

# **UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Evaluación de los niveles de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y la densidad total del polvo con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, Puno, 2018**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Bach. Miguel Angel Condori Roque

Bach. Victor Saúl Herrera Roque

**Asesor:**

Dr. Russel Allidren Lozada Vilca

**Juliaca, Abril de 2019**

**DECLARACION JURADA  
DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS**

Dr. Russel Allidren Lozada Vilca, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Evaluación de los niveles de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y la densidad total del polvo con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, Puno, 2018”** constituye la memoria que presenta el Bachiller Miguel Angel Condori Roque y el Bachiller Victor Saúl Herrera Roque para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los veintiséis días del mes de abril del año dos mil diecinueve.



---

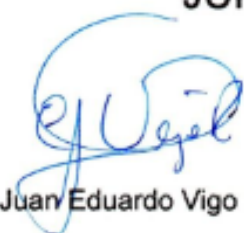
Dr. Russel Allidren Lozada Vilca

Evaluación de los niveles de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y la densidad total del polvo con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, Puno, 2018

# TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

## JURADO CALIFICADOR



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera  
Presidente



MSc. Rose Adeline Callata Chura  
Secretario



MSc. Jael Calla Calla  
Vocal



Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani  
Vocal



Dr. Russel Allidren Lozada Vilca  
Asesor

Juliaca, 26 de abril de 2019

## **Dedicatoria.**

A mis padres Marelinda Roque y Marcelino Condori,  
por el apoyo constante en cada etapa de mi vida, sus  
consejos y paciencia en cada decisión tomada.

Miguel Angel Condori Roque.

A Victor Herrera y Victoria Roque, mis queridos  
padres, por apoyo incondicional, el cariño, la  
comprensión y el apoyo que siempre me brindaron.

Victor Saúl Herrera Roque

## **Agradecimientos**

A Dios, por todo lo que nos ha dado y por estar siempre presente en cada paso de nuestras vidas y cumplir cada uno de nuestros sueños y metas.

Al Dr. Russel Allidren Lozada Vilca, nuestro asesor, por su apoyo en la adquisición, direccionamiento y en el desarrollo de la investigación, sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios, sugerencias y guía para la ejecución de la investigación.

A la Universidad Peruana Unión, por acogernos durante los cinco años de estudio y sus apreciados y relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias. Los conocimientos que nos fueron impartidos con la formación con principios, valores y formarnos como profesionales en sus aulas.

Al Programa Nacional de Becas y Créditos Educativos (PRONABEC), por brindarnos la oportunidad de seguir nuestros estudios superior en la Universidad Peruana Unión, a lo largo de los cinco años de estudio de nuestra carrera profesional.

## ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Símbolos usados.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Capítulo I. El problema.....	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Presuposición filosófica.....	20
1.3. Justificación.....	21
1.4. Objetivos de la investigación.....	22
1.4.1. Objetivo general.....	22
1.4.2. Objetivos específicos.....	22
Capítulo II. Revisión de la literatura.....	23
2.1. Antecedentes.....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.1.3. Antecedentes locales.....	28
2.2. Revisión de literatura.....	29
2.2.1. El aire.....	29
2.2.2. Calidad de aire.....	30

2.2.3. Contaminación del aire.....	30
2.2.4. Fuentes de contaminación del aire.....	32
2.2.5. Contaminantes.....	34
2.2.6. Contaminantes atmosféricos:.....	35
2.2.7. Efectos sobre la salud.....	35
2.2.8. Efectos sobre el medio ambiente.....	36
2.2.9. Factores que influyen en el monitoreo del aire.....	37
2.2.10. Monitoreo.....	38
2.2.11. Métodos de evaluación en la calidad de aire.....	38
2.2.12. Tipos de muestreo.....	39
2.3. Marco legal.....	40
2.3.1. Normativa nacional.....	40
2.3.2. Normativa internacional.....	42
Capítulo III. Materiales y métodos.....	44
3.1. Diseño y tipo de investigación.....	44
3.1.1. Enfoque.....	44
3.1.2. Diseño.....	44
3.2. Identificación de la zona de estudio.....	44
3.3. Características de la zona de estudio.....	45
3.3.1. Población.....	45
3.3.2. Características climatológicas de la zona de estudio.....	45

3.4.	Metodología para el monitoreo de la calidad de aire.....	47
3.4.1.	Escala del monitoreo de la calidad de aire.....	47
3.4.2.	Determinación de puntos de monitotreo .....	48
3.4.3.	Selección de los parámetros a monitorear .....	50
3.4.4.	Método de recolección de datos.....	51
3.5.	Frecuencia de monitoreo y periodos de muestreo .....	51
3.6.	Delimitación geográfica y temporal .....	52
3.7.	Materiales y equipos .....	53
3.7.1.	Materiales .....	53
3.7.2.	Diseño de multiparametro de la calidad del aire.....	54
3.8.	Herramientas de programación para el multiparametro .....	59
3.8.1.	Software utilizado .....	59
Capítulo IV. Resultados y discusiones .....		61
4.1.	Resultados y discusiones. ....	61
4.1.1.	Resultado de CO <sub>2</sub> .....	61
4.1.2.	Resultados de COV.....	68
4.1.3.	Resultados de densidad de polvo .....	74
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones .....		80
4.1.	Conclusiones.....	80
4.2.	Recomendaciones .....	81
REFERENCIAS .....		82



ANEXOS..... 87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA aire)</i> .....	41
Tabla 2 <i>Estándares Internacionales de Calidad Ambiental para Aire.</i> .....	42
Tabla 3 <i>Localidades colindantes a la ciudad de Juliaca</i> .....	45
Tabla 4 <i>Puntos de monitoreo</i> .....	50
Tabla 5 <i>Delimitación geográfica y temporal</i> .....	52
Tabla 6 <i>Delimitación temporal</i> .....	52
Tabla 7 <i>Materiales para la programación y fabricación del data logger</i> .....	53
Tabla 8 <i>Materiales y equipos para la evaluación de la calidad de aire</i> .....	54
Tabla 9 <i>Características de la plataforma Arduino</i> .....	55
Tabla 10 <i>Marco lógico</i> .....	87
Tabla 11 <i>Límites máximos permisibles de densidad de polvo</i> .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del distrito Juliaca. ....	47
Figura 2. Ubicación de los puntos de monitoreo en la ciudad de Juliaca. ....	49
<i>Figura 3.</i> Descripción de los pines de la placa Arduino Nano. ....	55
Figura 4. Sensor de gas modelo CCS811 .....	56
Figura 5. Sensor de polvo total modelo GP2Y1010AU0F. ....	57
Figura 6. Diseño de circuito en placa de fibra de vidrio. ....	57
Figura 7. Circuito de data logger .....	57
Figura 8. Tarjeta de Sensores .....	58
Figura 9. Interfas de plataforma de Programcion Arduino. ....	59
Figura 10. Dióxido de carbono mercado Túpac Amaru .....	62
Figura 11. Dióxido de carbono salida a Arequipa. ....	63
Figura 12. Dióxido de carbono mercado santa Bárbara .....	64
Figura 13. Dióxido de carbono salida a Huancané. ....	65
Figura 14. Dióxido de carbono slaida a Cusco .....	66
Figura 15. Dióxido de carbono salida a Lampa. ....	67
Figura 16. Compuestos Orgánico Volátiles de mercado Túpac Amaru .....	68
Figura 17. Compuestos Orgánico Volátiles salia a Arequipa. ....	69
Figura 18. Compuestos Orgánico Volátiles mercado Santa Barbara .....	70
Figura 19. Compuestos Orgánico Volátiles salida a Huancané. ....	71
Figura 20. Compuestos Orgánico Volátiles salida a Cusco. ....	72
Figura 21. Compuestos Orgánico Volátiles salida a Lampa .....	73
Figura 22. Densidad de polvo mercado Túpac Amaru .....	74
Figura 23. Densidad de polvo salida a Arequipa. ....	75
Figura 24. Densidad de polvo mercado Santa Bárbara .....	76

Figura 25. Densidad de polvo salida a Huancané.....	77
Figura 26. Densidad de polvo salía a Cusco.....	78
Figura 27. Densidad de polvo salida a Lampa.....	79
Figura 28. Etapas para la definición del plan de monitoreo .....	91
Figura 29. Data logger .....	101
Figura 30. Cable de red.....	101
Figura 31. Tarjeta de Sensores.....	102
Figura 32: Distribución horaria de CO <sub>2</sub> , en el mercado Túpac Amaru. ....	107
Figura 33. Distribución horaria de CO <sub>2</sub> , en la salida a Arequipa. ....	108
Figura 34. Distribución horaria de CO <sub>2</sub> , en el mercado Santa Bárbara. ....	108
Figura 35. Distribución horaria de CO <sub>2</sub> , en la salida a Huancané. ....	109
Figura 36. Distribución horaria de CO <sub>2</sub> , en la salida a Cusco. ....	109
Figura 37. Distribución horaria de CO <sub>2</sub> , en la salida a Lampa. ....	110
Figura 38. Distribución horaria de COV, en el mercado Túpac Amaru. ....	111
Figura 39. Distribución horaria de COV, en la salida a Arequipa.....	111
Figura 40. Distribución horaria de COV, en el mercado Santa Bárbara.....	112
Figura 41. Distribución horaria de COV, en la salida a Huancané.....	112
Figura 42. Distribución horaria de COV, en la salida a Cusco.....	113
Figura 43. Distribución horaria de COV, en la salida a Lampa.....	113
Figura 44. Distribución horaria de densidad de polvo, en el mercado Túpac Amaru. ....	114
Figura 45. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Arequipa. ....	114
Figura 46. Distribución horaria de densidad de polvo, en el mercado Santa Bárbara.....	115
Figura 47. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Huancané.....	115
Figura 48. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Cusco.....	116
Figura 49. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Lampa. ....	116

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Marco lógico .....	87
Anexos 2. Plan de monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Juliaca .....	90
Anexos 3. Mapa de ubicación del distrito de Juliaca. ....	104
Anexos 4. Mapa de ubicación puntos de monitoreo.....	105
Anexos 5. Valores Límites Máximos referenciales.....	106
Anexos 6. Gráficos de distribución por hora de CO <sub>2</sub> en cada lugar.....	107
Anexos 7. Gráficos de distribución por hora de COV en cada lugar. ....	111
Anexos 8. Gráficos de distribución por hora de densidad de polvo en cada lugar.....	114
Anexos 9. Gráfica de Rosa de viento (Dirección del viento) .....	117
Anexos 10. Gráfica de Rosa de viento (Flow vector).....	118

## Símbolos usados

CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
MINAM	Ministerio del Ambiente
OMS	Organización Mundial de la Salud
PM <sub>10</sub>	Material particulado con diámetro menor a 10 micras
PM <sub>2.5</sub>	Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras
Ppb	Partes por billón
Ppm	Partes por millón
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
ug/m <sup>3</sup>	Microgramo por metro cúbico
US EPA	United States Environmental Protection Agency

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los niveles de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), densidad total de polvo y compuestos orgánicos volátiles (COV). Se construyó un multiparámetro de calidad de aire (datalogger) ( $\text{CO}_2$ , COV y polvo), empleando la metodología de programación C++ en la placa arduino NANO de plataforma arduino, con sensor de gas CCS811 y sensor de polvo GP2Y1010AU0F. Para realizar el monitoreo, se tomaron seis puntos, de acuerdo al tráfico peatonal y vehicular distribuidas por las principales avenidas de Juliaca. Los resultados muestran que: Para  $\text{CO}_2$  se obtuvieron resultados de,  $1155.5 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°1,  $2365 \text{ ug/m}^3$  para el punto N°2,  $2365 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°3,  $1354 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°4,  $1026 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°5 y  $1068 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°6. Para la evaluación de la DTP, se obtuvieron valores de  $22,5 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°1,  $7,5 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°2,  $24.1 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°3,  $21.95 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°4,  $22,5 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°5 y  $7,5 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°6. Para la evaluación de los COV's, se obtuvieron valores de  $16500 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°1,  $896 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°2,  $896 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°3,  $1198.45 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°4,  $640 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°5 y  $1109.57 \text{ ug/m}^3$  en el punto N°6. Al realizar la evaluación de los datos obtenidos en normatividad extranjera-peruana, se demostró que, en todas las zonas monitoreas existe contaminación con respecto a la calidad de aire.

**Palabras Claves:** Compuestos orgánicos volátiles (COV), densidad total de polvo, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y sensores de calidad de aire.

## Abstract

The objective of the present investigation was to evaluate the levels of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), total density of dust and volatile organic compounds (VOC). A multiparameter of air quality (datalogger) (CO<sub>2</sub>, VOC and dust) was built, using the C++ programming methodology in the NANO arduino board of arduino platform, with gas sensor CCS811 and dust sensor GP2Y1010AU0F. To carry out the monitoring, six points were taken, according to the pedestrian and vehicular traffic distributed by the main avenues of Juliaca. The results show that: For CO<sub>2</sub>, results of 1155.5 ug / m<sup>3</sup> were obtained at point No. 1, 2365 ug / m<sup>3</sup> for point No. 2, 2365 ug / m<sup>3</sup> at point No. 3, 1354 ug / m<sup>3</sup> at point No. 4, 1026 ug / m<sup>3</sup> at point No. 5 and 1068 ug / m<sup>3</sup> at point No. 6. For the evaluation of the DTP, values of 22.5 ug / m<sup>3</sup> were obtained at point No. 1, 7.5 ug / m<sup>3</sup> at point No. 2, 24.1 ug / m<sup>3</sup> at point No. 3, 21.95 ug / m<sup>3</sup> at point No. 4, 22.5 ug / m<sup>3</sup> at point No. 5 and 7.5 ug / m<sup>3</sup> at point No. 6. For the evaluation of VOCs, values of 16500 ug / m<sup>3</sup> were obtained at point No. 1, 896 ug / m<sup>3</sup> at point No. 2, 896 ug / m<sup>3</sup> at point No. 3, 1198.45 ug / m<sup>3</sup> at point No. 4, 640 ug / m<sup>3</sup> at point No. 5 and 1109.57 ug / m<sup>3</sup> at point No. 6. When carrying out the evaluation of the data obtained in foreign-Peruvian regulations, it was demonstrated that, in all the monitoring zones, contamination exists with respect to air quality.

**Keywords:** Volatile organic compounds (VOC), total density of dust, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and air quality sensors.



## **Capítulo I.**

### **El problema**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

El cuidado del medio ambiente es responsabilidad del ser humano, quien es administrador y responsable de los recursos del planeta. En tal sentido debemos observar que en los últimos años las personas hemos dejado de darle importancia a la administración correcta de los recursos, llevando un incorrecto desarrollo sostenible por el estilo de vida descontrolado, donde se utilizan recursos desmedidamente sin tomar en cuenta la sostenibilidad y se alteran los sistemas dentro de la naturaleza, con actividades para la generación de recursos económicos. Un claro ejemplo de la alteración causada por el ser humano, es el cambio climático, que es considerado un proceso de cambio constante y natural, que, por la actividad descontrolada del ser humano, causan alteraciones que perjudican la calidad de vida de las personas y el deterioro del medio ambiente.

En los últimos años, podemos presenciar el cambio drástico que se está generando en la calidad del aire, mostrando alteraciones nunca antes vistas a causa del manejo inadecuado y excesivo de los recursos naturales que la tierra nos brinda. Este cambio muestra cómo afecta la calidad de vida de las personas, con la generación de problemas a la salud, como lo indica la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se muestra un índice de 1,4% de muertes causadas por la presencia de gases y polvos, ya que estos se penetran el organismo por inhalación, acumulándose en los tejidos o afectando directamente otros órganos. Es por

eso que hoy en día la contaminación atmosférica es considerada como uno de los principales problemas que afectan la salud de las personas.

La generación de gases y polvos contaminantes es producida por la actividad humana derivadas de la producción y el uso excesivo de energía a base de combustibles fósiles, los cuales están directamente relacionados con la emisión de dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono entre otros gases y partículas inhalables. Cabe señalar que la peligrosidad de estos gases se encuentra dentro de la troposfera, donde éstos reaccionan químicamente con el ozono en presencia de luz solar, causando muchos problemas adversos a la salud de las personas. Del mismo modo, el uso de vehículos, la producción industrial, el sector construcción, el trabajo de plantas generadoras de energía, las refinerías, las plantas químicas o ya sean otras fuentes de emisión, generan en su gran mayoría estos contaminantes atmosféricos, causando así en las personas efectos nocivos en la salud según lo indica la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (U.S. EPA, 2006).

En el Perú, el problema de la contaminación atmosférica ha llegado a tener una gran importancia debido al incremento exponencial de las enfermedades respiratorias que se registraron en los últimos años en los centros de salud según informa el Ministerio de Salud (MINSA). Las enfermedades respiratorias, son asociados directamente con la liberación de gases y partículas que se generan en la atmosfera a partir de la combustión o quema de productos derivados del petróleo y otros componentes (Caraballo & Sánchez, 2015).

Fue por eso que, en departamento de Lima, realizaron una evaluación del estado actual del país en el 2013, donde se encontró aproximadamente tres millones de personas que hacían uso indiscriminado de sustancias altamente perjudiciales a la calidad del aire y por ende a la calidad de vida de las personas. El Ministerio del Ambiente (MINAM) realizó una

evaluación en el 2012 donde indica que existen trece provincias con mayor cantidad de emisión producida al año y están clasificadas en riesgo alto. Dentro de las trece provincias en alerta, encontramos al departamento de Puno-Juliaca, que está clasificada en riesgo alto.

La Provincia de San Román es una de las 13 provincias que conforman el departamento de Puno, esta se encuentra en un alto peligro con respecto a la calidad de aire, debido a las grandes emisiones de gases nocivos y partículas dentro de la atmósfera, causadas principalmente por las actividades industriales y actividades del parque automotor. Debemos tener en cuenta que este problema se hace mucho más peligroso en esta provincia, ya que, al día de hoy, el aumento de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Juliaca es drástico, por el incremento exponencial del parque automotor, las industrias ladrilleras, los talleres mecánicos, las construcciones civiles y las industrias en general y sobre todo falta de orden catastral de la provincia, que genera un crecimiento desordenado de la población. Es por esto que el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), indicó que el incremento de la población empezó a generar un desorden demográfico, concentrando a las familias en zonas mucho más vulnerables al problema de contaminación atmosférica.

También es importante mencionar que, en la provincia de San Román, debido a la climatología, se presentan fenómenos que empeoran este tipo de problemas ambientales, como es el caso de la inversión térmica, que se define como “un proceso natural donde se forma una capa de aire frío que queda inmóvil sobre el suelo e impide la circulación atmosférica regular dejando al contaminante dentro de la población”. Es importante realizar una evaluación de la calidad del aire actual en la provincia de San Román enfocándonos principalmente en los distritos de Juliaca y San Miguel, que es donde se encuentra la mayor densidad poblacional.

El presente trabajo, muestra una evaluación de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), densidad total de polvo y compuestos orgánicos volátiles (COV), realizados con prototipos de sensores de calidad de aire, programación en la plataforma Arduino que son mucho más factible económicamente y de uso más simple. La Investigación pretende evaluar los lugares de mayor densidad poblacional y actividad automotriz.

## **1.2. Presuposición filosófica**

El aire es de vital importancia para el ser humano, así que la falta de ésta sería mortal para la humanidad y causaría el exterminio de toda vida sobre la tierra. Es por esto que en la biblia la palabra aire es considerada como poder y hasta espíritu santo. En el hebreo, lengua cual fue escrita la biblia, nos menciona a Ruah como significado de dos palabras, “aire” y “espíritu”, mostrando al aire para indicar viento, soplo, atmósfera y espíritu para nombrar al alma, genio, coraje, licor, inclinación, energía, espíritus malignos, entre otros significados. Entonces, si tomamos al aire desde el punto de vista bíblico, podemos decir que Dios usó al aire para demostrar su poder, siendo la creación del hombre un momento clave de esta definición, como se menciona en el antiguo testamento, “Dios formó al hombre del polvo de la tierra, y sopló en su nariz un aliento de vida, y el hombre se convirtió en un ser viviente”. (Génesis 2:7). El cuidado del aire es de mucha importancia para la vida en la tierra. Sin embargo, hoy en día podemos presenciar cómo es que la ambición del hombre destruyó la calidad del aire que Dios nos brindó para nuestra existencia, dejándola en un punto que es irreversible su reparación, dejándonos la opción de tomar medidas correctivas que ayuden directamente a las personas para poder alargar la existencia del ser humano. Por otra parte, Dios nos muestra que al aire como símbolo de bendición y poder en los siguientes versículos (Gn 1:2), (Gn 8:1), (Gn 6:3), (Ex 10, 13:19), (Sal 104,29-30), (Jb 34,14-15).

### **1.3. Justificación**

La evaluación de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), densidad total de polvo (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COV) dentro de la ciudad de Juliaca son muy importantes debido a que la emisión de estos gases y partículas a la atmósfera, generan el incremento de enfermedades respiratorias que degradan la calidad de vida de las personas en la provincia de San Román. Este problema no es reciente para otros lugares en el mundo, muchas otras ciudades controlan este problema mediante la instalación de centros de monitoreo automáticos, capaces de determinar diversos gases y partículas a través de estaciones fijas convencionales distribuidas a lo largo y ancho de su geografía. Por esto, se plantea como una necesidad la incorporación de redes de monitoreo dentro de la ciudad de Juliaca con la implantación de equipos especializados capaces de determinar las distintas concentraciones de los contaminantes. Los principales beneficiados por la instalación de estas redes, serán los habitantes de la población de Juliaca, esta tecnología es moderna y genera datos que se podrán analizar en tiempo real, pudiendo así tomar medidas correctivas que mejoren la calidad del aire. A su vez, contribuirá en el avance tecnológico de la ciudad, es una tecnología moderna, contribuye con la mejora y cuidado del medio ambiente.

