11	28	10	225	3
2018	11	29	15	225	3
2018	11	30	10	270	3
2018	11	30	18	180	1

FUENTE: Elaboración propia





## Anexo 5: Modelo de etiquetas muestras de PTSe

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

Codigo muestra:
Peso inicial:
Peso final:

### Anexo 6: Modelo de etiquetas muestras de agua

PROYECTO / CLIENTE: .....  
 Código de muestra:.....  
 Fecha:..... Hora:.....  
 T°C :      pH:      C. E.:      OD:  
 Tipo de muestra:.....  
 Preservante:.....  
 Tipo análisis: .....  
 Lugar: .....  
 Muestreado por: .....

PROYECTO / CLIENTE: .....  
 Código de muestra:.....  
 Fecha:..... Hora:.....  
 T°C :      pH:      C. E.:      OD:  
 Tipo de muestra:.....  
 Preservante:.....  
 Tipo análisis: .....  
 Lugar: .....  
 Muestreado por: .....

PROYECTO / CLIENTE: .....  
 Código de muestra:.....  
 Fecha:..... Hora:.....  
 T°C :      pH:      C. E.:      OD:  
 Tipo de muestra:.....  
 Preservante:.....  
 Tipo análisis: .....  
 Lugar: .....  
 Muestreado por: .....

PROYECTO / CLIENTE: .....  
 Código de muestra:.....  
 Fecha:..... Hora:.....  
 T°C :      pH:      C. E.:      OD:  
 Tipo de muestra:.....  
 Preservante:.....  
 Tipo análisis: .....  
 Lugar: .....  
 Muestreado por: .....

PROYECTO / CLIENTE: .....  
 Código de muestra:.....  
 Fecha:..... Hora:.....  
 T°C :      pH:      C. E.:      OD:  
 Tipo de muestra:.....  
 Preservante:.....  
 Tipo análisis: .....  
 Lugar: .....  
 Muestreado por: .....

PROYECTO / CLIENTE: .....  
 Código de muestra:.....  
 Fecha:..... Hora:.....  
 T°C :      pH:      C. E.:      OD:  
 Tipo de muestra:.....  
 Preservante:.....  
 Tipo análisis: .....  
 Lugar: .....  
 Muestreado por: .....

**Anexo 7: Parámetros regulados por la Normativa Peruana (ECA-agua)**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b>
<b>Físicos – Químicos</b>		
Temperatura	°C	Δ3
Turbiedad	UNT	5
pH	unidad pH	6,5-8,5
Conductividad (25°C)	μS/cm	1500
Oxígeno disuelto*	mg/l	≥ 6
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/l	0,9
Antimonio	mg/l	0,02
Arsénico	mg/l	0,01
Bario	mg/l	0,7
Berilio	mg/l	0,012
Boro	mg/l	2,4
Cadmio	mg/l	0,003
Cobre	mg/l	2
Cromo total	mg/l	0,05
Hierro	mg/l	0,3
Manganeso	mg/l	0,4
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	0,07
Níquel	mg/l	0,07
Plomo	mg/l	0,01
Selenio	mg/l	0,04
Uranio	mg/l	0,02
Zinc	mg/l	3

FUENTE: D.S. N° 004-2017-MINAM ECA agua

### Anexo 8: Cálculo para la determinación de PTSe, método de placas receptoras

$$C = \frac{\Delta W \times 30 \times 10^4}{A \times d}$$

W = Peso en gramos (g)

$\Delta W$  = Diferencia de peso en gramos (g)

C = Cantidad PTSe (t/km<sup>2</sup>/mes)

A = Área de la placa = LxL (cm<sup>2</sup>)

d= Días de exposición

Para el ejemplo se tomarán los datos obtenidos en el segundo monitoreo en la estación 3:

W<sub>inicial</sub> = 72,3962

W<sub>final</sub> = 72,4099

$$\Delta W = W_{final} - W_{inicial}$$

$$\Delta W = 72,4099 - 72,3962 = 0,0137$$

Las placas de vidrio usaban eran cuadradas y cada lado mide 10cm, por tanto:

$$A = L \times L$$

$$A = 10 \times 10 = 100 \text{ cm}^2$$

Para el segundo muestreo, las placas fueron dejadas en las Lomas por 14 días, de ahí se obtiene que d=14.