Este problema debería considerarse con mayor importancia, para la provincia de San Román, debido a que el MINAM incluyó a la población dentro de las trece provincias en alerta por la peligrosa y descontrolada emisión de gases y partículas que generan actividades antropogénicas.

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar los niveles de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), densidad total de polvo y compuestos orgánicos volátiles (COV) con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- ∄ Diseñar un prototipo con sensores para medir concentraciones de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y densidad total de polvo mediante el método óptico de percepción remota.
- ∄ Desarrollar el prototipo de los sensores de calidad de aire con la plataforma Arduino.
- ∄ Procesar los datos e interpretar de resultados obtenidos en el monitoreo.

## **Capítulo II.**

### **Revisión de la literatura**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales.**

Anteriormente se realizó una investigación en Rumania por (Năstase, Șerban, Năstase, Dragomir, & Brezeanu, 2018) quienes “destacaron el actual comportamiento y variación de los contaminantes atmosféricos, todo a partir de una base de datos encontrados en WebDAB - EMAP y las tendencias de la concentración de contaminantes dentro de la atmósfera, utilizando la calidad del aire Rumanía y la red de monitoreo de contaminación de aire”. Rumanía actualmente cuenta con 142 redes automáticas de vigilancia para las concentraciones de contaminantes atmosféricos. Los resultados indican que:

“el promedio anual de emisiones de CO de Rumania disminuyó de 3186 ug/m<sup>3</sup> en 1990 a 774 en 2014 (disminución en <76%), SO<sub>2</sub> disminuyó de 1311 ug/m<sup>3</sup> -176 ug/m<sup>3</sup> (disminución en ~ 60%), NO disminuyó de 546 ug/m<sup>3</sup> a 218 (disminución en ~ 87%), el CO<sub>2</sub> disminuyó de 66.226 ug/m<sup>3</sup> / año en 2007 a 38.916 ug/m<sup>3</sup> / año en 2014 (disminución en <41%)”.

La reducción con que se obtuvo, fue gracias al cambio en el uso del combustible fósil por otro mucho más amigable con el ambiente, como es el gas natural o la biomasa (fuentes

renovables) que reducen de gran manera la emisión de gases y partículas que alteran la calidad de vida de las personas y el medio ambiente.

En Sudamérica, la ciudad andina de Manizales-Colombia, se realizó una investigación por (Cuesta mosquera, González duque, Velasco garcía, & Aristizábal, 2018), donde trabajaron en la determinación de perfiles espaciales con concentraciones en aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO) y ozono troposférico (O<sub>3</sub>), mediante el uso de muestreadores pasivos. Esto se realizó con el propósito de establecer una línea base de las concentraciones de estos contaminantes y analizar la posible influencia de fuentes locales de emisión (naturales y antrópicas). Las mediciones se realizaron en 12 puntos de monitoreo distribuidos entre las áreas urbana y rural de la ciudad, considerando la dirección del viento sobre la que se dispersa la pluma del volcán activo nevado del Ruiz. Se realizaron tres campañas de monitoreo con una duración de cuatro semanas cada una. Las concentraciones promedio de SO<sub>2</sub> variaron de 4.1 a 9.8 µg/m<sup>3</sup> en los diferentes puntos, con puntos de mayor concentración que sugieren influencia de la actividad industrial y del Nevado del Ruiz. Las concentraciones promedio de NO variaron en un rango de 5.9 a 82.2 µg/m<sup>3</sup>, con mayores concentraciones en los puntos con influencia de alto flujo vehicular. Las concentraciones de O<sub>3</sub> variaron de 16.1 a 68.1 µg/m<sup>3</sup>, y las mayores concentraciones se registraron en los puntos del área rural.

En Colombia-Bogotá, (Gaitán, Cancino, & Behrentz, 2007) realizó una investigación donde muestra un “análisis de datos registrados por una red de monitoreo de calidad de aire”, donde básicamente se logró la organización y estructuración de la base de datos, que facilita la validación y el análisis. Utilizando estos datos, se pudo realizar una evaluación de forma cuantitativa a la calidad del aire, donde se muestra que los “resultados encontrados referentes a los gases evaluados como son el óxido de azufre, el óxido de nitrógeno y el monóxido de



carbono, indican, en la actualidad, no son nocivos para la ciudad de Bogotá, siendo no significativo con relación a la contaminación del aire” demostrando así que el incremento existente por el paso de los años. Sin embargo, cabe mencionar que se encontró material particulado dentro de la atmósfera en Bogotá que sobrepasaba los límites de concentración anual según la normativa de dicho país, llegando a estar un 40% más alto que otros días del año.

En Colombia, (Carrera, Fuertes, Villacís, & Toulkeridis, 2015) realizaron la conceptualización, análisis y desarrollo, de un prototipo tecnológico de bajo costo, que permite medir parámetros referenciales de calidad de aire en la ciudad de Quito, sector Jipijapa. Con el objetivo de abordar todas las tareas de requerimientos necesarios de una manera eficiente y eficaz. El prototipo electrónico está equipado con tres sensores estos son: sensor MG-811 para medir la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sensor óptico Sharp GP2Y1010AU0F para medir la densidad de polvo, sensor MQ-7 para medir la concentración de monóxido de carbono (CO). En los resultados obtenidos indicaron que la calidad de aire se encuentra bajo los límites permisibles comparados con las normas internacionales publicadas por US-EPA.

En Argentina, el trabajo de (Chury, Sota, & Wendler, 2017) llevado a cabo en la ciudad de Concordia, y la ciudad de Los Charrúas, provincia de Entre Ríos, nos muestra una metodología donde las mediciones de calidad del aire realizadas en la ciudad, se hicieron con equipos registradores de material particulado, que se diseñaron a base de un sensor modelo GP2Y1010AU0, para conocer los valores y distribución de los contaminantes presentes. Las mediciones se realizaron por 24 horas en dos puntos en la ciudad de Concordia y tres puntos en la ciudad de Charrúas, para las concentraciones de PM<sub>10</sub>. Los resultados

obtenidos indican que ninguno de los valores medidos en los puntos cumple con los valores de referencia dados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En Ecuador, (Velasteguí, 2011) realizó un estudio donde desarrolló un diagnóstico de emisiones por fuentes fijas, elaborando el diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire dentro de la ciudad. Para esto, se tomó 42 puntos fijos dentro de la ciudad, que fueron tomados bajo un muestreo probabilístico regulado, distribuidos “en un eje longitudinal de 14,06 Km. por un eje transversal de 5,41 Km. con una extensión aproximada de 76,06 km<sup>2</sup>”. Dentro de los puntos evaluados, consideraron parámetros los parámetros: “material particulado (PM<sub>10</sub>); dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); monóxido de carbono (CO); oxígeno (O<sub>2</sub>); dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); Eficiencia global; Número de humo (Bacharach); Índice de Calidad del Aire (Icaire)”. Este estudio se realizó durante el periodo de 15 meses, donde se pudo ver que la calidad de aire en la ciudad de Ambato es entre óptima a bueno.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales.**

En el Perú, (Luna, Talavera, & Cano, 2017) se realizó una investigación donde se usó sensores electroquímicos de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en el distrito de San Isidro. La investigación se realizó con el fin de presentar un diseño de una estación de monitoreo de contaminación de atmosférica portátil, que sea de bajo costo y de fácil manejo para las personas. Para esto, se trabajó con sensores OUTDOR de la marca αSense (Essex – Reino Unido), que son inalámbricos, de alimentación energética solar. Estos sensores fueron diseñados para medir el gas en nmol/mol, siendo los parámetros evaluados: “CO<sub>2</sub>, VOC (alcoholes, aldehídos, hidrocarburos alifáticos, aminas, hidrocarburos aromáticos, CH<sub>4</sub>, LPG, ketones y ácidos orgánicos), CO, SO<sub>2</sub>, ozono y dióxido de nitrógeno

( $O_3 + NO_2$ )”. Los resultados obtenidos muestran que el dióxido de carbono excede en casi un 32% a los 400 ppm que se tomaron como valor promedio en esta investigación.

Por otra parte, (Moya, Arredondo, & Yuli, 2017) nos muestra un modelo de pronóstico sobre el tiempo, esto acoplado a un “modelo de química atmosférica (WRF-CHEM) para poder determinar así el transporte y dispersión de material particulado ( $PM_{10}$ )”, que por lo general son provenientes de las incineraciones de biomasa dentro de territorio nacional y lugares aledaños a esta. En esta investigación se muestra como se pudieron obtener los datos de emisiones por medio del inventario de incendios del centro nacional de investigaciones atmosféricas de EE.UU. (NCAR) y la base meteorológica desde el sistema global de predicción (GFS). Se trabajó los meses junio hasta agosto en el año 2015, donde pudieron determinar un incremento en el número de focos dentro de nuestro territorio, originando así un aumento progresivo en las emisiones de partículas y gases dentro de nuestro territorio. También cabe mencionar que el trabajo se detalla que existe una afección al territorio peruano por material particulado ( $PM_{10}$ ) que, por lo general, son emitidos por incendios ocurridos o actividades realizadas por otros países vecinos como es el caso del Brasil y Bolivia, quienes básicamente afectan a la población peruana mediante la traslación de los vientos. (Moya et al., 2017) muestra también un análisis fotométrico en el cual se registró un ascenso del espesor óptico por aerosoles desde mediados del mes de julio, siendo más notable en para el mes de agosto, con respecto al incremento de las concentraciones de  $PM_{10}$  simuladas, donde finalmente llegaron a “establecer una red de monitoreo de concentraciones de  $PM_{10}$ , prioritariamente en la región centro y norte del Perú, para la verificación constantes de la salud poblacional”.

### 2.1.3. Antecedentes locales.

En la ciudad de Juliaca (Huanca Aracayo, 2016), evaluó la concentración de material particulado menores o iguales a 2.5 micrómetros con el fin de determinar la variación de la concentración según a la ubicación y la actividad realizada dentro del distrito de Juliaca. Para esto se hizo uso del Hi-Vol de marca THERMO de alta presión con filtros de microfibra de cuarzo medición que son perfectos en la determinación de la concentración de  $PM_{2.5} \leq 2.5 \mu g/m^3$ . Para dicha evaluación se determinó nueve estaciones de monitoreo midiendo así la calidad del aire desde el de 7 al 12 de abril en el 2015, todo esto en un área de 50.62  $km^2$ , obteniendo los siguientes resultados:

“CA-01 (salida a Arequipa)  $57.3 \mu g/m^3$ , CA-02 (salida a Lampa)  $20.2 \mu g/m^3$ , CA-03 (Av. Aviación)  $19.3 \mu g/m^3$ , CA-04 (salida a Cusco)  $19.9 \mu g/m^3$ , CA-05 (circunvalación este)  $54.9 \mu g/m^3$ , CA-06 (salida a Huancané)  $27.1 \mu g/m^3$ , CA-07 (salida a Huata)  $26.4 \mu g/m^3$ , CA-08 (salida a Puno)  $19.6 \mu g/m^3$ , CA-09 (plaza Bolognesi)  $54.7 \mu g/m^3$ . Se observó que una de las actividades antrópicas de mayor relevancia es flujo vehicular con un promedio de 10,988 vehículos/24 horas. Se registró que la mayor concentración de contaminantes con  $PM_{2.5}$  fue la zona centro con un  $55.63 \pm 1.44 \mu g/m^3$ , la zona sur – este con  $24.36 \pm 4.14 \mu g/m^3$  y la zona oeste con  $19.80 \pm 0.45 \mu g/m^3$ . El valor del R cuadrado = 0.965, es decir, el 96.5°/° de la variación de la concentración de  $PM_{2.5}$  micrómetros menores o iguales están explicadas por las variables independientes”.

La exposición a elevadas concentraciones de material particulado menores a 10 micrómetros, constituye a la contaminación y causan daños a la salud humana, según (Hanco, 2017) en su investigación el cual determinó la concentración del material particulado menores a 10 micrómetros en tres zonas de la ciudad de Juliaca, Identificar las actividades antropogénicas que efectúan en la zona de evaluación de material particulado de

la ciudad. Se realizó el monitoreo en 9 estaciones de PM<sub>10</sub> por 24 horas, utilizando equipos de Hi-Vol marca THERMO, con filtros de microfibra de cuarzo; cuyos resultados de concentraciones PM<sub>10</sub> son:

“(CA-O1) Salida a Arequipa 37.7 µg/m<sup>3</sup>; (CA-O2) salida a Lampa – ladrillera 23.9 µg/m<sup>3</sup>; (CA-03) Urb. santa Adriana – aeropuerto 46.1 µg/m<sup>3</sup>; (CA-04) cerro Pocracasi – salida a Cuzco norte 7.7 µg/m<sup>3</sup>, (CA-05) óvalo salida a Cuzco 103.0 µg/m<sup>3</sup>; (CA-06) salida a Huancané 66.8 µg/m<sup>3</sup>; (CA-07) salida a Coata 49.5 µg/m<sup>3</sup>, (CA-08) salida Puno - zona industrial Taparachi 33.4 µg/m<sup>3</sup> y (CA-09) plaza Bolognesi 29.5 µg/m<sup>3</sup>. La zona más contaminada con material particulado (PM<sub>10</sub>) fue la zona centro con un 56.7 ± 40.27 µg/m<sup>3</sup>, seguido por la zona sur – este con 49.9 ± 16.70 µg/m<sup>3</sup> y por último la zona oeste con una concentración de 25.9 ± 19.27 µg/m<sup>3</sup>, siendo el flujo vehicular con un promedio de 11,488 vehículos/24 horas la mayor actividad antropogénica”.

## **2.2. Revisión de literatura**

### **2.2.1. El aire**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al aire puro como “la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0,5 milímetros”, los cuales en su conjunto envuelven la atmosfera terrestre. Los gases que conforman el aire son el Nitrógeno un 78.08 % y el Oxígeno un 20.95%, destacando el Argón entre los menos comunes, con 0.93%.

“Algunos de los componentes al “resto de gases” (equivalen a un 0.04%) se encuentran en concentraciones mayores, son sustancias nocivas para el medio ambiente y la salud humana. Estos incluyen: Ozono troposférico (O<sub>3</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>),

monóxido de carbono (CO), material particulado (PM), entre otras sustancias potencialmente tóxicas conocidos como contaminantes del aire” (Defensoría del Pueblo, 2016) Pg13.

### **2.2.2. Calidad de aire.**

La constitución política del Perú menciona que debemos contar con un ambiente sano y equilibrado, mejorando la calidad de vida, además, este es un derecho primordial establecido en el país; por lo mismo, es importante mantener la calidad de aire para que las personas gocen de una mejor calidad de vida, que se logrará solo con el compromiso y la participación activa de todos los actores, como es el estado, la población (activa) o las empresas privadas.

La evaluación de la calidad de aire es de suma importancia, debido a que, con estos datos obtenidos se logrará dar a conocer el tipo de medida tomarse, ya sea correctiva o preventiva dentro del ámbito nacional. Esto ayudara a proteger principalmente la salud y el bienestar de la población humana con un margen adecuado de seguridad.

Por su parte, (Gómez, 2017) indica que, “La calidad del aire es medida por medio de los niveles de emisión, que viene a ser la concentración media de un contaminante presente en el aire durante un período de tiempo determinado”. Esta concentración varía según al nivel del suelo, la dispersión del contaminante, la temperatura del lugar, la deposición, la precipitación y la absorción por la vegetación del lugar.

### **2.2.3. Contaminación del aire.**

La contaminación es considerada como el principal actor en la degradación del aire, ocasionando así riesgos en contra de la salud de las personas, en la seguridad alimentaria, en la generación de la economía y en el desarrollo normal del medio ambiente. Uno de los

principales contaminantes emitidos por actividades antropogénicas, es la producción y uso de energía basada en combustibles fósiles, que, en su mayoría, producen dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. La principal fuente de contaminantes de dióxido de azufre proviene del carbón, y las emisiones de óxido de nitrógeno son la generación principalmente por uso de vehículos. Otros contaminantes importantes son las partículas gruesas inhalables como son las partículas suspendidas totales, que surge del sector de la construcción. (Cuesta mosquera et al., 2018).

La presencia de CO<sub>2</sub> en la población es a causa de la combustión de todo combustible que se forma por la oxidación de los átomos de carbono. Entonces, la emisión de origen antropogénico se debe fundamentalmente a los procesos de generación de energía, a la actividad automotriz, al trabajo de las industrias, entre otros.

Los compuestos orgánicos volátiles, se producen por “la quema de combustibles (gasolina, madera, carbón o gas natural), el uso disolvente de pintura, pegamentos, repelentes de polillas, aromatizantes del aire, materiales empleados en pasatiempos, conservantes de madera, sustancias en aerosol, disolventes de grasa, productos de uso en la industria automovilística y líquidos para la industria de lavado en seco”. (US EPA, 1998).

De igual forma, la densidad de polvo total, es un parámetro que genera problemas muy perjudiciales a la salud de las personas, generándose por la emisión de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> entre otros componentes. Es un parámetro poco evaluado, debido a la complejidad y la falta de equipos de medición, por lo que hay muy pocas investigaciones de este componente.

## **2.2.4. Fuentes de contaminación del aire.**

### **2.2.4.1. Fuentes antropogénicas.**

La contaminación antropogénica es considerada como uno de los mayores contribuyentes en la generación de gases y partículas en la tierra, siendo así que el U.S. department of labor occupational safety and health administration, (2002) nos indica que dos tercios de emisión de contaminantes son a causa de la quema de materiales que contienen gas, gasolina, querosén, carbón, petróleo, madera o el uso de los carros, las chimeneas, estufas, calentadores de agua, etc. son algunas actividades que originan a la incrementación CO<sub>2</sub>, COV, MP<sub>10</sub>, MP<sub>2.5</sub> entre otros contaminantes. En el Perú, en los últimos años, el parque automotor fue incrementando aceleradamente, considerada hoy en día la mayor fuente de contaminación de aire del país. Esto fue evidenciado gracias al informe nacional del MINAM, que fue realizado en el 2011, donde se menciona una relación directa entre el incremento del número de autos y el aumento de gases y partículas en la atmosfera, que generan una degradación de la calidad de aire.

### **2.2.4.2. Fuentes de área**

Son las pequeñas empresas industriales o de servicios que son consideradas en grupos: tortillerías, panaderías, restaurantes, etc. (Contreras, 1999)

### **2.2.4.3. Fuentes lineales**

Son fuentes con longitudes prolongadas donde hay emisiones constantes como: bandas transportadoras o vías del ferrocarril (Contreras, 1999)



#### **2.2.4.4. Fuentes naturales.**

La contaminación de forma natural siempre ha existido, siendo estos, procesos de la naturaleza, tales son las erupciones volcánicas, la actividad biológica de microorganismos, los huracanes, tornados, incendios naturales, plantas en descomposición (metano, sulfuro de hidrógeno), generación de polvos que contiene materias biológicas, esporas, polen y bacteria según (Ávila, 1996)

En el Perú, la tercera parte de la contaminación esta atribuida por fuentes naturales, que son cauda por la presencia de CO<sub>2</sub> y CO, que reaccionan al contacto con distintos gases, pudiendo ser perjudiciales para la salud de la población humana. Afirma (Olaya et al., 2013).

#### **2.2.4.5. Fuentes móviles.**

Las fuentes móviles de contaminación atmosférica son uno de los motivos que mayor generan la degradación de la calidad del aire y por ende son uno de los que más impactan a las vías respiratorias de las personas, generando así problemas en la salud. Debido a ello, (Contreras, 1999) afirma que el “parque automotor produce emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, y compuestos de plomo”. Uno de los ejemplos que podemos mencionar es el uso de motores con diésel en los vehículos que emiten directamente partículas en forma de hollín causando la producción de contaminantes perjudiciales a la salud de las personas.

#### **2.2.4.6. Fuentes Puntuales**

Son las grandes empresas industriales o de servicios que por su magnitud se consideran de forma individual: cementeras, fundidoras, etc. (Contreras, 1999).

## **2.2.5. Contaminantes.**

### **2.2.5.1. *Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>***

Este componente químico, según lo menciona (Sordo Medina, 2010) es uno de los gases que más perjudican a la salud humana, además, es considerado como uno de los contaminantes que más aumento tubo en las últimas décadas, siendo agente anómalo notable dentro del cambio climático. Por su parte, (Keung Cheung, 2012) nos indica que el dióxido de carbono es “un gas incoloro, inodoro y es muy importante para que exista vida en el planeta tierra”.

Este compuesto proviene de dos fuentes principales como son las naturales y las antrópicas. La forma de producción natural es por lo general por la presencia de la evaporación de las aguas subterráneas (debido a su solubilidad en el agua), la actividad volcánica, el proceso de las aguas termales orgánicas, la respirar, la presencia de incendios forestales naturales por los rayos entre otras y la forma de producción antrópica como es la deforestación, quema de combustibles fósiles como carbón, gas natural, productos derivados del petróleo entre otros. (Sordo Medina, 2010).

### **2.2.5.2. *Compuestos orgánicos volátiles***

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son de especial interés por su efecto cancerígeno que según (Rojano, Mendoza, Arregoces, & Restrepo, 2016) son emitidos por automóviles, industrias, plantas generadoras de energía, refinerías, plantas químicas; entre otras fuentes. Del mismo modo, la agencia de protección ambiental, en sus ciclas (U.S. EPA), menciona de su peligrosidad resaltado que esta puede llegar a ser más peligrosa si en la troposfera llega reaccionar químicamente con el ozono en presencia de luz solar, ya que su efecto llega a ser mucho más nocivo para la salud humana.

### **2.2.5.3. Densidad de polvo total.**

La densidad total de polvo o densidad de polvo real es conocida como la concentración de polvo o masa que es básicamente la concentración total de partículas de 1 micrómetro, partículas de 2,5 micrones, partículas de 10 micrones y otros tipos de material particulado que afectan nocivamente a la salud humana. En la mayoría de estudios realizados acerca de la concentración de esta, es evaluado como partículas suspendidas totales y fracción respirable. (Campo García, 2016).

El polvo en el aire, son las partículas inhalables, las de menos de 10 micrones. El tamaño de las partículas de polvo es un determinante clave del peligro potencial para la salud humana.(Terradellas, Nickovic, & Zhang, 2015).

### **2.2.6. Contaminantes atmosféricos:**

Los contaminantes atmosféricos son gases o partículas generadas natural o artificialmente que, en grandes concentraciones, causan daño en la salud humana. Dentro de esta gran cantidad de contaminantes, según (Grineski, Clark-reyna, & Collins, 2016); Woodruff et al., (2000); Wu et al., (2009), encontramos contaminantes de especial interés por su efecto en la salud, como son los compuestos orgánicos volátiles (COV), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógenos (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) y los contaminantes peligrosos del aire (Hazardous Air Pollutants, HAP, por su sigla en inglés).

### **2.2.7. Efectos sobre la salud**

La exposición a contaminantes atmosféricos específicamente en la troposférica; incluyen partículas y contaminantes gaseosos que han cobrado una mayor importancia con

el pasar de los años debido a un aumento exponencial en la salud pública mundial. De hecho, el informe más reciente sobre la (GBD, 2016) enumera la contaminación del aire como la principal causa de muerte y la pérdida de años de vida ajustados por discapacidad, que representan un estimado de más de 3 millones de muertes prematuras por año en todo el mundo (Lim, Vos, Flaxman, & Goodarz, 2014); (GBD, 2016) La producción de humo de combustión de biomasa y carbón entre otro tipo de generación, son los principales actores en la contaminación del aire.

Sin embargo, cabe recalcar que las exposiciones y tendencias de la contaminación atmosférica son bastante dispares en diferentes partes del mundo siendo así que se considera como principales contaminantes atmosféricos al monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas suspendidas y ozono; estos a son evaluados con los mismos fines regulatorios, pero con pequeñas diferencias en los límites de concentración, esto de acuerdo a la comunidad en la cual se hace el monitoreo. (van Donkelaar, Martin, Brauer, & Boys, 2014).

#### **2.2.8. Efectos sobre el medio ambiente.**

“La niebla tóxica que flota por encima de las ciudades es la forma de contaminación del aire más común y evidente. Por lo general, se considera contaminación del aire a cualquier sustancia, introducida en la atmósfera por las personas, que tenga un efecto perjudicial sobre los seres vivos y el medio ambiente. El dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero, es el contaminante que está causando en mayor medida el calentamiento de la tierra, Otros contaminantes relacionados con el cambio climático son el dióxido de azufre, uno de los componentes de la niebla tóxica.” (National Geographic, 2010).

## **2.2.9. Factores que influyen en el monitoreo del aire**

En el caso de estudios ambientales los parámetros meteorológicos que se utilizan son los siguientes: temperatura ambiente, humedad relativa y dirección del viento. Estos parámetros se obtendrán del SENAMI.

### **2.2.9.1. *Temperatura***

Se denomina temperatura a la magnitud física empleada para medir sensaciones calientes o frías. Por lo tanto, dentro de estas mediciones encontramos escalas térmicas como grados centígrados, Fahrenheit o Kelvin, se las conocen también como unidades de medida.

### **2.2.9.2. *Humedad Relativa***

Es el porcentaje de vapor del agua en un momento dado y a una determinada temperatura; contiene aire, en relación con la máxima cantidad de vapor que a esa misma temperatura el aire puede tener. Entonces podemos decir que esta depende de la temperatura, ya que es la relación entre la “presión parcial del vapor de agua” entre la “presión de vapor de equilibrio de agua” en una temperatura dada.

### **2.2.9.3. *Dirección del viento***

Es el marco de referencia con respecto al cual se realizan las mediciones en la rosa de vientos y la dirección del viento donde nos da a conocer de dónde viene el viento, por lo general se mide en grados ( $^{\circ}$ ), minutos ( $'$ ) y segundos ( $''$ ).

#### **2.2.9.4. Velocidad del viento**

Es el movimiento con el que se mueve el aire, con una dirección horizontal y depende directamente de la distribución de las presiones. Cerca del suelo, la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura.

#### **2.2.10. Monitoreo.**

El monitoreo y la vigilancia de calidad del aire en nuestro país se rige estrictamente por el Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, elaborado por la Dirección General de Salud Ambiental, (DIGESA, 2005) para estandarizar y asegurar la calidad de los datos (R.D. N° 1404-2005-DIGESA/SA).

#### **2.2.11. Métodos de evaluación en la calidad de aire**

De acuerdo al artículo 9° del protocolo de calidad de aire aprobada por (DIGESA, 2005). La selección de métodos para el monitoreo se realiza con los siguientes criterios:

##### **2.2.11.1. Selectividad:**

Es el grado para determinar unos contaminantes según su método sin ser interferido por otros contaminantes.

##### **2.2.11.2. Especificidad:**

Es el grado para la determinación de intromisión de un contaminante.

##### **2.2.11.3. Límite de detección:**

Es la mínima acumulación requerida para ser detectada por el sistema para poder ser medido.

#### **2.2.11.4. *Sensibilidad:***

Rango de lectura de un instrumento a los cambios de los valores característicos del aire.

#### **2.2.11.5. *Exactitud:***

Similitud entre el valor medido con el valor verdadero.

#### **2.2.11.6. *Precisión:***

Similitud de resultados de medición de método aplicado tomando el valor promedio del monitoreo.

#### **2.2.11.7. *Calibración del instrumento:***

Es la comparación de la lectura que realiza el instrumento a calibrar con la lectura del instrumento de referencia.

#### **2.2.11.8. *Tiempo de respuesta del instrumento:***

Es el tiempo que requiere el instrumento a la señal, o el tiempo que transcurre desde que el contaminante entra en el sistema de medios hasta que el contaminante pueda ser medido.

### **2.2.12. Tipos de muestreo.**

#### **2.2.12.1. *Muestreadores pasivos***

Es un método eficiente de bajo costo que se utiliza para la evaluación de calidad de aire. Su funcionalidad se basa en la difusión molecular a un material absorbente para contaminantes específicos, donde se recolecta muestras integradas en un periodo determinado (variar entre semanas y a meses).

#### **2.2.12.2. Muestreadores activos**

Es un método donde las muestras de contaminantes son recolectadas mediante medios físicos y químicos para después ser analizados en un laboratorio. Estos son bombeados (volumen determinado de aire) a través de un colector hasta un filtro (muestreador activo manual) o una solución química (muestreador activo automático) dentro de un periodo dado para luego ser analizado.

#### **2.2.12.3. Analizadores automáticos**

Realizan mediciones en periodos largos con alta eficiencia, estas solo pueden medir en un solo punto, varios contaminantes como gases y partículas. La muestra es analizada al instante, casi siempre por el método electro óptico (absorción de UV o IR).

#### **2.2.12.4. Sensores remotos**

Son monitores que básicamente usan la metodología de la espectroscópicas; con la capacidad de medir, por un largo periodo, las concentraciones de distintos contaminantes al mismo tiempo, proporcionando así datos al instante. Estos datos se obtienen por medio de la integración entre el detector y una fuente de luz a lo largo de una ruta determinada.

### **2.3. Marco legal**

#### **2.3.1. Normativa nacional.**

##### **2.3.1.1. “Constitución Política del Perú”**

Que, el numeral 22 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.



### 2.3.1.2. “Ley General del Ambiente”

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611- Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente.

- Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente  
Decreto Legislativo N° 1013.

### 2.3.1.3. Estándares de calidad ambiental ECA

D.S. N° 003-2017- MINAM Estándares de calidad ambiental para aire. Para los parámetros de Benceno y Partículas 2.5 y 10 micras.

Tabla 1  
*Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA aire)*

Parámetro	Periodo	Valor (µg/m <sup>3</sup> )	Criterios de evaluación	Método de análisis
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras PM <sub>2.5</sub>	24 horas	50	NE más de 7 vez al año	Separación Inercial/ filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media Aritmética Anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras PM <sub>10</sub>	24 horas	100	NE más de 7 vez al año	Separación Inercial/ filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media Aritmética Anual	
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	10000	Media aritmética móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método Automático)
	1 horas	30000	NE más de 1 vez al año	
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Anual	2	Media Aritmética	Cromatografía de gases

Fuente: D.S. N° 003-2017-MINAM.

#### **2.3.1.4. *Protocolo de monitoreo de calidad de aire***

Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, elaborado por la (DIGESA, 2005) para estandarizar y asegurar la calidad de los datos (R.D. N° 1404-2005-DIGESA/SA).

#### **2.3.2. Normativa internacional.**

##### **2.3.2.1. *Estándares Internacionales de Calidad Ambiental***

- Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

Tabla 2

*Estándares Internacionales de Calidad Ambiental para Aire.*

<b>Parámetro</b>	<b>Periodo</b>	<b>Valor (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
PM <sub>10</sub>	24 horas	50
	Anual	20
PM <sub>2.5</sub>	24 horas	25
	Anual	10

Fuente: OMS (2005).

##### **2.3.2.2. *Notas Técnicas de Prevención (NTP): Normativa Española***

- NTP 549 Dióxido de carbono en la evaluación de calidad aire Interior. Hace mención estándares de calidad urbana.

Menciona que es un componente del aire exterior en el que se encuentra habitualmente a niveles entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas valores de hasta 550 ppm.

- NTP 972 Compuestos orgánicos volátiles olores y confort.
- NPT 243 calidad del aire en ambientes cerrados

Directiva 2000/69/CE del parlamento europeo y del consejo de 16 de noviembre de 2000 sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente.

## **Capítulo III.**

### **Materiales y métodos**

#### **3.1. Diseño y tipo de investigación**

##### **3.1.1. Enfoque**

La presente investigación es del tipo cuantitativo, ya que se manejarán datos numéricos del monitoreo de los niveles de CO<sub>2</sub>, VOC y densidad de polvo total (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>)

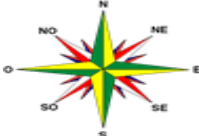
##### **3.1.2. Diseño**

Esta investigación es de tipo no experimental descriptiva, debido a que no se manipulará ninguna variable del estudio. Este tipo de estudios son escasos dentro del territorio peruano.

#### **3.2. Identificación de la zona de estudio.**

La presente investigación tuvo una sola población, la cual fue la ciudad de Juliaca, región Puno ubicada en las coordenadas UTM - WGS -1984 Zona 19. Este 378192, Norte 8286789.2 a una altitud de 3824 m.s.n.m. A continuación, se muestran las localidades colindantes a la población de Juliaca:

Tabla 3  
Localidades colindantes a la ciudad de Juliaca

Noroeste: Distrito de Calapuja	Norte: Provincia de Azángaro	Noreste: Lago Titicaca
Oeste: Distrito de Lampa y Cabanillas		Este: Distrito de Pusi y Samán
Suroeste: Distrito de Cabana	Sur: Distrito de Cabana y Caracoto	Sureste: Distrito de Caracoto

Nota: límites a la ciudad de Juliaca en todos puntos cardinales.  
Fuente: *Elaboración propia.*

### 3.3. Características de la zona de estudio.

#### 3.3.1. Población

Según el (INEI, 2017), la población urbana de Juliaca es de 216 716 habitantes (90 %) y como total de la provincia de San Román a 240,776 habitantes (100%). De estos, 220 610 (91,6%) formaban la población urbana y 20 166 (8,4%) la población rural, lo que significa que, de cada 100 personas de la provincia de San Román, 91 viven en la ciudad de Juliaca (INEI, Puno)

#### 3.3.2. Características climatológicas de la zona de estudio.

##### **Clima:**

El clima de la ciudad de Juliaca es frígido y seco, con temperaturas que fluctúan entre los 16° C (Máximo) y 4° C (Mínima), ésta última básicamente en invierno, en los meses de junio y julio. La precipitación pluvial promedio anual bordea los 760 mm, siendo abundante entre los meses de enero y marzo, el resto del año el clima es totalmente seco.

**Velocidad del viento:**

El viento es el movimiento de aire en la superficie que básicamente está generado por la acción de gradientes de presión atmosféricos producidos por el calentamiento diferencial de las superficies y masas de aire. La provincia de San Román es conocida por la alta variación de estas que afectan de alguna u otra manera a los habitantes aledaños a las industrias o lugares de alto tránsito. En la provincia de San Román se muestran una intensidad máxima de 6 m/seg correspondientes a la velocidad del viento.

**Dirección de los vientos:**

Las mediciones actuales realizadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, muestra una mayor procedencia de los vientos, del lado noroeste y sureste, proveniente del lado del lago Titicaca.

**Humedad relativa:**

La provincia de San Román cuenta con poca humedad relativa que en mediciones anuales muestra un promedio de 54 % que existente en la ciudad.

**Evaporación:**

La provincia de San Román tiene una evaporación alta debido a los procesos hidrológicos del altiplano y la influencia del lago Titicaca. Por ello es muy importante esto ya que la disminución o alteración sustancial de dichos indicadores, podrían significar la alteración terrible en los ciclos hidrológicos generando así una modificación en el clima afectando principalmente a sus habitantes.

## Mapa de ubicación

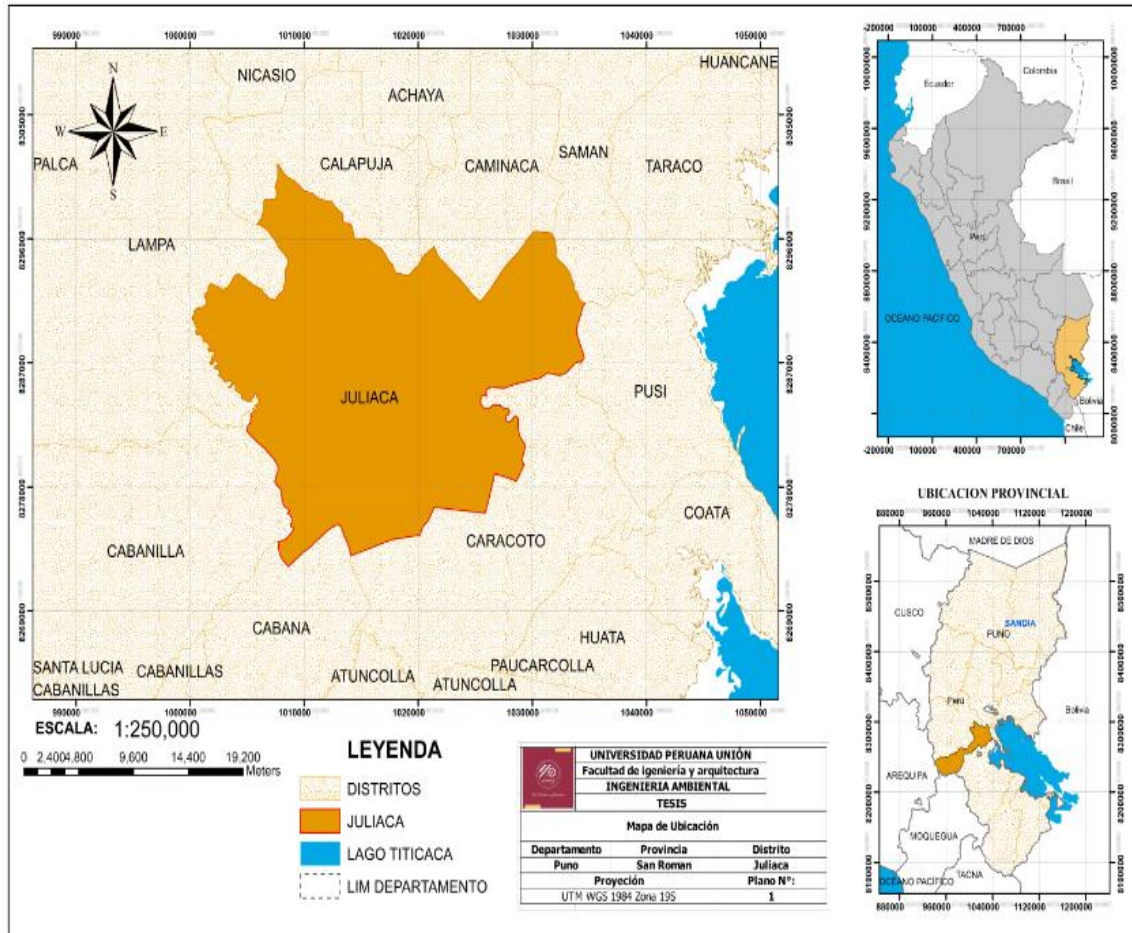


Figura 1. Ubicación del distrito Juliaca.

Fuente: Elaboración propia. Ver Anexo N° 3

### 3.4. Metodología para el monitoreo de la calidad de aire.

#### 3.4.1. Escala del monitoreo de la calidad de aire

La escala de medición según el protocolo de calidad de aire y gestión de datos elaborado por (DIGESA, 2005), determinada para el presente proyecto de investigación, es a escala Local; debido a que la categoría o escala local define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4.0 kilómetros, de la concentración de la población y localidad de Juliaca está dentro de las dimensiones.

### **3.4.2. Determinación de puntos de monitoreo**

Se considerarán la determinación del número de sitios de medición tal como señala el protocolo de calidad de aire y gestión de datos elaborado por (DIGESA, 2005).

- ∄ Se considerará la cantidad de la población en el área en el que se pretende monitorear.
- ∄ Se considerará la problemática existente en el área a monitorear.
- ∄ Se considerarán los factores económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

Para la presente investigación se seleccionó un total de 6 puntos de monitoreo en ciudad de Juliaca, de los cuales 4 puntos están en la Av. circunvalación en la salida a Arequipa, salida a Lampa, salida a Cusco, salida a Huancané, y los 2 restantes en lugares más concurridos en la ciudad los cuales son mercado Túpac Amaru y mercado Santa Bárbara. En general los puntos en selección son lugares de mayor movilidad de vehículos y concurrencia de personas. En la siguiente imagen se muestra la ubicación de los puntos de monitoreo.



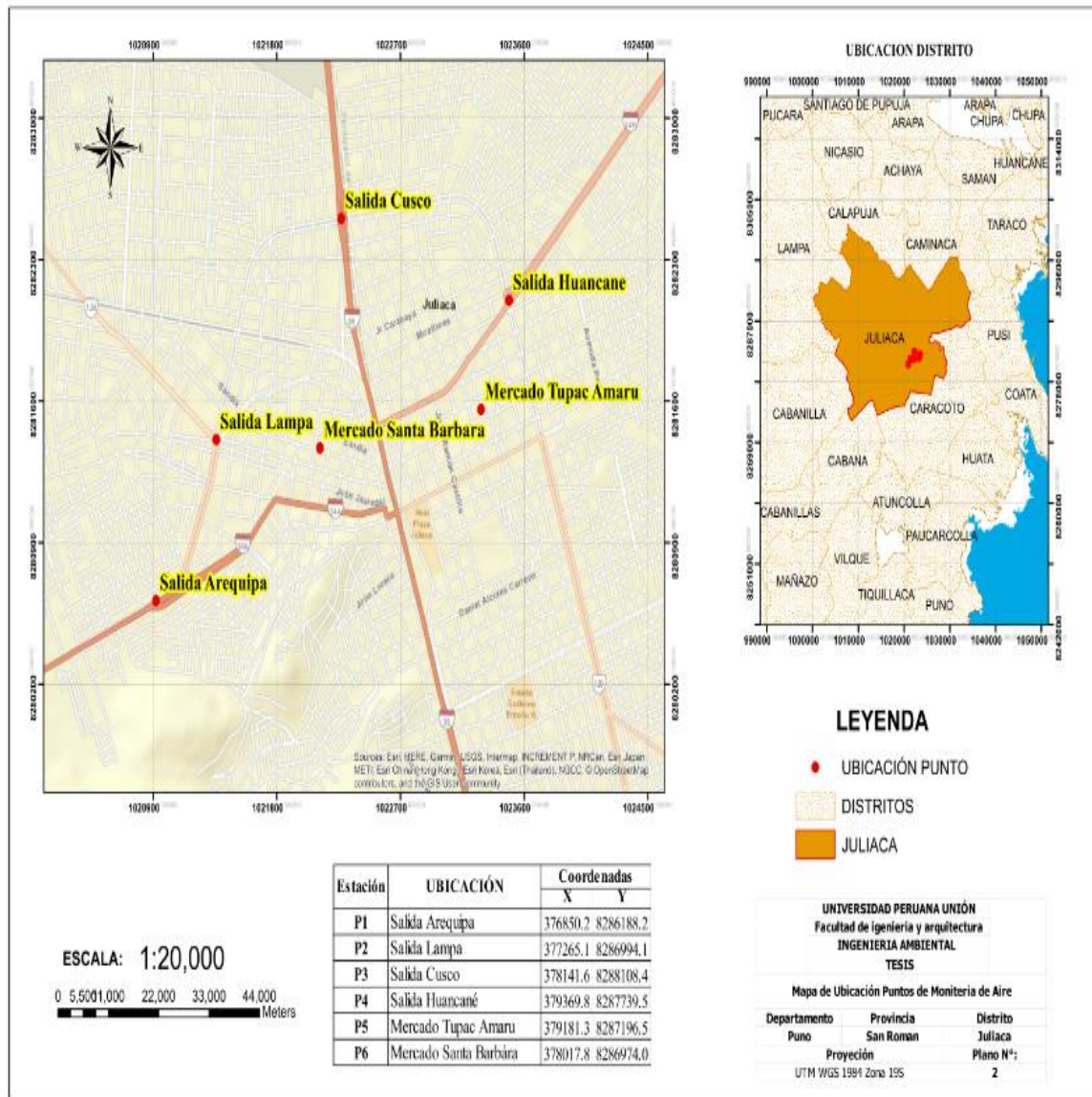


Figura 2. Ubicación de los puntos de monitoreo en la ciudad de Juliaca.  
 Fuente: Elaboración propia. Ver Anexo N° 4

En el estudio se consideraron 6 puntos de acuerdo a la densidad poblacional, movimiento de transeúntes, actividad del parque automotor y ubicación de puntos vulnerables como colegios, restaurantes, entre otros. En la tabla 2 podemos ver los puntos de monitoreo codificados por estación. Los cuales están en las coordenadas UTM - WGS - 1984 Zona 19 S.