Reemplazando los datos anteriores en la formula se obtiene:

$$C = \frac{0,0137 \times 30 \times 10^4}{100 \times 14} = 2,9357 \frac{t}{\text{km}^2 \times \text{mes}}$$

**Anexo 9: Cálculo para la determinación de PTSe, método de Bergerhoff.**

$$C = \frac{\Delta W \times 30 \times 10^4}{A \times d}$$

W = Peso en gramos (g) de la placa de Petri

$\Delta W$  = Diferencia de peso en gramos (g) de la placa de Petri

C = Cantidad PTSe (t/km<sup>2</sup>/mes)

A = Área de la jarra =  $\pi r^2$  (cm<sup>2</sup>)

d= Días de exposición

Para el ejemplo se tomarán los datos obtenidos en el primer monitoreo en la estación 1:

W<sub>inicial</sub> = 28,8214

W<sub>final</sub> = 28,8496

$$\Delta W = W_{final} - W_{inicial}$$

$$\Delta W = 28,8496 - 28,8214 = 0,0282$$

Las jarras expuestas en campo eran circulares y tenían un radio de 6,3 cm, por tanto:

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times 6,3^2 = 124,69 \text{ cm}^2$$

Para el primer muestreo, las placas fueron dejadas en las Lomas por 13 días, de ahí se obtiene que d=13.

Reemplazando los datos anteriores en la formula se obtiene:

$$C = \frac{0,0282 \times 30 \times 10^4}{124,69 \times 13} = 5,2191 \frac{t}{\text{km}^2 \times \text{mes}}$$

### Anexo 10: Cálculo de conversión de unidades para los metales en PTSe

$$C = \frac{W \times 30 \times 10}{A \times d}$$

W = Peso en microgramos ( $\mu\text{g}$ ) del metal.

C = Cantidad PTSe ( $\text{t}/\text{km}^2/\text{mes}$ )

A = Área de la jarra =  $\pi r^2$  ( $\text{cm}^2$ )

d = Días de exposición

Para el ejemplo se tomarán los datos obtenidos en el primer monitoreo en la estación 1 para Aluminio:

W = 25,97  $\mu\text{g}$

Estos metales fueron determinados en las PTSe recogidas en las jarras del método Bergerhoff, estas eran circulares y tenían un radio de 6,3 cm, por tanto:

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \pi \times 6,3^2 = 124,69 \text{ cm}^2$$

Para el primer muestreo, las placas fueron dejadas en las Lomas por 13 días, de ahí se obtiene que d=13.

Reemplazando los datos anteriores en la formula se obtiene:

$$C = \frac{25,97 \times 30 \times 10}{124,69 \times 13} = 4,8064 \frac{\text{t}}{\text{km}^2 \times \text{mes}}$$

### Anexo 11: Prueba t para muestras de PTSe

1. Sumar las cantidades obtenidas por cada método
2. Calcular la media aritmética de cada grupo de datos:

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_1}{n} = \frac{38,489}{12} = 3,2074$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum x_2}{n} = \frac{93,7481}{24} = 3,9062$$

3. Determinación de la Varianza en cada grupo de datos:

$$S_1^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$S_1^2 = 16,5 \quad S_2^2 = 8,17$$

4. Obtener el valor de  $t_{exp}$  y los grados de libertad

$$t_{exp} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

$$t_{exp} = \frac{(3,2074 + 3,9062)}{\sqrt{\frac{16,5}{12} + \frac{8,17}{24}}} = \frac{7,1136}{\sqrt{1,375 + 0,34}}$$

$$t_{exp} = \frac{7,1136}{\sqrt{1,715}} = \frac{7,1136}{1,9095}$$

$$t_{exp} = 3,7254$$

Grados de libertad corregidos

$$GL = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{S_1^4}{n_1^2(n_1 - 1)} + \frac{S_2^4}{n_2^2(n_2 - 1)}\right)}$$

$$GL = \frac{\left(\frac{16,5}{12} + \frac{8,175}{24}\right)^2}{\left(\frac{16,5^2}{12^2(12 - 1)} + \frac{8,175^2}{24^2(24 - 1)}\right)} = \frac{(1,375 + 0,341)^2}{\left(\frac{272,25}{12^2(11)} + \frac{66,83}{576(23)}\right)}$$

$$GL = \frac{(1,716)^2}{\left(\frac{272,25}{1584} + \frac{66,83}{13248}\right)} = \frac{2,9446}{0,1769}$$

$$GL = 16,64 \approx 17$$

5. Buscar el valor de t en la tabla de valores críticos de t, al nivel de significancia de 0,05 y con los grados de libertad calculados.

$$t_{\text{tabla al } 95\%} = 2,1098$$

6. El valor de  $t_{\text{exp}}$  obtenido debe compararse con el valor de tabla. La regla de decisión es:

Ho:  $t_{\text{exp}} < t_{\text{tab}}$  = No hay diferencia significativa en la cuantificación de PTSe mediante el uso de los dos métodos.

7. Resultado:

$t_{\text{exp}} = 3,7254 > t_{\text{tabla al } 95\%} = 2,1098$ . Por tanto, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que hay diferencia significativa en la cuantificación de Partículas Sólidas Sedimentables mediante el uso de los dos métodos al 95% de confianza.