Tabla 4  
Puntos de monitoreo

Ubicación	Coordenadas	
	Este	Norte
Salida a Arequipa	376850.23	8286188.18
Salida a Lampa	377265.07	8286994.08
Salida a Cusco	378141.55	8288108.44
Salida a Huancané	379369.82	8287739.48
Mercado Túpac Amaru	379181.33	8287196.45
Mercado Santa Bárbara	378017.82	8286974.04

Nota. Coordenadas de los 6 puntos a monitorear. Coordenadas UTM - WGS -1984 Zona 19 S

### 3.4.3. Selección de los parámetros a monitorear

Los contaminantes atmosféricos son producidos por fuentes fijas y móviles, los cuales pueden generar contaminantes secundarios (lluvias ácidas u ozono). Según el Informe Nacional de Calidad de Aire, elaborado por el Ministerio del Ambiente, Juliaca es uno de las ciudades con bajos índices de calidad de aire, y por ello se encuentra dentro de las 31 Zonas de Atención Prioritaria (ZAP), y los principales contaminantes que se emiten a la atmosfera son: PTS, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, VOC y H<sub>2</sub>S. Por esta razón el presente proyecto de investigación tiene como objetivo fundamental medir la cantidad de concentración de CO<sub>2</sub> y VOC en la ciudad de Juliaca, ya que ambos contaminantes generan graves daños a la salud de las personas, y también las partículas en suspensión tales como PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

#### **3.4.4. Método de recolección de datos**

En esta investigación se utilizará un equipo prototipo de medición automática (data logger) utilizando hardware arduino y los sensores modelo “CCS811” con la capacidad para medir la concentración CO<sub>2</sub> y VOC, y el sensor para medir la densidad de polvo modelo GP2Y1010AU0F y software programación C++.

Todas las mediciones se realizarán de acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de aire y se ceñirán conforme a las normativas nacionales establecidas por la Dirección de Salud Ambiental y el Ministerio de Medio Ambiente. El equipo realizara la medición de los niveles de CO<sub>2</sub> y VOC y densidad de polvo en forma automática. Las mediciones serán almacenadas en la memoria SD, en un documento texto., los cuales serán transferidos a un disco duro luego del término de medición 48 horas por cada punto de monitoreo, para su posterior análisis estadístico del resultado de medición de un aproximado de 1440 datos recolectados por cada punto. Se usarán normativas nacionales e internacionales para comparar los resultados de las concentraciones en cada punto.

#### **3.5. Frecuencia de monitoreo y periodos de muestreo**

El monitoreo se realizará de forma automática, tomando dos mediciones en cada punto de 24 horas, con una frecuencia de 2 minutos en la recolección de datos en un periodo de 12 días. El monitoreo se realizará en el mes de noviembre siendo esta temporada de frecuentes lluvias.

### 3.6. Delimitación geográfica y temporal

#### Ubicación Geográfica:

Tabla 5

*Delimitación geográfica y temporal*

<b>Departamento:</b>	Puno
<b>Provincia:</b>	San Román
<b>Ciudad:</b>	Juliaca
<b>Lugares:</b>	Salida a Arequipa, salida a Cusco, salida a Lampa, salida a Huancané, mercado Santa Bárbara, mercado Túpac Amaru,

Nota. Ubicación geográfica y lugares donde se eligieron los puntos de monitoreo

#### Ubicación Temporal:

Tabla 6

*Delimitación temporal*

<b>Año:</b>	2018
<b>Mes:</b>	Noviembre

Nota. Mes de ejecución de la investigación Noviembre en el año 2018

### 3.7. Materiales y equipos

#### 3.7.1. Materiales

Tabla 7

*Materiales para la programación y fabricación del data logger*

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>
• sensor (CO <sub>2</sub> , COV,)	1
• Sensor (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> )	1
• Placa Arduino	1
• Pantalla OLD	1
• Reloj RTC	1
• Memoria SD	1
• Cargador	1
• Batería	1
• Panel Solar	
• Accesorios	2
• Computadora Core i5 4ta Generación	1
<b>Materiales</b>	
• Cautin	1
• Pasta para soldar	1
• Estaño	1
<b>Softwares</b>	
• Programa C++	1
<b>Hardware</b>	
• Placa NANO Arduino	1

Nota. Materiales necesarios para la para la fabricación y programación del data logger para posterior Evaluación de la calidad de aire en la ciudad de Juliaca.

Tabla 8  
*Materiales y equipos para la evaluación de la calidad de aire*

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>
• Data logger	1
• Cámara Fotográfica	1
<b>Materiales</b>	
• Plano de la ciudad de Juliaca	1
• Datos meteorológicos de Juliaca SENAMHI	1
• Formatos de registro de datos	1
<b>Softwares</b>	
• ArcGIS 10.3	1
• AutoCAD Civil	1

Nota. Equipos y materiales utilizados para registrar el monitoreo de los 6 puntos durante el periodo de noviembre.

### **3.7.2. Diseño de multiparámetro de la calidad del aire.**

Para la construcción del multiparámetro o también denominado datalogger de campó para realizar mediciones en tiempo real, se realizó lo siguiente.

#### **3.7.2.1. Características de los dispositivos hardware**

Dentro del hardware se seleccionó a Arduino, y los shield que han sido fabricados para su compatibilidad. Se eligió la del prototipo placa Arduino nano.

Tabla 9  
Características de la plataforma Arduino

Pines utilizados para el Arduino Nano	Valor
Microcontrolador	ATmega328p
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada recomendado	7-12V
Pines de entrada/ salida	14 (6 de los cuales proporcionan salida PWM)
Pines digitales PWM entrada/salida	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por pin entrada/salida	20 mA
Corriente DC para el 3,3V	50mA
Memoria flash	32KB, de los cuales 0,5 KB es usada por el gestor de arranque
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Nota. Características de la plataforma Arduino y los pines de la placa.  
Fuente. [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

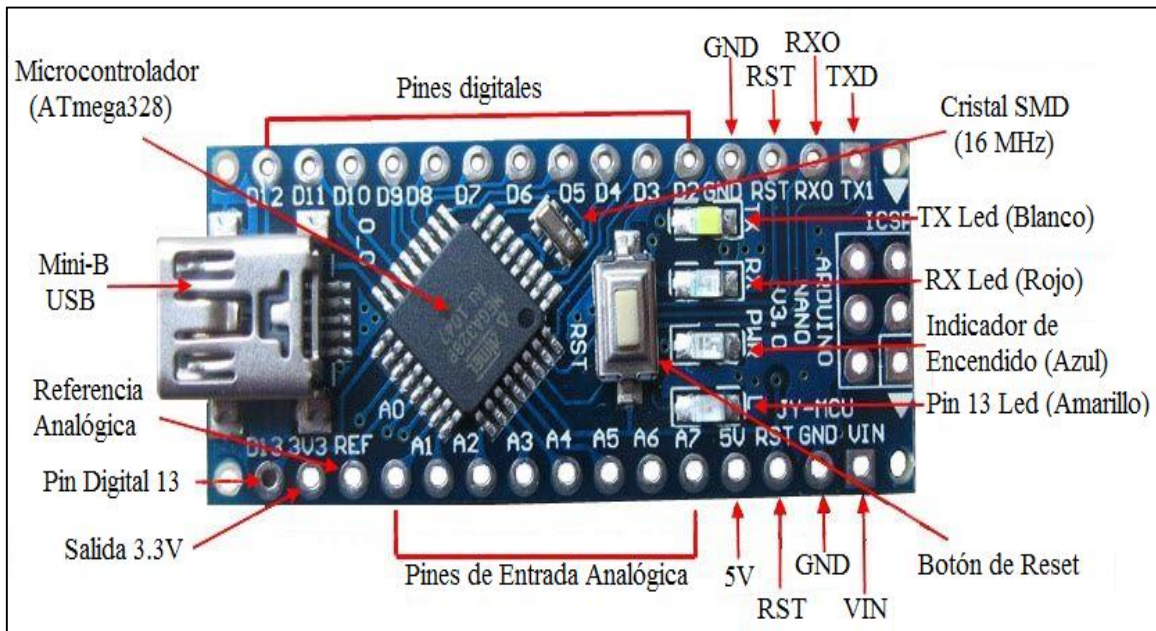


Figura 3. Descripción de los pines de la placa Arduino Nano  
Fuente. Arduino Nano

### 3.7.2.2. Hardware del modulo

El diseño del prototipo se realizó de acuerdo a los componentes que lleva y son los siguientes.

#### **3.7.2.2.1. Sensor de gas modelo CCS811**

Es un sensor de gas, que usa la tecnología de baja potencia que detecta compuestos orgánicos volátiles (COV), también proporciona la detección de dióxido de carbono, con la capacidad de registrar datos en tiempo real.

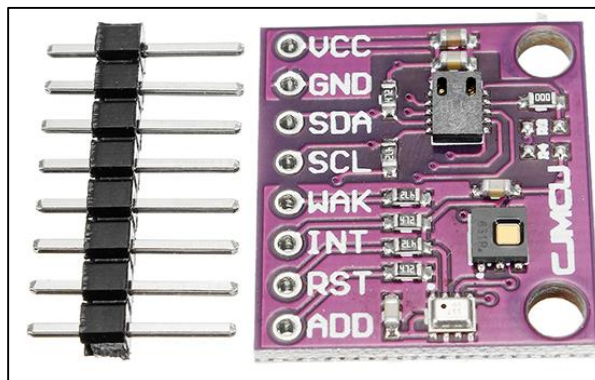


Figura 4. Sensor de gas modelo CCS811  
Fuente. [www.banggood.com](http://www.banggood.com)

#### **3.7.2.2.2. Sensor de polvo total modelo GP2Y1010AU0F**

Es un sensor de polvo analógico de la firma SHARP, modelo GP2Y1010AU0F, que trabaja por el principio de reflexión de la luz. “El fotodiodo emite un haz de luz en el interior de la cavidad de medición, y un fototransistor captura la luz emite un haz de luz en el interior de la cavidad de medición, y un fototransistor captura la luz reflejada. Cuando las partículas entran en la cavidad de medición y dispersa la luz reflejada” (Chury et al., 2017) (pg.2).





Figura 5. Sensor de polvo total modelo GP2Y1010AU0F  
Fuente. www.sharp-world.com

### 3.7.2.2.3. *Diseño de circuito.*

El desarrollo del circuito se realizó en el programa el EAGLE, para su posterior quemado en la placa de fibra de vidrio.

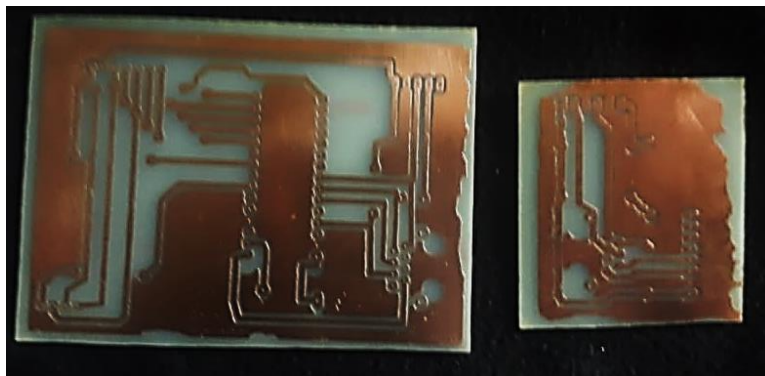


Figura 6. Diseño de circuito en placa de fibra de vidrio  
Fuente. Elaboración propia

### 3.7.2.2.4. *Circuitos data logger*

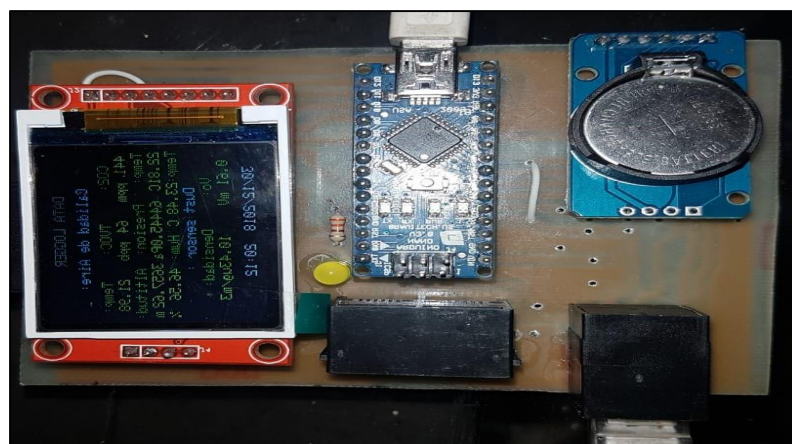


Figura 7. Circuito de data logger

El circuito de data logger tiene sus accesorios se compone de tarjeta data logger, placa nano arduino, grabador SD para grabar los datos en un archivo texto, pantalla táctil para visualización de datos, fuente de alimentación de 5VDC/500mA a 100/240VAC - 50/60Hz y Reloj RTC.

### 3.7.2.2.5. Circuitos de los sensores

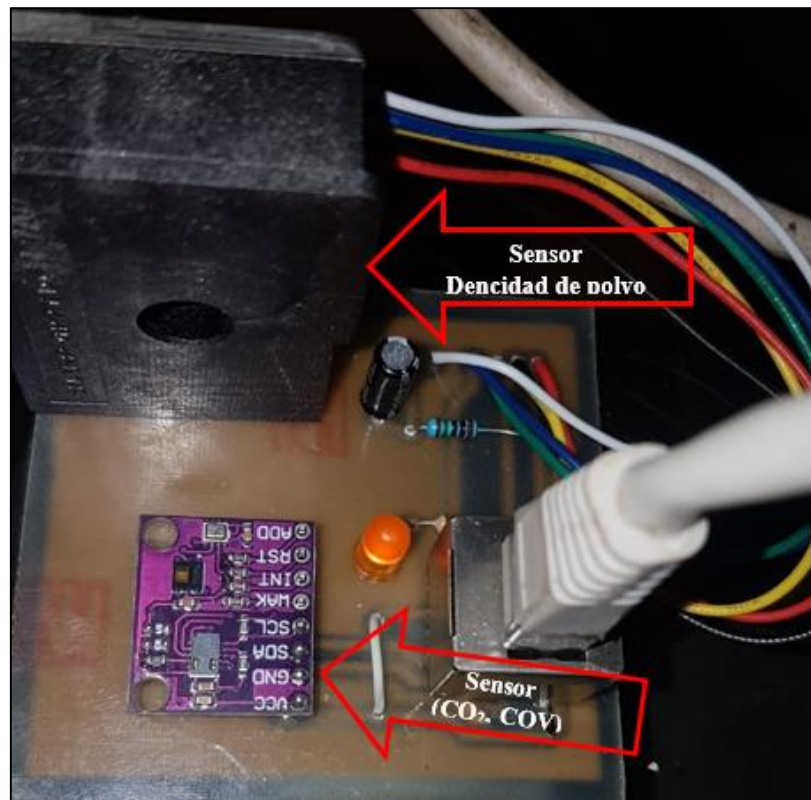


Figura 8. Tarjeta de Sensores

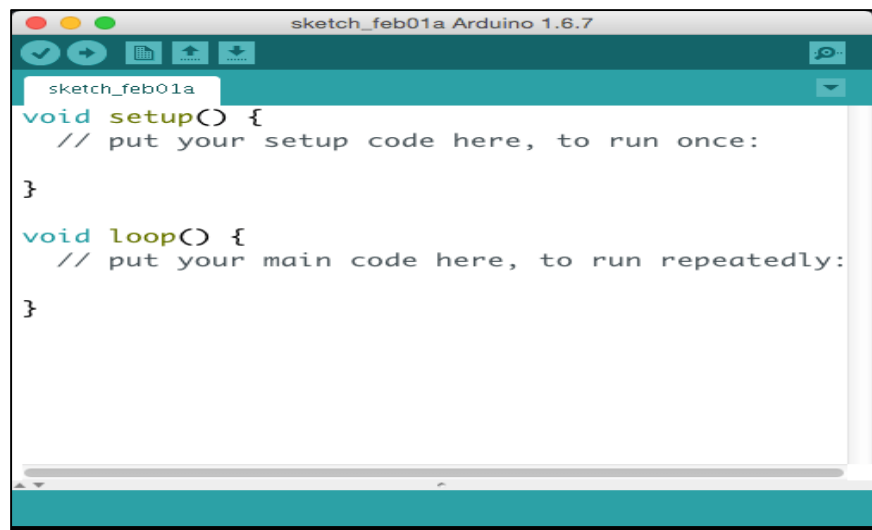
La placa está conformada con el sensor de polvo, sensor de CO<sub>2</sub> y COV, un led que emite un haz de luz cada vez que realiza la medición, esta es cada dos minutos y un conector de red para la alimentación de energía eléctrica y transferencia de información de los datos de monitoreo.

### 3.8. Herramientas de programación para el multiparámetro

Permiten crear programas y rutinas específicas, para que se ejecuten de acuerdo a los requerimientos deseados por el programador. En la actualidad existen múltiples herramientas de programación ya sean para personas que están iniciando en el mundo de la programación o para personas expertas. En el presente proyecto se utilizará la plataforma Arduino.

#### 3.8.1. Software utilizado

Arduino es un lenguaje de programación para la plataforma hardware de Arduino, el lenguaje que opera dentro de Arduino se llama Wiring basado en la plataforma Processing y primordialmente en el lenguaje de programación C++ que es un lenguaje de alto nivel. Es de código abierto y está conformada por una placa con entradas y salidas ya sean analógicas o digitales. La programación en Arduino está enfocada para un aprendizaje fácil de cualquier persona.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sketch\_feb01a Arduino 1.6.7". The main editor area contains the following C++ code:

```
sketch_feb01a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Figura 9. Interfas de plataforma de Programcion Arduino.

Fuente. Plataforma de software libre

Arduino es una plataforma de software libre, la cual brinda una serie de herramientas como su propio compilador, diferentes librerías, una comunidad de ayuda, etc. Estos recursos brindan una buena base, haciendo de esta una herramienta poderosa y potente a la hora de desarrollar proyectos, para el uso de la plataforma se instaló el software de Arduino en versión 1.8.9, la cual se descarga de forma gratuita por ser un entorno de desarrollo libre.

## **Capítulo IV.**

### **Resultados y discusiones**

#### **4.1. Resultados y discusiones.**

Según al objetivo de la investigación, se planteó la evaluación de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), densidad total de polvo y compuestos orgánicos volátiles (COV) con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, por lo que se realizó la construcción de un multiparametro de calidad de aire, el monitoreo y la recolección de datos para luego ser analizados, utilizando normativa extranjera y nacional, debido a la escasa información respecto a los parámetros evaluados.

##### **4.1.1. Resultado de CO<sub>2</sub>.**

La evaluación del CO<sub>2</sub> ambiental, es de muy poco interés dentro del Perú, a pesar del gran efecto negativo que causa en las personas como dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios cuando se encuentran en concentraciones muy elevadas. La poca información respecto a este contaminante se debe a las evaluaciones se realizan en los trabajos, donde las personas tienen mayor contacto con estos. Es importante tener en cuenta que, pese al tiempo de exposición, la concentración del dióxido de carbono es un factor importante en la generación de enfermedades.

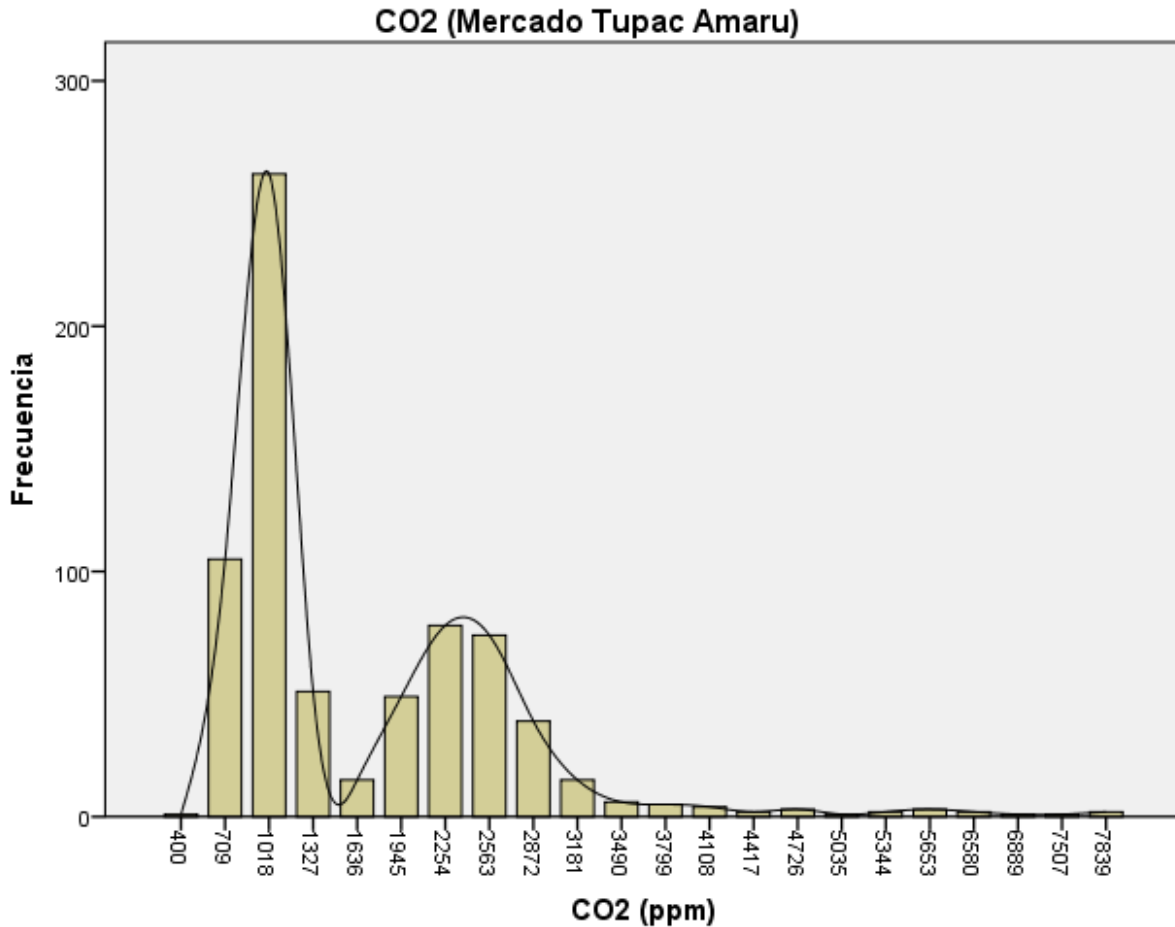


Figura 10. Dióxido de carbono mercado Túpac Amaru

En el punto de monitoreo N° 5 (mercado central Tupac Amaru), se tomó 721 lecturas en la cual el valor mínimo es de 400 ug/m<sup>3</sup> y el máximo de 7939 ug/m<sup>3</sup>. Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de 709 ug/m<sup>3</sup> y 1327 ug/m<sup>3</sup>, cuya media aritmética es de 1018 ug/m<sup>3</sup>, encontrándose este valor fuera de los estándares mencionados por el NTP 549, que establece valores máximos de 400 ug/m<sup>3</sup> para calidad de aire externo en zonas urbanas. Esto se debe a la actividad frecuente del parque automotor y la presencia de establecimientos de comida (pollerías), que son actividades cotidianas y de alta generación de CO<sub>2</sub>.

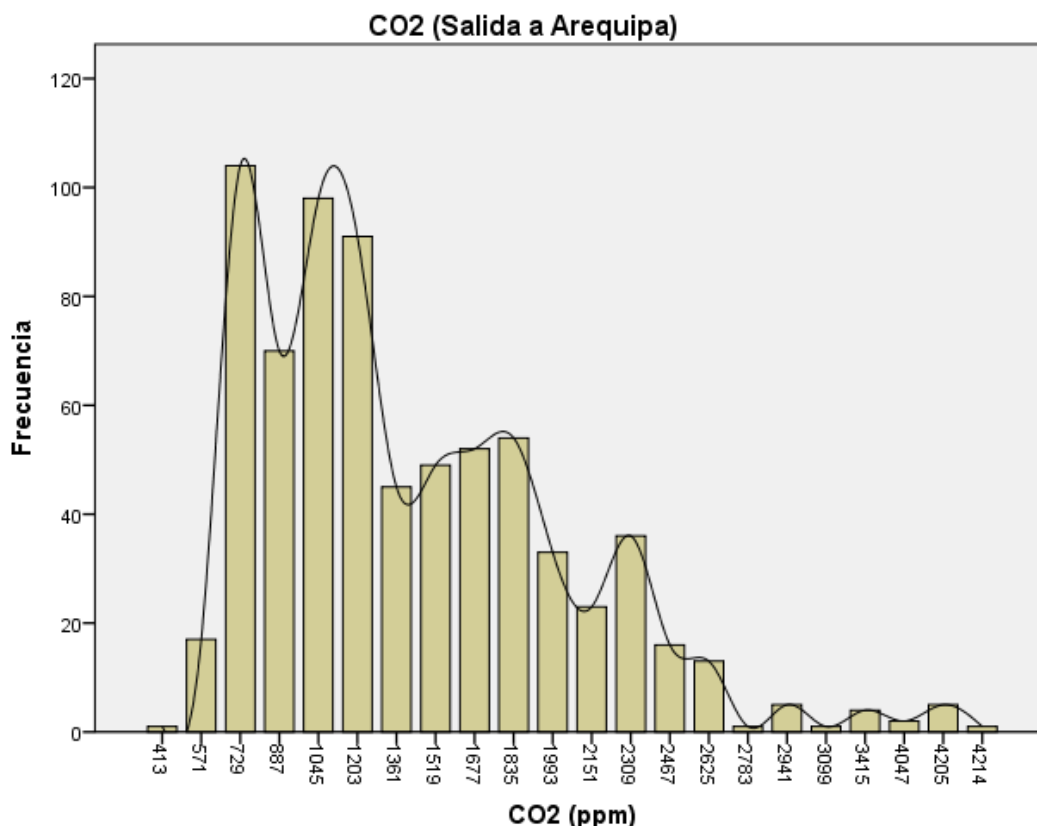


Figura 11. Dióxido de carbono salida a Arequipa.

En el punto de monitoreo N° 1 (salida a Arequipa), se tomó 721 lecturas en la cual el valor mínimo es de 413  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el máximo de 4214  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de 729  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1361  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuya media es de 1045  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose este valor fuera de los valores indicados por la el NTP 549, que establece valores máximos de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para calidad de aire externo en zonas urbanas. Esto se debe a la actividad frecuente del parque automotor y por ser una zona industrial.

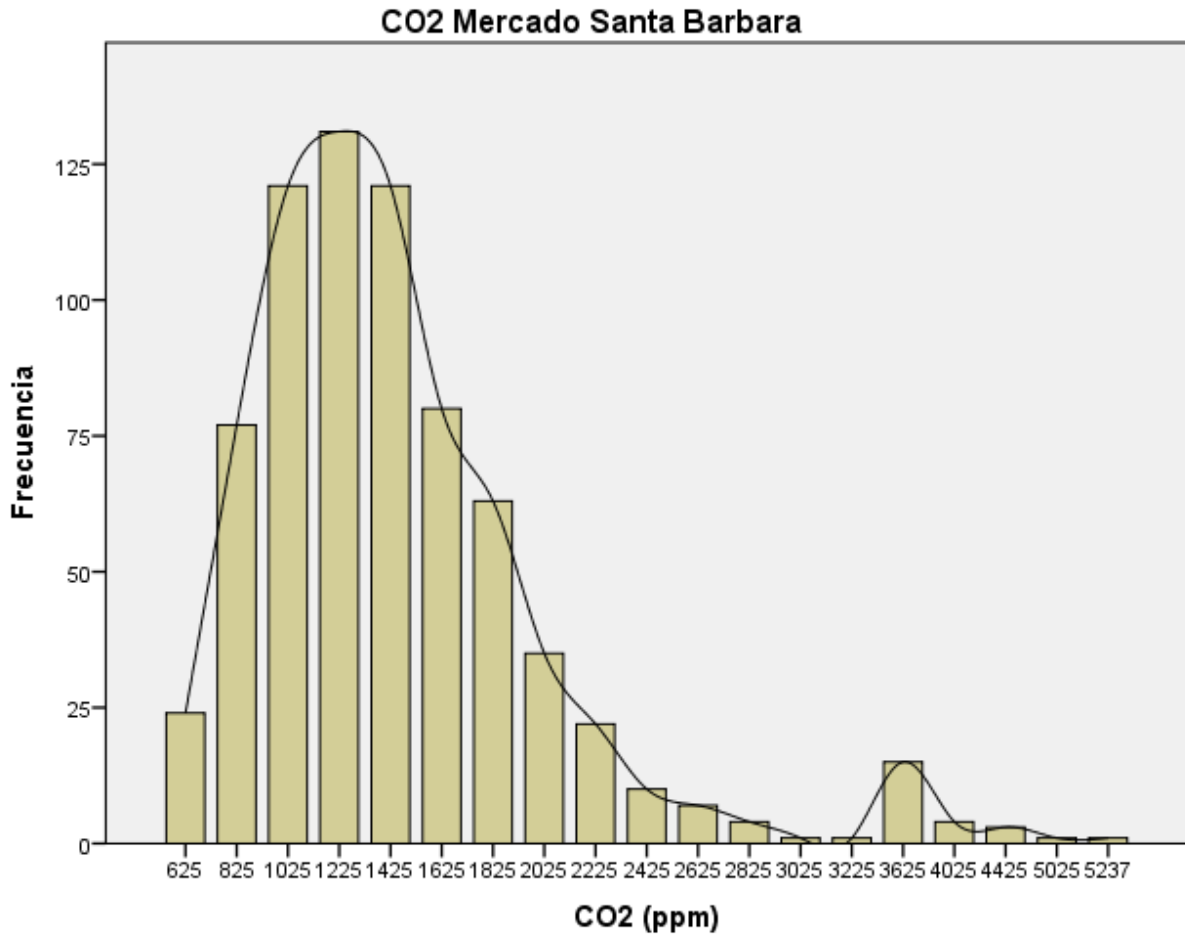


Figura 12. Dióxido de carbono mercado santa Bárbara

En el punto de monitoreo N° 6 (mercado Santa Bárbara), se tomó 721 lecturas en la cual el valor mínimo es de 625  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el máximo de 5237  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de 825  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1625  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuya media es de 1225  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este valor medio esta fuera de los valores indicados por la NTP 549, que establece valores máximos de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para calidad de aire externo en zonas urbanas. Estas alteraciones en la evaluación, se deben a la actividad frecuente del parque automotor y la presencia de establecimientos de comida, que son actividades con alta generación de  $\text{CO}_2$



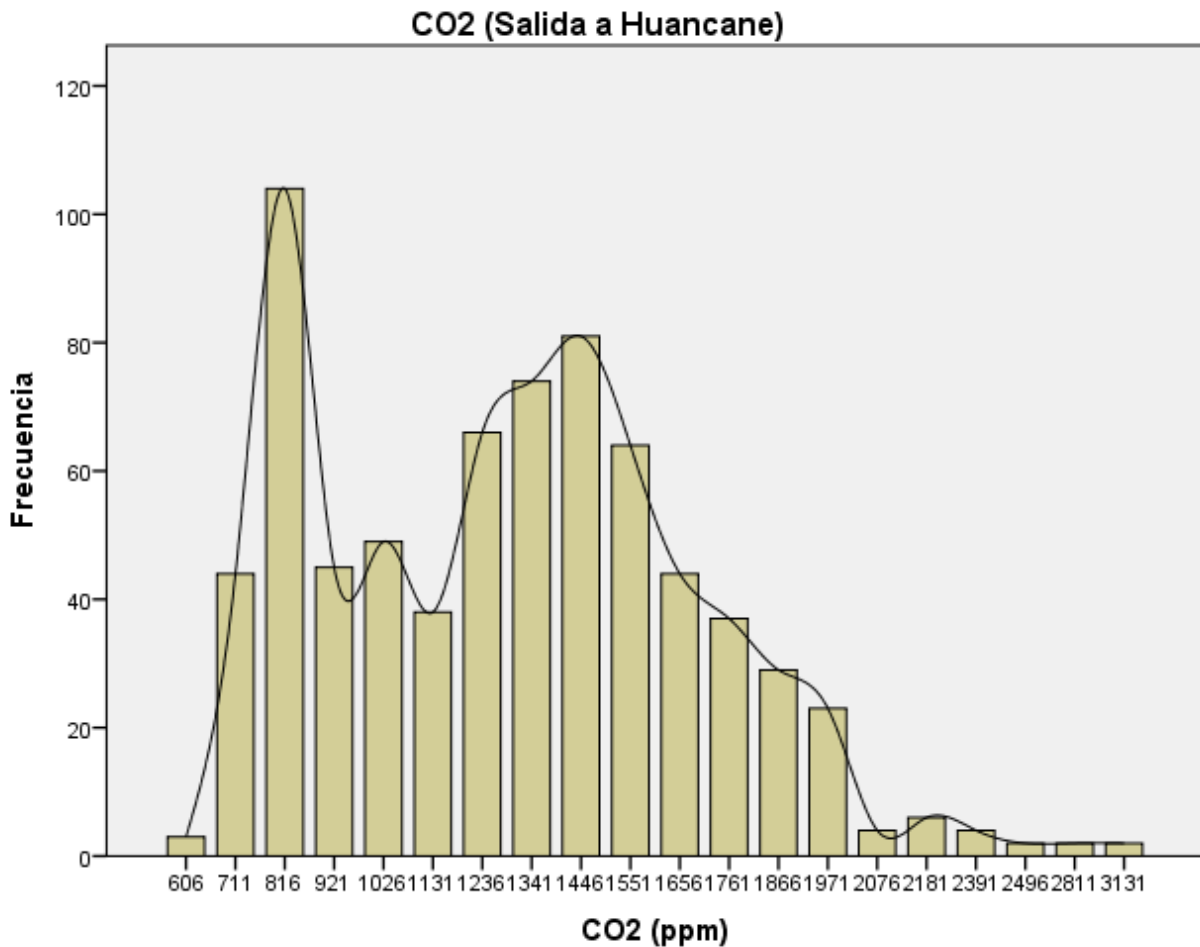


Figura 13. Dióxido de carbono salida a Huancané

En el punto de monitoreo N° 4 (salida a Huancané), se tomó 721 lecturas en la cual el valor mínimo es de 606  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el máximo de 3131  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de 1131  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 1656  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuya media es de 1393.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este valor medio esta fuera de los valores indicados por la NTP 549, que establece valores máximos de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para calidad de aire externo en zonas urbanas. Estas alteraciones en la evaluación de  $\text{CO}_2$ , se debe a la actividad frecuente del parque automotor en el punto, por ser una avenida principal de la ciudad de Juliaca.

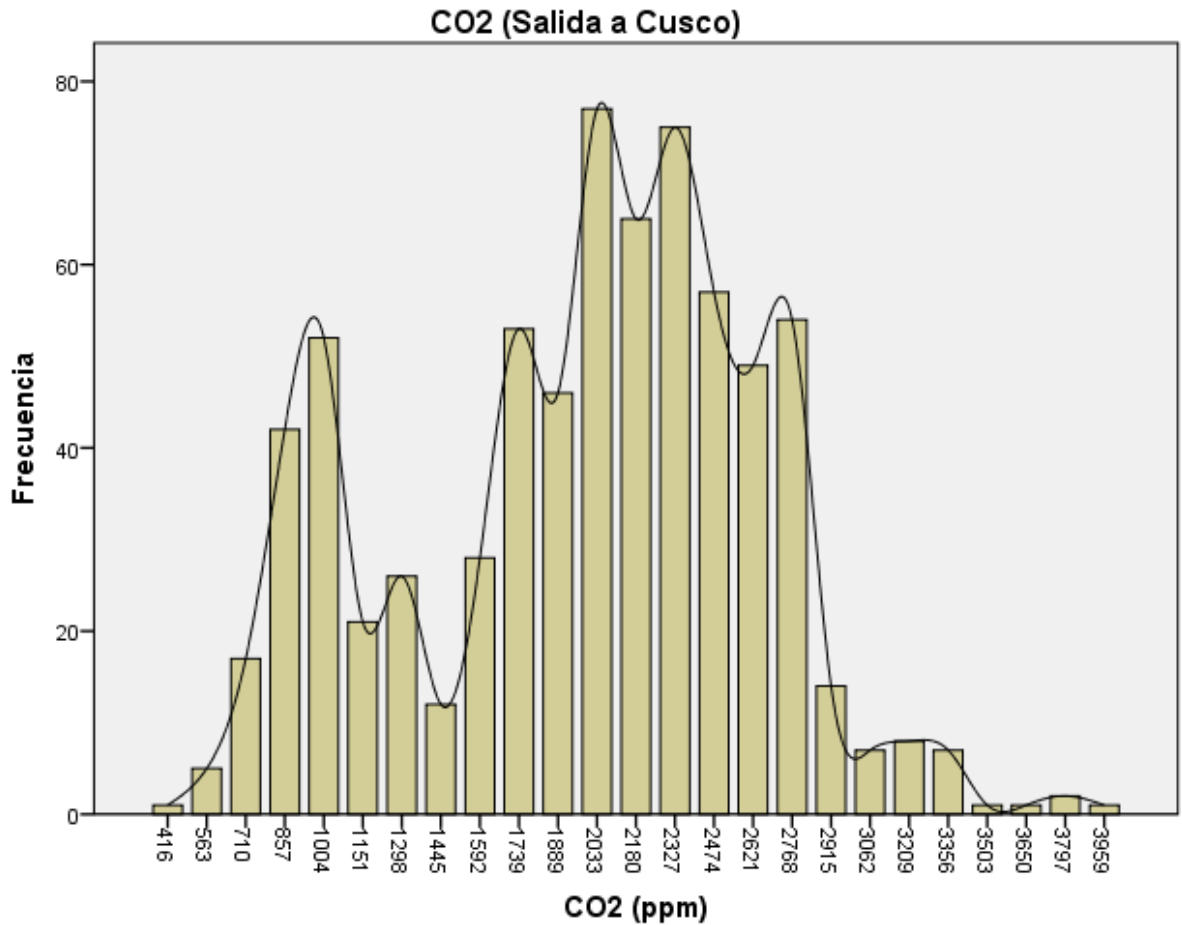


Figura 14. Dióxido de carbono salida a Cusco

En el punto de monitoreo N° 3 (salida a Cusco), se tomó 721 lecturas en la cual el valor mínimo es de 416  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el máximo de 3959  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de 1889  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 2621  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuya media es de 2255  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este valor medio esta fuera de los valores indicados por la NTP 549, que establece valores máximos de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para calidad de aire externo en zonas urbanas. El movimiento del parque automotor dentro de este punto es alto, siendo una de las avenidas principales más transitadas de la ciudad de Juliaca.

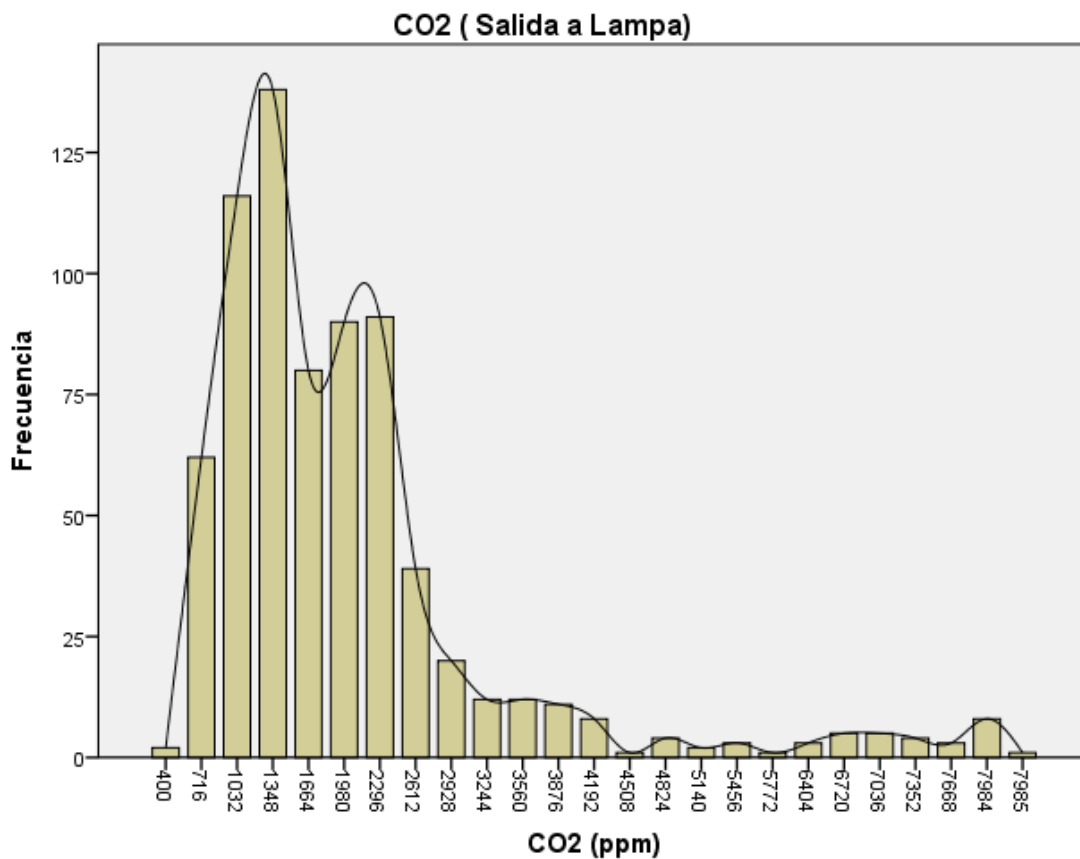


Figura 15. Dióxido de carbono salida a Lampa

En el punto de monitoreo N° 2 (salida a Lampa), se tomó 721 lecturas en la cual el valor mínimo es de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el máximo de 7985  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de 1710  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 3020  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cuya media es de 2365  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este valor medio obtenido se encuentra fuera de los valores mencionados por la NTP 549, que establece valores máximos de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para calidad de aire externo en zonas urbanas. Esta zona es conocida por la alta presencia de vehículos en tránsito, siendo una de las avenidas principales de la ciudad.

#### 4.1.2. Resultados de COV

La evaluación del COV dentro de la ciudad de Juliaca, debe ser considerada importante, debido a la presencia de botaderos clandestinos de basura, el uso de pinturas, actividades como construcciones o decoraciones, el uso de productos de limpieza, consumo del tabaco y actividades entre otras actividades y productos usados que contiene estos compuestos.

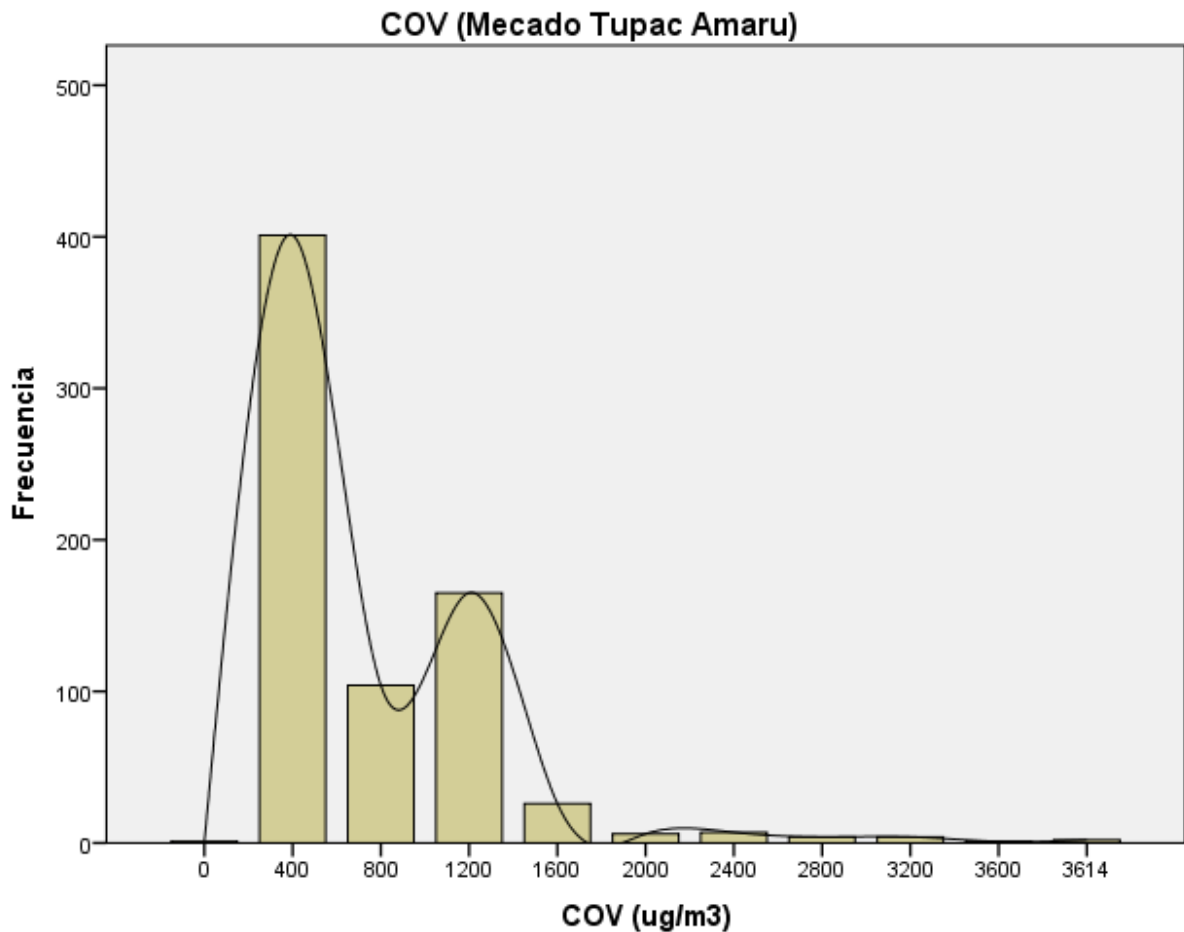


Figura 16. Compuestos Orgánico Volátiles de mercado Túpac Amaru

Dentro de la evaluación realiza, respecto a los compuestos orgánicos volátiles, se tomó 721 lecturas de las cuales, el valor mínimo es de  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el máximo de  $3614.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se puede observar también una mayor concentración de los datos entre los valores de  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ug/m<sup>3</sup>, cuya media es de 800 ug/m<sup>3</sup>. Este valor se encuentre fuera de los estándares Establecidos en la directiva de calidad de aire 2000/69/CE del parlamento europeo y del consejo (2000), donde se estable como valor límite a 5 ug/m<sup>3</sup> (1.57 ppbv) para el benceno en el ambiente. Actualmente no existe una normativa para la evaluación de COV's totales, siendo esperada su creación a mediano plazo, debido a los efectos adversos a la salud y el medio ambiente.

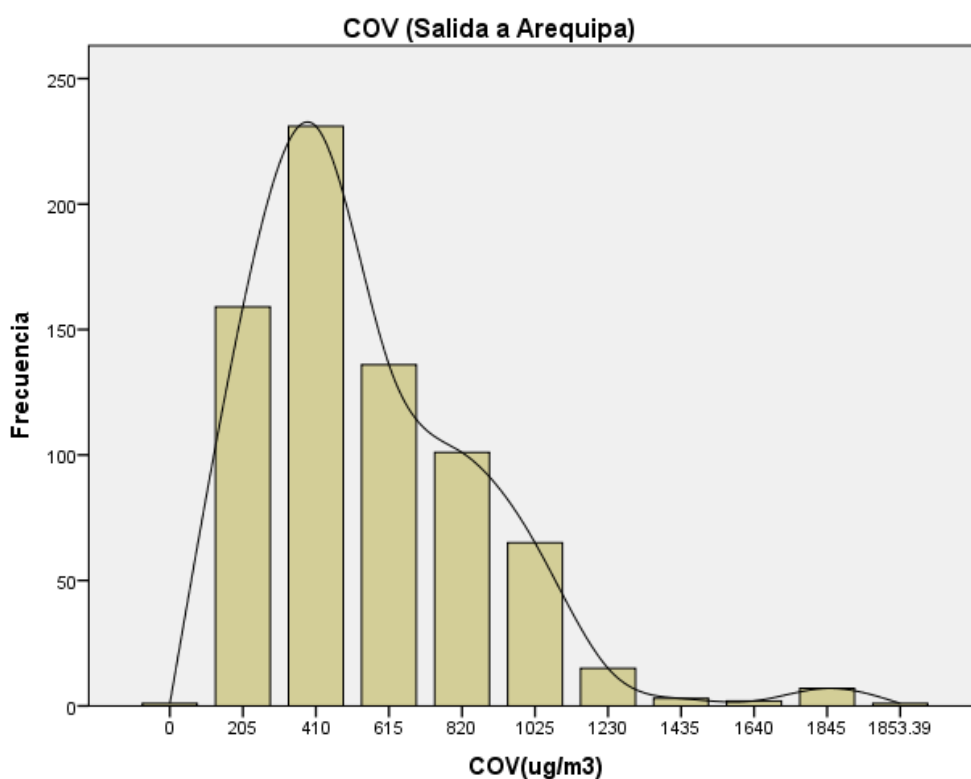


Figura 17. Compuestos Orgánico Volátiles salida a Arequipa

Dentro de la evaluación realizada, respecto a la calidad de aire de la ciudad de Juliaca en el punto de monitoreo N°1 (salida a Arequipa), se tomó se tomó 721 lecturas de los compuestos orgánicos volátiles en la cual el valor mínimo es de 0 ug/m<sup>3</sup> y el máximo de 1853.39 ug/m<sup>3</sup>. En este punto se puede observar una mayor concentración de los datos entre los valores de 0 ug/m<sup>3</sup> y 1230 ug/m<sup>3</sup>, cuyo valor medio es de 615 ug/m<sup>3</sup>. Este valor (615 ug/m<sup>3</sup>) se encuentre fuera de

los estándares establecidos en la directiva de calidad de aire 2000/69/CE del parlamento europeo y del consejo (2000), donde se estable como valor límite a  $5 \text{ ug/m}^3$  (1.57 ppbv) para el benceno en el ambiente. Cabe mencionar que actualmente no existe una normativa para la evaluación de COV's totales, siendo esperada su creación a mediano plazo, debido a los efectos adversos a la salud y el medio ambiente.

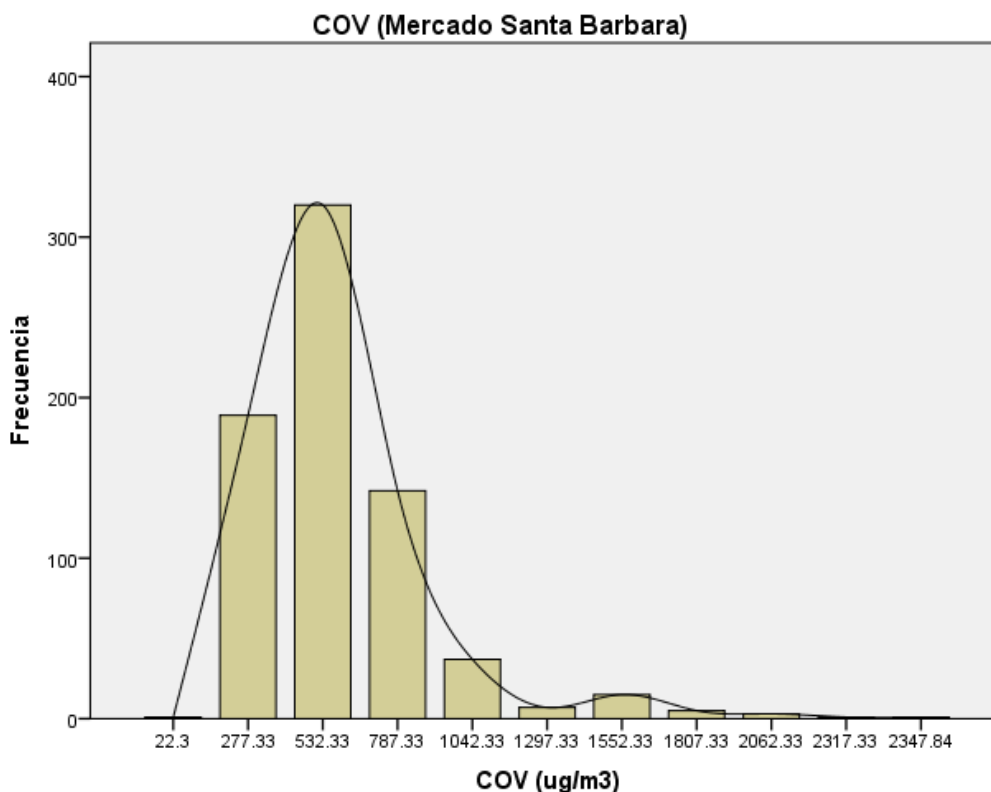


Figura 18. Compuestos Orgánico Volátiles mercado Santa Barbara

Dentro de la evaluación realizada respecto a la calidad de aire en la ciudad de Juliaca, en el punto de monitoreo N°6 (mercado Santa Bárbara), se tomó 721 lecturas de los compuestos orgánicos volátiles en la cual el valor mínimo es de  $22.3 \text{ ug/m}^3$  y el máximo de  $2347.84 \text{ ug/m}^3$ . En este punto se puede observar una mayor concentración de los datos entre los valores de  $22.3 \text{ ug/m}^3$  y  $1297.33 \text{ ug/m}^3$ , cuya media es de  $659.815 \text{ ug/m}^3$ . Este valor ( $659.815 \text{ ug/m}^3$ ) se

encuentre fuera de los estándares establecidos en la directiva de calidad de aire 2000/69/CE del parlamento europeo y del consejo (2000), donde se estable como valor límite a  $5 \text{ ug/m}^3$  (1.57 ppbv) para el benceno en el ambiente. Cabe mencionar que actualmente no existe una normativa para la evaluación de COV's totales, siendo esperada su creación a mediano plazo, debido a los efectos adversos a la salud y el medio ambiente.

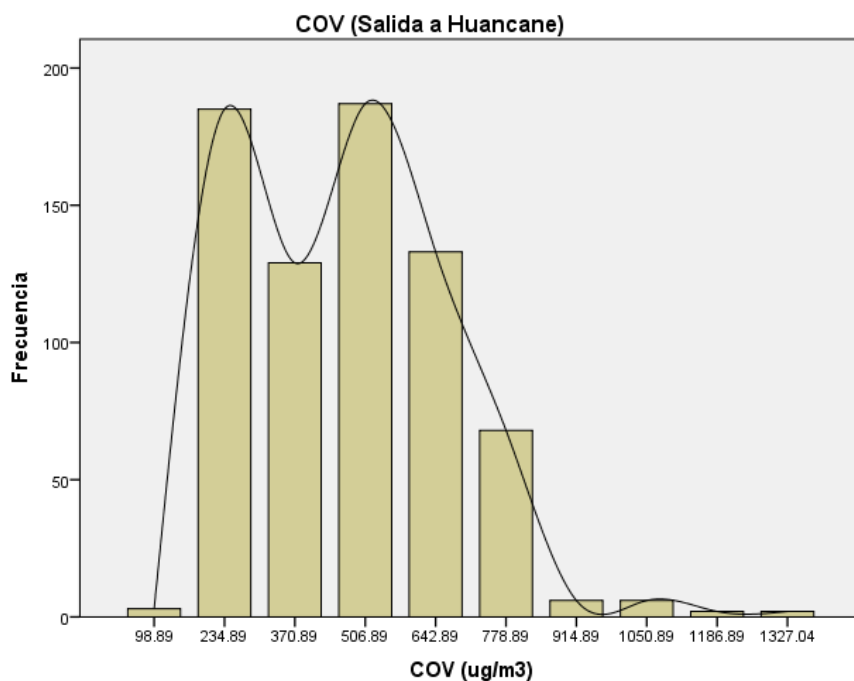


Figura 19. Compuestos Orgánico Volátiles salida a Huancané

Respecto a la calidad de aire en la ciudad de Juliaca, en el punto de monitoreo N°4 (salida a Huancane), se realizó un monitoreo de los compuestos orgánicos volátiles presentes en esta zona, tomándose 721 lecturas, en la cual, el valor mínimo es de  $98.89 \text{ ug/m}^3$  y el máximo de  $1327.04 \text{ ug/m}^3$ . Se puede observar también una mayor concentración de los datos entre los valores de  $98,89 \text{ ug/m}^3$  y  $914.89 \text{ ug/m}^3$ , cuya media es de  $506.89 \text{ ug/m}^3$ . Este valor medio estimado, se encuentre fuera de los estándares establecidos en la directiva de calidad de aire 2000/69/CE del

parlamento europeo y del consejo (2000), donde se estable como valor límite a 5 ug/m<sup>3</sup> (1.57 ppbv) para el benceno en el ambiente. Cabe mencionar que actualmente no existe una normativa para la evaluación de COV's totales, siendo esperada su creación a mediano plazo, debido a los efectos adversos a la salud y el medio ambiente.

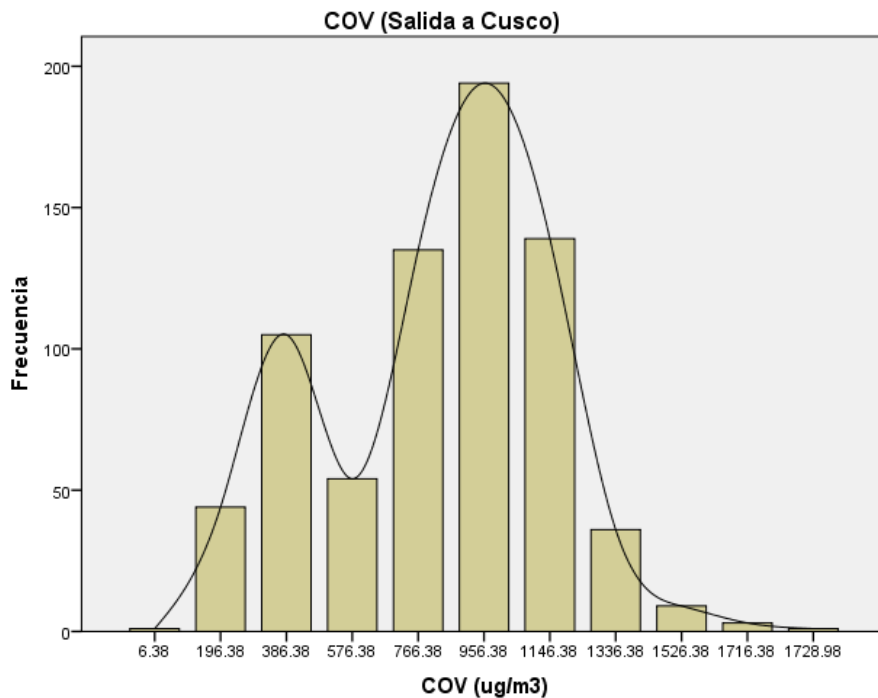


Figura 20. Compuestos Orgánico Volátiles salida a Cusco

Respecto a la calidad de aire en la ciudad de Juliaca, en el punto de monitoreo N°3 (salida a Cusco), se realizó un monitoreo de los compuestos orgánicos volátiles presentes en esta zona, tomándose 721 lecturas, en la cual, el valor mínimo es de 6.38 ug/m<sup>3</sup> y el máximo de 1728.96 ug/m<sup>3</sup>. Se puede observar también una mayor concentración de los datos entre los valores de 576.38 ug/m<sup>3</sup> y 1336 ug/m<sup>3</sup>, cuya media es de 956.38 ug/m<sup>3</sup>. Este valor medio estimado, se encuentre fuera de los estándares establecidos en la directiva de calidad de aire 2000/69/CE del parlamento europeo y del consejo (2000), donde se estable como valor límite a 5 ug/m<sup>3</sup> (1.57



ppbv) para el benceno en el ambiente. Cabe mencionar que actualmente no existe una normativa para la evaluación de COV's totales, siendo esperada su creación a mediano plazo, debido a los efectos adversos a la salud y el medio ambiente.

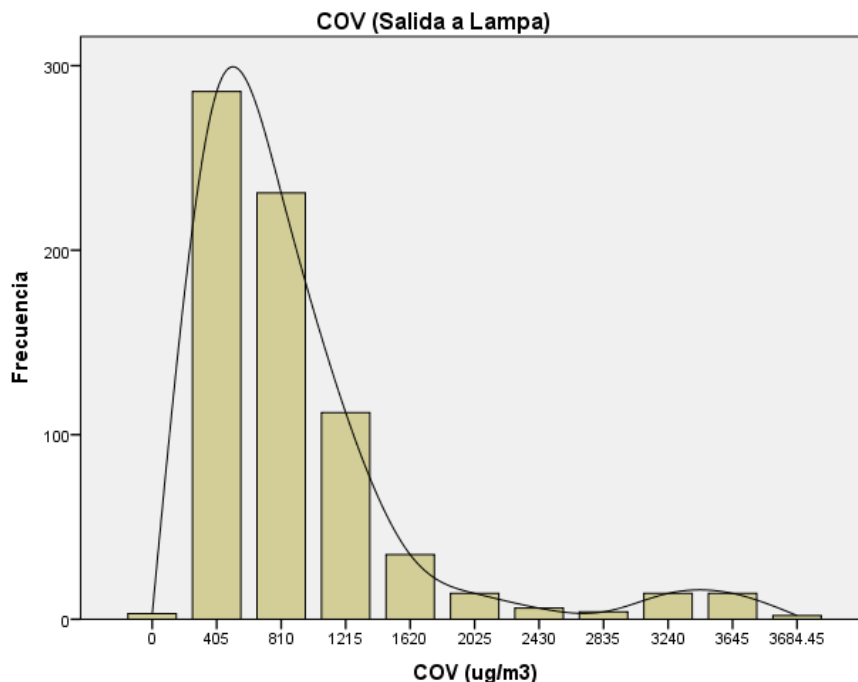


Figura 21. Compuestos Orgánico Volátiles salida a Lampa

Respecto a la calidad de aire en la ciudad de Juliaca, en el punto de monitoreo N° 2 (salida a Lampa), se realizó un monitoreo de los compuestos orgánicos volátiles presentes en esta zona, tomándose 721 lecturas, en la cual, el valor mínimo es de 0 ug/m<sup>3</sup> y el máximo de 3684.45 ug/m<sup>3</sup>. Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de 0 ug/m<sup>3</sup> y 1620 ug/m<sup>3</sup>, cuya media es de 810 ug/m<sup>3</sup>. Este valor medio estimado, se encuentre fuera de los estándares establecidos en la directiva de calidad de aire 2000/69/CE del parlamento europeo y del consejo (2000), donde se estable como valor límite a 5 ug/m<sup>3</sup> (1.57 ppb) para el benceno en el ambiente. Cabe mencionar que actualmente no existe una normativa para la evaluación de COV's totales,

siendo esperada su creación a mediano plazo, debido a los efectos adversos a la salud y el medio ambiente.

### 4.1.3. Resultados de densidad de polvo

La evaluación de la densidad de polvo, es realizada muy escasamente en el ambiente, ya que este parámetro es evaluado en trabajos de construcción o similares por la alta concentración del polvo y el mayor riesgo al cual las personas están expuestas. Esto genera muy poca información respecto al tema, por lo que, para la evaluación correspondiente, se toman parámetros como el  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  que, según el corresponden a la densidad total de polvo.

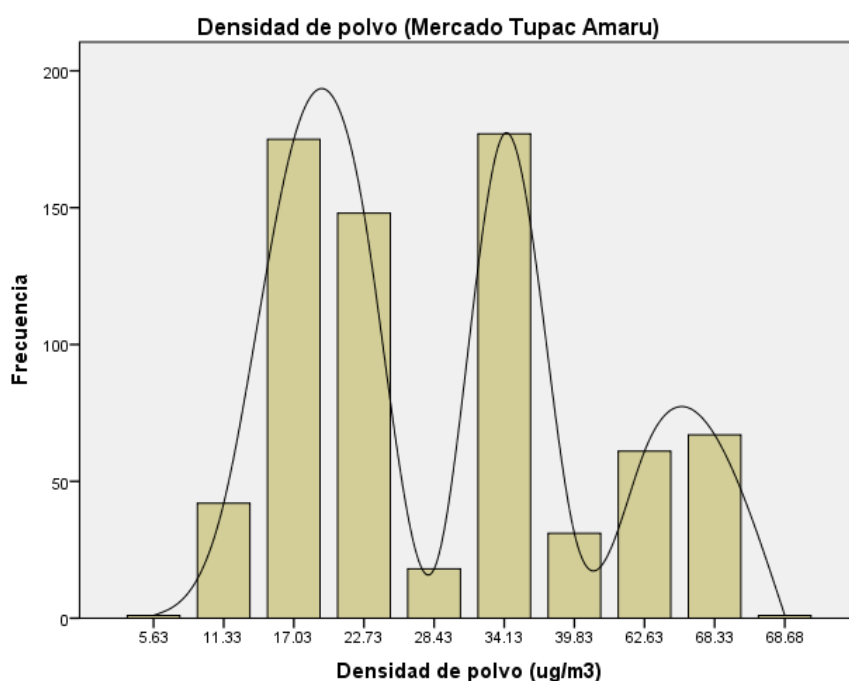


Figura 22. Densidad de polvo mercado Túpac Amaru

En la evaluación realizada respecto a la densidad total de polvo, en el punto de monitoreo N° 5 (mercado central Túpac Amaru), se tomó 721 lecturas de los cuales el valor mínimo es de 5.63  $ug/m^3$  y el máximo de 68.68  $ug/m^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre

los valores de  $11.33 \text{ ug/m}^3$  y  $28.43 \text{ ug/m}^3$ , cuya media es de  $40 \text{ ug/m}^3$ . Este valor medio obtenido, se encuentra dentro de los estándares de calidad de aire (D.S. N° 003-2017-MINAM), que toma como valor pico a  $25 \text{ ug/m}^3$ . El valor es mínimo debido a la alta precipitación en los días de monitoreo.

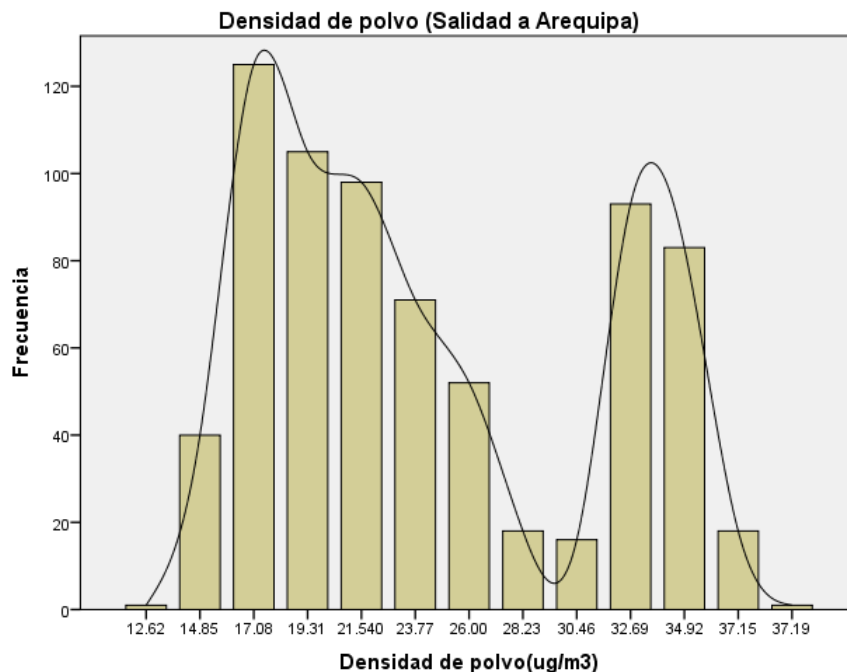


Figura 23. Densidad de polvo salida a Arequipa

En el punto de monitoreo N° 1 (salida a Arequipa) se tomaron 721 lecturas de las cuales el valor mínimo es de  $12.62 \text{ ug/m}^3$  y el máximo de  $39 \text{ ug/m}^3$ . Se puede observar también una mayor concentración de los datos entre los valores de  $15 \text{ ug/m}^3$  y  $30 \text{ ug/m}^3$ , cuya media es de  $22,5 \text{ ug/m}^3$ . Este valor medio obtenido, se encuentra dentro de los estándares de calidad de aire del MINAM, estando dentro de los  $25 \text{ ug/m}^3$ . Este valor se debe a que en los días de monitoreo, hubo presencia de alta precipitación, variando los datos en este parámetro.

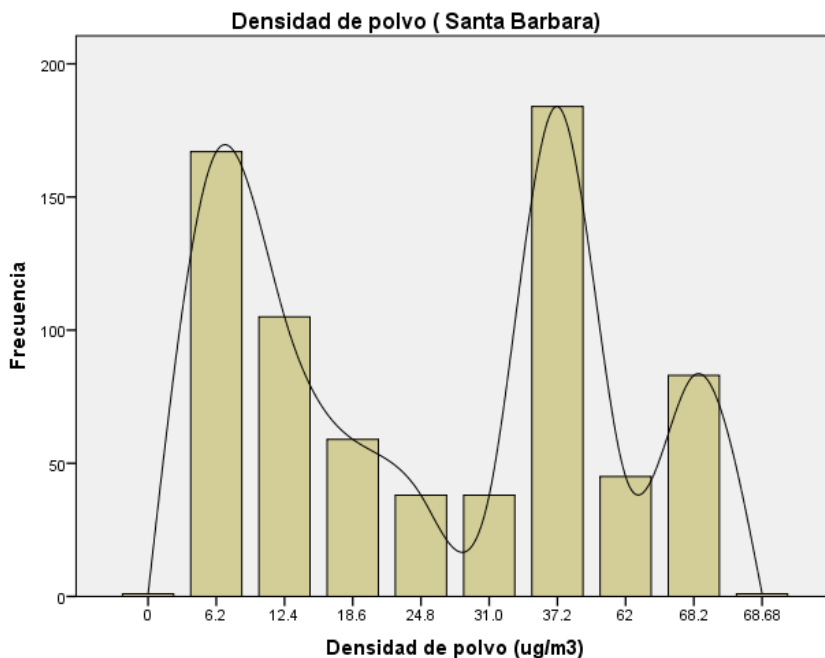


Figura 24. Densidad de polvo mercado Santa Bárbara

En el punto de monitoreo N° 6 (mercado Santa Bárbara), Se tomó 1440 lecturas de las cuales el valor mínimo es de  $0,0 \text{ ug/m}^3$  y el máximo de  $68,68 \text{ ug/m}^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de  $0 \text{ ug/m}^3$  y  $15 \text{ ug/m}^3$ , cuya media es de  $7,5 \text{ ug/m}^3$ , que, según los valores establecidos por el MINAM, están dentro de los estándares ( $25 \text{ ug/m}^3$ ) máximos permisibles por el MINAM. Este resultado se debe a que, en los días de evaluación, hubo presencia de alta precipitación, lo que altero los datos respectivamente.

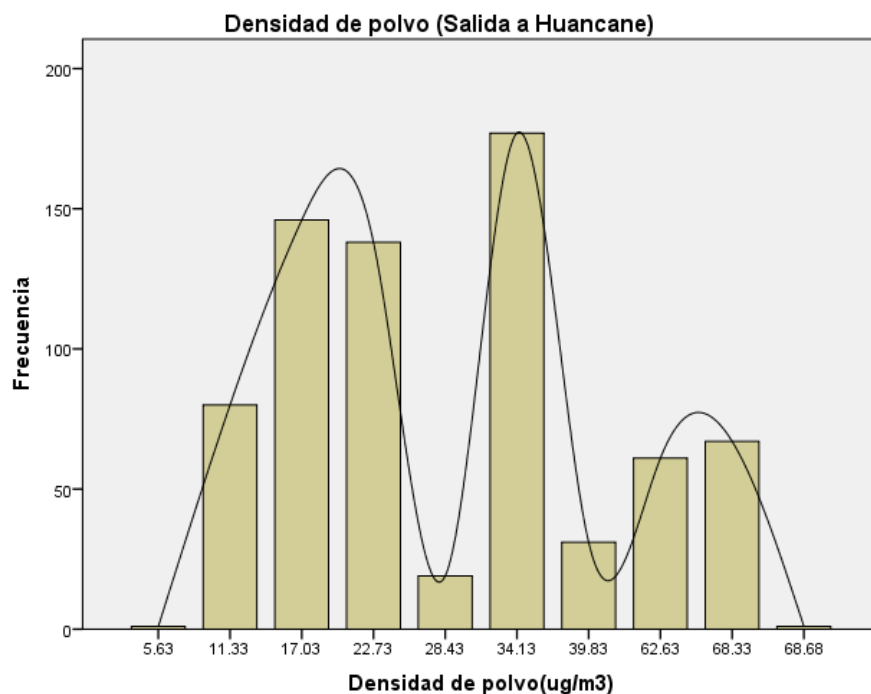


Figura 25. Densidad de polvo salida a Huancané

En el punto de monitoreo N° 4 (salida a Huancane), se tomó 1440 lecturas, de las cuales el valor mínimo es de 1,95 ug/m<sup>3</sup> y el máximo de 68,68 ug/m<sup>3</sup>. Se puede observar también una mayor concentración de los datos entre los valores de 11.95 ug/m<sup>3</sup> y 31.95 ug/m<sup>3</sup>, cuya media es de 21.95 ug/m<sup>3</sup>. Este valor medio, se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos por el MINAM, que toma como valor pico a 25 ug/m<sup>3</sup>. El resultado obtenido muestra un valor mínimo en un lugar muy transitado, esto debido a que en los días de monitoreo, hubo una alta precipitación.

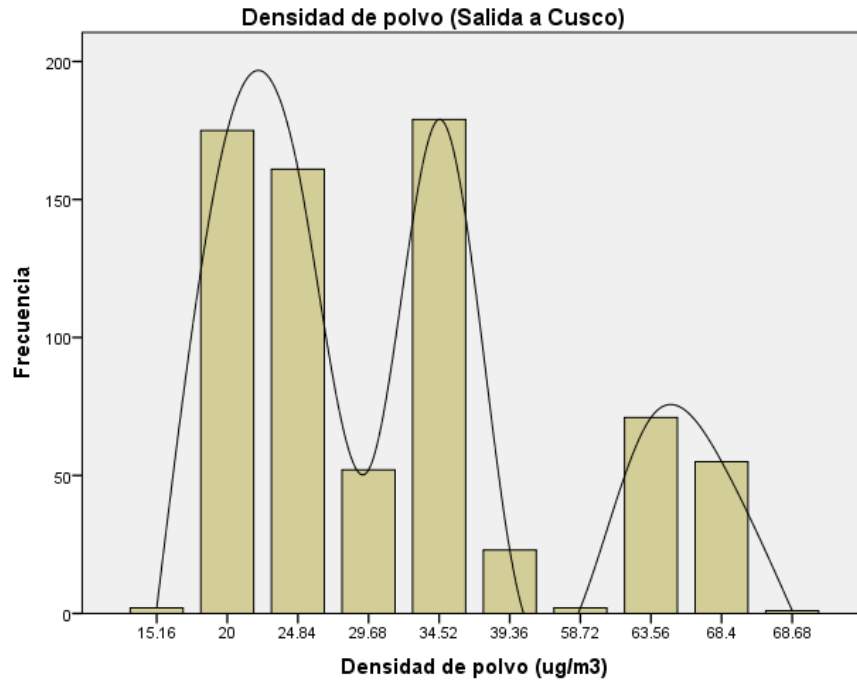


Figura 26. Densidad de polvo salía a Cusco

En el punto de monitoreo N° 3 (Salida a Cusco), se tomaron 1440 lecturas, de las cuales el valor mínimo es de 1,67 ug/m<sup>3</sup> y el máximo de 68,68 ug/m<sup>3</sup>. Se puede observar también que la mayor concentración de los datos es entre los valores de 16,6 ug/m<sup>3</sup> y 31.67ug/m<sup>3</sup>, cuya media es de 24.1 ug/m<sup>3</sup>. Este valor medio obtenido, se encuentra dentro de los estándares de calidad de aire establecidos por el MINAM, que toman como valor pico a 25 ug/m<sup>3</sup>. Este valor se debe a la presencia de alta precipitación durante los días de monitoreo, que influyeron mucho respecto a este parámetro.

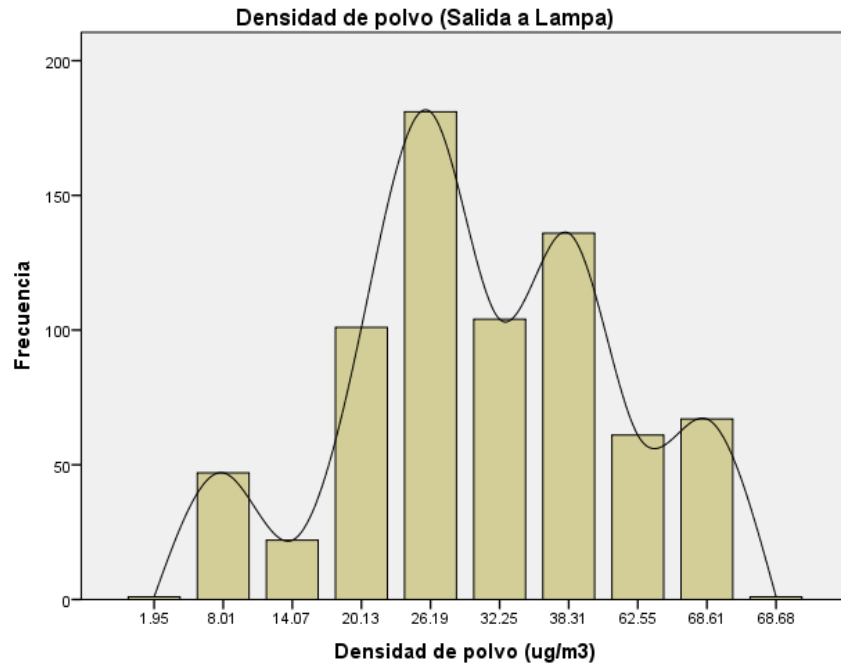


Figura 27. Densidad de polvo salida a Lampa

En el punto de monitoreo N° 2 (salida a Lampa), se tomó 1440 lecturas de las cuales el valor mínimo es de  $0 \text{ ug/m}^3$  y el máximo de  $68,68 \text{ ug/m}^3$ . Se puede observar mayor concentración de los datos entre los valores de  $0 \text{ ug/m}^3$  y  $15 \text{ ug/m}^3$ , siendo el valor medio de  $7,5 \text{ ug/m}^3$ , estando dentro de los estándares de calidad de aire establecidos por el MIANM, que toman como valor pico a  $25 \text{ ug/m}^3$ . Este valor se debe a la presencia de alta precipitación durante los días de monitoreo, que influyeron mucho respecto a la evaluación de este parámetro.

## **Capítulo V.**

### **Conclusiones y recomendaciones**

#### **4.1. Conclusiones**

Para llevar a cabo el presente trabajo, se empleó la combinación entre metodología de programación y monitoreo a lo largo de la investigación. Esta combinación permitió obtener un prototipo que cubre la necesidad de monitoreo de parámetros de calidad de aire (CO<sub>2</sub>, VOC y densidad de polvo) en tiempo real, mediante el método de percepción remota. Los datos obtenidos de los 6 puntos monitoreados, permitieron evaluar estadísticamente (método de la media aritmética) el comportamiento y concentraciones de los gases y partículas en la población de Juliaca.

El prototipo se desarrolló mediante la programación de C++ en la plataforma Arduino y en la placa Arduino NANO, con los sensores de gas modelo CCS811 y el sensor de partículas (densidad de polvo) modelo GP2Y1010AU0F.

El monitoreo se desarrolló de acuerdo al Artículo 9° del protocolo de calidad de aire aprobada por (DIGESA, 2005). La selección de métodos para el monitoreo se realiza con los siguientes criterios, a escala local; debido a que la categoría o escala local define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4.0



kilómetros, de la concentración de la población y localidad de Juliaca está dentro de las dimensiones.

Los resultados estadísticos para los gases muestran que en el monitoreo de CO<sub>2</sub> en los puntos evaluados son mucho mayores a los que la normativa rige, esto se debe a al desorden poblacional y la actividad del parque automotor. De igual manera para la evaluación del COV se muestra una alta concentración de acuerdo a la normatividad, poniendo en peligro a la población.

Por otro lado, la evaluación estadística de la densidad de polvo (PM<sub>2.5</sub>) nos indica que los valores están dentro del rango establecido por la normativa, siendo no perjudiciales para las personas. Esto también se debe a la presencia de precipitación pluvial constante con la que se contó en las fechas de monitoreo.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Al momento de la construcción del prototipo, tener en cuenta la calidad del RTC, ya que posteriormente, el movimiento mínimo de este, afectará el monitoreo.
- Construir la carcasa del prototipo de manera que este pueda proteger al sensor y al mismo tiempo tomar los parámetros sin ninguna alteración, generándose así datos más exactos.
- Aplicar con mayor frecuencia el desarrollo de los dispositivos electrónicos, empleando sensores más precisos y más modernos.
- Verificar la calibración de los equipos de manera constante y técnica en conjunto con expertos ambientales y electrónicos.
- Efectuar las mediciones con periodos trimestrales durante un año.

## REFERENCIAS

- Ávila, G. (1996). *Difusión des pollutansatmosphériquesdans une zone a topographiecomplexe*. Universidad Paris, Francia. Recuperado de [http://repository.upi.edu/1360/1/s\\_d5451\\_0604180\\_chapter1.pdf](http://repository.upi.edu/1360/1/s_d5451_0604180_chapter1.pdf)
- Campo García, M. (2016). Detector de partículas de polvo en el aire con sensor GP2Y10. *Mi Arduino Uno tiene un BLOG*, 32-35. Recuperado de <https://miarduinounotieneunblog.blogspot.com/2016/03/detector-de-particulas-de-polvo-en-el.html>
- Caraballo, J., & Sánchez, L. (2015). Repercusión de la contaminación del aire en la aparición de asma. *Revista Alergia México, Volumen 62*(2015;62:287-301), 1-12.
- Carrera, D., Fuertes, W., Villacís, C., & Toulkeridis, T. (2015). Desarrollo de un prototipo de aplicación web en combinación con la plataforma Arduino para controlar la calidad de aire de la ciudad de Quito, 1-9. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9599>
- Chury, M., Sota, J., & Wendler, D. (2017). Monitoreo De Material Particulado Y Desarrollo De Instrumental, Caso De Estudio Ciudad De Concordia,ER., 2-11. Recuperado de [http://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2270/Monitoreo de material particulado y desarrollo de instrumental....pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2270/Monitoreo%20de%20material%20particulado%20y%20desarrollo%20de%20instrumental....pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Contreras. (1999). Apuntes para la materia de climatología. *Coordinación para la Innovación y la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología*.

Cuesta mosquera, A. P., González duque, C. M., Velasco garcía, M., & Aristizábal, H. B.

(2018). Distribución espacial de concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>X</sub> Y O<sub>3</sub> en el aire ambiente de manizales. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 34(X), 489-504.

<https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.11>

Defensoria del Pueblo, 2016. (2016). La calidad del aire en lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes, (116), 1-82.

DIGESA, D. G. D. S. A. (2005). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los dato.

Gaitán, M., Cancino, J., & Behrentz, E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, (26), 81-92.

<https://doi.org/10.3989/scimar.2007.71n3485>

GBD. (2016). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990-2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, 380(9859), 2224-2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8)

Gómez, C. A. (2017). Contaminación del aire en medellín por pm<sub>10</sub> y pm<sub>2.5</sub> y sus efectos en la salud.

Grineski, S. E., Clark-reyna, S. E., & Collins, T. W. (2016). School-based Exposure to Hazardous Air Pollutants and Grade Point Average: A multi-level study. *Environ Res.*, 164-171. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.02.004.School-based>

Hanco, A. M. (2017). *Concentración de material particulado menores a 10 micrómetros y gestión ambiental con áreas verdes en la ciudad de Juliaca*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

Huanca Aracayo, P. F. (2016). *Concentración de material particulado menores a 2.5 micrómetros para la gestión de áreas verdes en la ciudad de Juliaca*. Universidad Nacional del Altiplano. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4197>

INEI, I. N. de E. e I. (2017). Censos Nacionales 2007: XI de Poblacion y VI de Vivienda.

Keung Cheung, P. (2012). Dióxido de carbono : bendición y maldición Protección. Recuperado de <https://www.dw.com/es/dióxido-de-carbono-bendición-y-maldición/a-15119911>

Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., & Goodarz, D. (2014). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010, *380*(9859), 2224-2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8)

Luna, A., Talavera, Á., & Cano, L. (2017). Uso de sensores electroquímicos de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en el distrito de San Isidro - Lima - Perú.

Moya, A. S., Arredondo, R. E., & Yuli, R. Á. (2017). Determinación de la presencia de partículas (PM10) en Perú producidas por quema de biomasa con ayuda de modelos numéricos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *33*(1), 99-108. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.09>

- Năstase, G., Șerban, A., Năstase, A. F., Dragomir, G., & Brezeanu, A. I. (2018). Air quality, primary air pollutants and ambient concentrations inventory for Romania. *Atmospheric Environment*, 184, 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.034>
- National Geographic, 2010. (2010). La contaminación del aire. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-del-aire>
- Olaya, J., MOrénO, K., IppOlitO, G., KlinGer, V., GOnzález, R., Madera parra, C., & MarMOleJO, L. (2013). Asociaciones entre la composición socioeconómica familiar y la generación urbana de residuos sólidos domiciliarios. *Revista EIA*, 10, 127-137. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14508/reia.2013.10.20.127-137>
- Rojano, R. E., Mendoza, Y. I., Arregoces, H., & Restrepo, G. M. (2016). Dispersión de Contaminantes del Aire ( PM 10 , NO 2 , CO , COV y HAP ) emitidos desde una Estación Modular de Compresión , Tratamiento y Medición de Gas Natural, 27(2), 99-110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000500012>
- Sordo Medina, J. (2010). CO2 y el cambio climático. Recuperado de <http://www.homohominisacrares.net/sec/ecologia/co2/co2.htm>
- Terradellas, E., Nickovic, S., & Zhang, X.-Y. (2015). El polvo en suspensión en el aire : un peligro para la salud humana , el medio ambiente y la sociedad. *Organización Meteorológica Mundial (OMM)*, 64(2), 42-46. Recuperado de <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/airborne-dust-hazard-human-health-environment-and-society>
- US EPA, U. S. E. P. A. (1998). Dedication to reviewers. *United States Environmental*

*Protection Agency, (July).*

van Donkelaar, A., Martin, R. V., Brauer, M., & Boys, B. L. (2014). Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter. *Environmental Health Perspectives, 110*(October), 135-143.  
<https://doi.org/10.1289/ehp.1408646>

Velasteguí, R. (2011). Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato, (June 2010), 1-20.

## ANEXOS

### Anexos 1. Marco lógico

Tabla 10  
*Marco lógico*

	Recursos narrativos	Indicadores	Medios de verificación	Condiciones de éxito
Justificación	Generación de redes de monitoreo capaces de determinar la concentración de contaminantes atmosféricos ya que esta se encuentra dentro de las 13 provincias en alerta declaradas por el MINAM.	Implementación de estaciones de monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Juliaca y aplicación de medidas correctivas para este problema	Mejora de la calidad de vida de las personas y disminución de las enfermedades	Implementar estaciones fijas convencionales en la ciudad de Juliaca capaces de evaluar concentración de gases y partículas suspendidas.
Objetivo general	Analizar los niveles de dióxido de carbono, material particulado y compuestos orgánicos volátiles mediante el método óptico de percepción remota con la aplicación de sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca.	Evaluar los datos obtenidos mediante el método óptico de percepción remota con sensores de calidad de aire según indique el protocolo de monitoreo	Implementación de sensores de evaluación de calidad	Apoyo de la municipalidad y medios de comunicación.

Objetivo específico	Modelamiento	Procesar datos e interpolar los resultados obtenidos para luego ser interpretados	Mapas de interpretación Datos meteorológicos	Distribución espacial de concentraciones, concentración promedio de los parámetros evaluados, interpolación en el área de Juliaca.
	Generar un banco de datos con los parámetros monitoreados	Procesar datos evaluados	Procesamiento de los datos obtenidos en el monitoreo	Datos del banco de datos, softwares actualizados, computadora con requisitos mínimos para el funcionamiento correcto de los programas.
	Monitoreo de densidad total de polvo (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> ), dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles	Implementar horarios y duración de los monitoreos	Elaboración de un plan de monitoreo	Procesamiento de datos obtenidos en el monitoreo,



	Implementar sensores de material particulado, CO <sub>2</sub> y COV	Construir sensores de CO <sub>2</sub> , COV, densidad total de polvo (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> )	Diseño de los sensores para el monitoreo	Equipos calibrados, y funcionamiento correcto del sensor, cartografía actual de Juliaca
Recursos	Equipos de medición (Sensores), softwares (ARCGIS, AutoCAD, Hardware Arduinos),	Presupuesto	Balance general	Programación de sensores con hardware Arduinos-C++ , apoyo en la programación del sensor
				Financiamiento

## **Anexos 2. Plan de monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Juliaca**

### **2.1 Introducción**

Una de los objetivos a desarrollarse en la investigación, es llevar a cabo un plan de monitoreo de la calidad del aire dentro de la ciudad de Juliaca.

Monitoreo atmosférico se define como: “Todas las metodologías diseñadas para hacer un muestreo, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado” (Martínez y Romieu, 1997)

El monitoreo se encargará de describir las variaciones en la concentración de los elementos que componen la calidad del aire. Esto es de vital importancia ya que dicho ambiente es el soporte de vida.

### **2.2 Objetivos**

#### **2.2.1. Objetivo**

- El Plan de Monitoreo Atmosférico tiene el objetivo general de determinar la calidad del aire dentro de la ciudad de Juliaca.

#### **2.2.2. Objetivos específicos:**

- Definir el número y distribución de los puntos de muestreo
- Determinar las Metodologías, software y equipos para la realización del monitoreo
- Definir los procedimientos de instalación del monitoreo

- Realizar monitoreo de los parámetros CO<sub>2</sub>, COV y densidad de polvo (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>).

### 2.3 Etapas para la definición de del plan de monitoreo.

Para la elaboración del plan de monitoreo de la calidad de aire se plantearon las siguientes actividades.

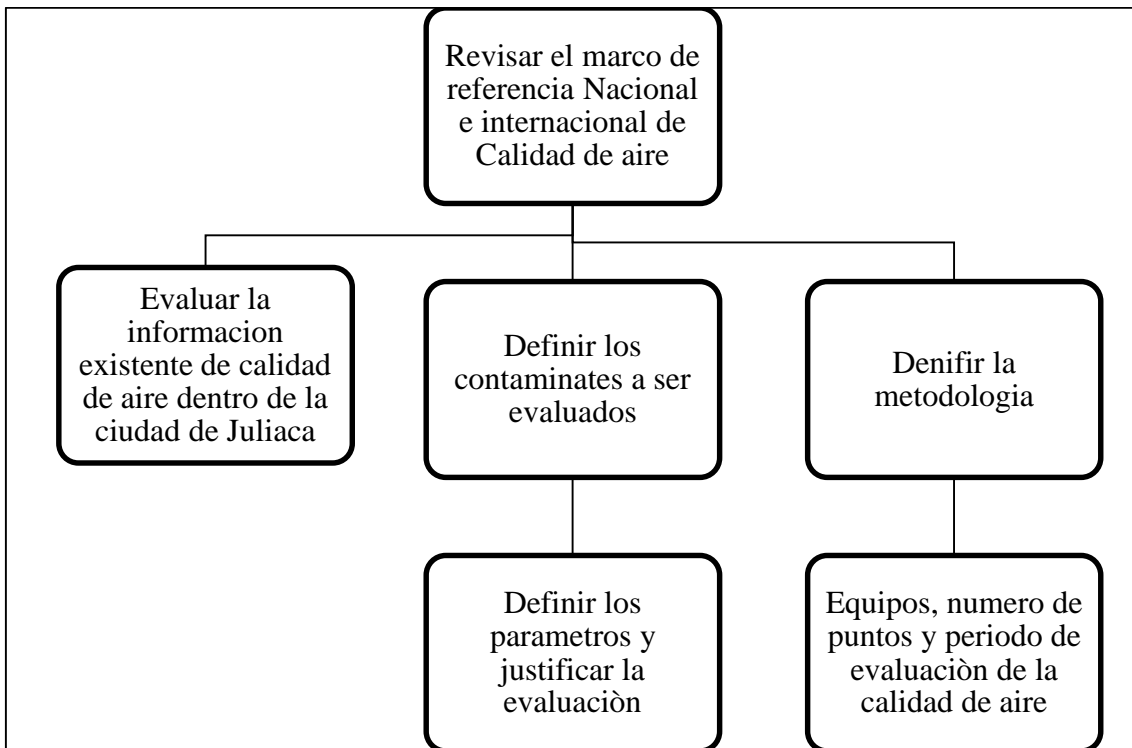


Figura 28. Etapas para la definición del plan de monitoreo

## 2.4 Sustento legal

### 2.4.1. Protocolo de monitoreo de calidad de aire

Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, elaborado por la Dirección General de Salud Ambiental DIGESA (2005) para estandarizar y asegurar la calidad de los datos (R.D. N° 1404-2005-DIGESA/SA).

### 2.4.2. Estándares de calidad ambiental ECA

- D.S. N° 003-2008- MINAM Estándares de calidad ambiental para aire. Para los parámetros de Benceno y Partículas 2.5

Tabla 1  
*Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA Aire)*

Parámetro	Periodo	Valor (µg/m <sup>3</sup> )	Criterios de evaluación	Método de análisis
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras PM <sub>2.5</sub>	24 horas	50	NE más de 7 vez al año	Separación Inercial/ filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media Aritmética Anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras PM <sub>10</sub>	24 horas	100	NE más de 7 vez al año	Separación Inercial/ filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media Aritmética Anual	
Monóxido de carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método Automático)
	1 horas	30000	NE más de 1 vez al año	
Benceno	Anual	4	Media Aritmética	Cromatografía de gases
		2		

Fuente: D.S. N° 003-2008-MINAM.

## **.Normativa internacional.**

### **Estándares Internacionales de Calidad Ambiental**

- Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005

Tabla 2

*Estándares Internacionales de Calidad Ambiental para Aire.*

<b>Parámetro</b>	<b>Periodo</b>	<b>Valor (µg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>PM10</b>	24 horas	50
	Anual	20
<b>PM2.5</b>	24 horas	25
	Anual	10

Fuente: OMS (2005).

### **Notas Técnicas de Prevención (NTP): Normativa Española**

- NTP 549 Dióxido de carbono en la evaluación de calidad aire Interior. Hace mención estándares de calidad urbana.
- Menciona que es un componente del aire exterior en el que se encuentra habitualmente a niveles entre 300 y 400 ppm, pudiendo alcanzar en zonas urbanas valores de hasta 550 ppm.
- NTP 972 Compuestos orgánicos volátiles olores y confort.
- NPT 243 calidad del aire en ambientes cerrados

## **2.5 Definición de los contaminantes a medir**

### **2.5.1. Densidad total de polvo**

La densidad total de polvo o densidad de polvo real es conocida como la concentración de polvo o masa que es básicamente la concentración total de partículas de 1 micrómetro, partículas de 2,5 micrones, partículas de 10 micrones y otros tipos de material particulado que afectan nocivamente a la salud humana. En la mayoría de estudios realizados acerca de la concentración de esta, es evaluado como partículas suspendidas totales y fracción respirable. (Garcia, 2016).

### **2.5.2. Dióxido de carbono**

El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y es muy importante para que exista vida en el planeta tierra. El CO<sub>2</sub> proviene de fuentes naturales como aguas subterráneas (debido a que el CO<sub>2</sub> es más soluble en el agua), volcanes, aguas termales orgánicas, al respirar, incendios forestales naturales y de fuentes antrópicas (es decir, las generadas por los humanos) como son: deforestación, quema de combustibles fósiles como carbón, gas natural, productos del petróleo”. (Keung Cheung, 2012).

### **2.5.3. Compuestos orgánicos volátiles**

Los compuestos orgánicos volátiles (COV), según (Rojano et al., 2016) son de especial interés por su efecto cancerígeno y estos en su mayoría son emitidos por automóviles, industrias, plantas generadoras de energía, refinerías, plantas químicas; entre otras fuentes. (U.S. EPA, 2006). Esta puede llegar a ser más peligrosa si en la troposfera llega reaccionar químicamente con el ozono en presencia de luz solar, ya que su efecto llega a ser mucho más nocivo para la salud humana.

## **2.6 Metodología, equipos y periodos de monitoreo a efectuarse en la ciudad de Juliaca.**

Debido a que las mediciones de la calidad del aire no pueden realizarse directamente, lo que se realizara es la medición de concentraciones de los contaminantes emitidos correspondientes a las emisiones dispersas por la acción del viento y la turbulencia; al realizar esto, se estará realizando una correcta caracterización temporal de la concentración. Para ellos se tomaran diversos puntos para realizar una mejor evaluación de la población afectada. También es necesario realizar dos mediciones en un mismo punto ya que esto permitirá estimar mejor la concentración de contaminantes en el tiempo evaluado. Para esto se realizara la el monitoreo con sensores remotos.

## **2.7 Metodología de muestreo**

### **2.7.1. Sensores remotos**

Son monitores que básicamente usan la metodología de la espectroscópicas; con la capacidad de medir, por un largo periodo, las concentraciones de distintos contaminantes al mismo tiempo, proporcionando así datos al instante. Estos datos se obtienen por medio de la integración entre el detector y una fuente de luz a lo largo de una ruta determinada.

El monitoreo se realizó mediante la técnica espectroscópica, que consiste en la “transmisión un haz de luz de una cierta longitud de onda a la atmósfera y miden la energía absorbida”. Realiza la medición en tiempo real, de la concentración de los contaminantes. A diferencia de los monitoreos automáticos, los cuales solo pueden hacer la medición de un solo

contaminante y un solo lugar, este tiene la capacidad de hacer la medición de varios contaminantes a la vez por un periodo largo en un punto determinado.

### **2.7.2. Monitoreo con sensores remotos**

Es un tipo de monitoreo que básicamente usa la metodología de la espectroscópicas; con la capacidad de medir por un largo periodo las concentraciones de distintos contaminantes al mismo tiempo, proporcionando así datos al instante. Estos datos se obtienen por medio de la integración entre el detector y una fuente de luz a lo largo de una ruta determinada.

### **2.7.3. Método óptico de percepción remota**

Utiliza la técnica espectroscópica, que básicamente consiste en la “transmisión un haz de luz de una cierta longitud de onda a la atmósfera y miden la energía absorbida”. Realiza la medición en tiempo real, de la concentración de los contaminantes. A diferencia de los monitoreos automáticos, los cuales solo pueden hacer la medición de un solo contaminante y un solo lugar, este tiene la capacidad de hacer la medición de varios contaminantes a la vez por un periodo largo en un punto determinado.

## **2.8 Equipos, Herramientas.**

### **2.8.1. Sensor de gases**

Modelo CJMCU-8128 CCS811 HDC1080 (SI7021) BMP280. Es un sensor de gas, que usa la tecnología de baja potencia que detecta compuestos orgánicos volátiles (COV), también proporciona la detección de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, con la capacidad de registrar datos en tiempo real.



### **2.8.2. Sensor de polvo total:**

Es un sensor de polvo analógico de la firma SHARP, modelo GP2Y1010AU0F, que trabaja por el principio de reflexión de la luz. “El fotodiodo emite un haz de luz en el interior de la cavidad de medición, y un fototransistor captura la luz emite un haz de luz en el interior de la cavidad de medición, y un fototransistor captura la luz reflejada. Cuando las partículas entran en la cavidad de medición y dispersa la luz reflejada”(Chury et al., 2017) (pg.2).

### **2.9 Método de recolección de datos**

En esta investigación se utilizará un equipo prototipo de medición automática (data logger) utilizando hardware arduino y los sensores modelo “CCS811 CJMCU8118” con la capacidad para medir la concentración CO<sub>2</sub> y VOC, y el sensor para medir la densidad de polvo modelo GP2Y1010AU0F y software programación C++.

Todas las mediciones se realizarán de acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de aire y se ceñirán conforme a las normativas nacionales establecidas por la Dirección de Salud Ambiental y el Ministerio de Medio Ambiente. El equipo realizara la medición de los niveles de CO<sub>2</sub> y VOC y densidad de polvo en forma automática. Las mediciones serán almacenadas en la memoria SD, en un documento texto., los cuales serán transferidos a un disco duro luego del término de medición 48 horas por cada punto de monitoreo, para su posterior análisis estadístico del resultado de medición de un aproximado de 1440 datos recolectados por cada punto. Se usarán normativas nacionales e internacionales para comparar los resultados de las concentraciones en cada punto.

## **2.10 Periodos, Número y Ubicación de los puntos**

### **2.10.1. Determinación del número de sitios de medición**

En el estudio se consideraron 6 puntos de acuerdo a la densidad poblacional, movimiento de transeúntes, actividad del parque automotor y puntos vulnerables como colegios, restaurantes, entre otros. Para esto se consideró estudios anteriores realizados y el protocolo de monitoreo de calidad de aire que nos brinda el DIGESA. Para la presente investigación se seleccionó un total de 6 puntos de monitoreo en ciudad de Juliaca, de los cuales 4 puntos están en la Av. circunvalación en la salida a Arequipa, salida a Lampa, salida a Cusco, salida a Huancané, y los 2 restantes en lugares más concurridos en la ciudad los cuales son mercado Túpac Amaru y mercado Santa Bárbara. En general los puntos en selección son lugares de mayor movilidad de vehículos y concurrencia de personas. En la siguiente imagen se muestra la ubicación de los puntos de monitoreo. En general los puntos en selección son lugares de mayor movilidad de vehículos y concurrencia de personas. En la tabla 4 podemos ver los puntos de monitoreo codificados por estación. Los cuales están en las coordenadas UTM - WGS -1984 Zona 19 S.

Tabla 4  
Puntos de monitoreo

Ubicación	Coordenadas	
	Este	Norte
Salida a Arequipa	376850.23	8286188.18
Salida a Lampa	377265.07	8286994.08
Salida a Cusco	378141.55	8288108.44
Salida a Huancané	379369.82	8287739.48
Mercado Túpac Amaru	379181.33	8287196.45
Mercado Santa Bárbara	378017.82	8286974.04

Nota. Coordenadas de los 6 puntos a monitorear. Coordenadas UTM - WGS -1984 Zona 19 S

Se determinó el número de puntos de medición tal como señala el protocolo de calidad de aire y gestión de datos elaborado por DIGESA (2005), considerando la cantidad de la población en el área en el que se pretende monitorear, la problemática existente en el área a monitorear y los factores económicos, humanos y tecnológicos disponibles. Por otra parte, El protocolo de calidad de aire y gestión de datos elaborado por DIGESA (2005) no menciona que la escala de medición debe ser determinada, por lo que se consideró una escala Local. Donde se consideraron un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4.0 kilómetros, de la concentración de la población y localidad de Juliaca. Esto, según lo menciona DIGESA.

### 2.10.2. Frecuencia de Monitoreo y periodos de muestreo

El monitoreo se realizará de forma automática, tomando dos mediciones en cada punto de 24 horas, con una frecuencia de 2 minutos en la recolección de datos en un periodo de 12 días. El monitoreo se realizará en el mes de noviembre siendo esta temporada de frecuentes lluvias.

### 2.11 Instalación del equipo

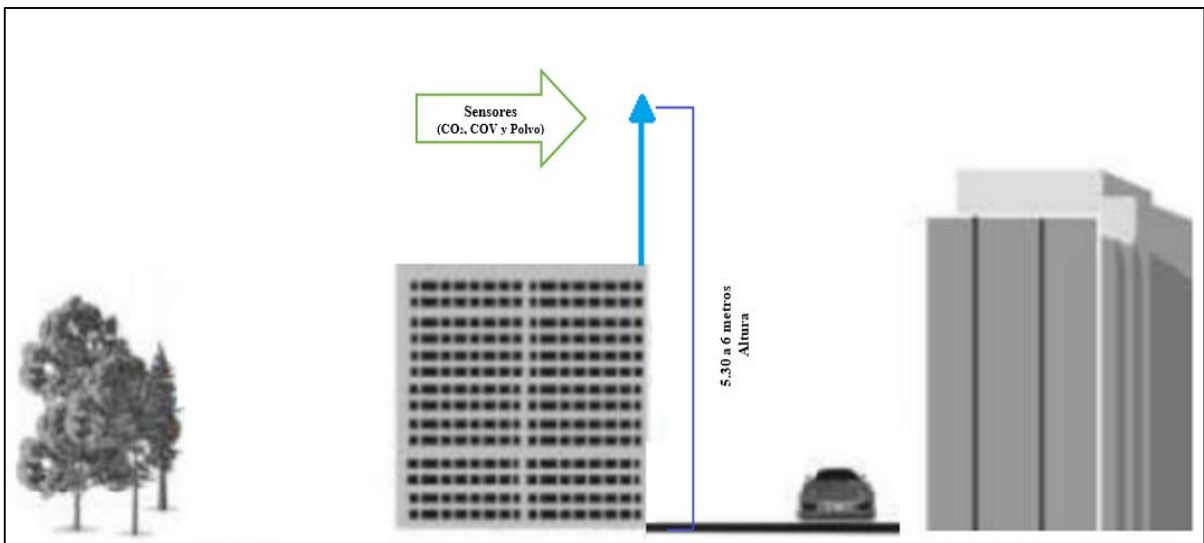


Figura 8 Instalación de sensor.

El sensor se debe ubicar a una altura de 6 metros desde el suelo. La cual está sujeta a un poste. El cual está unido por un cable de internet, que proporciona energía a los sensores y también para envío de información a la data logger.

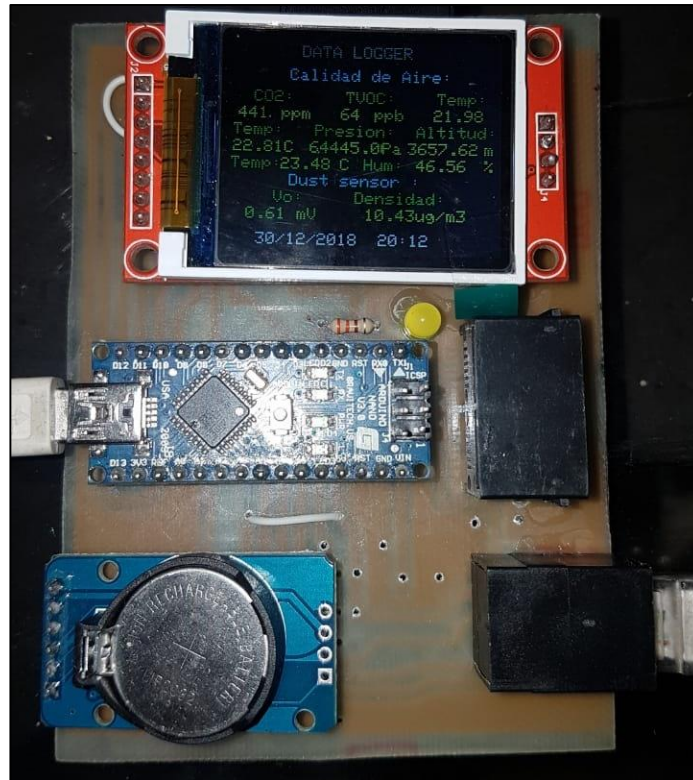


Figura 29. Multiparámetro o data logger

Se trata del equipo de medición de campo o laboratorio que se utiliza para monitoreo de calidad de Aire que en sus accesorios se compone de tarjeta data logger, placa nano arduino, grabador SD para grabar los datos en un archivo texto, pantalla táctil para visualización de datos, fuente de alimentación de 5VDC/500mA a 100/240VAC - 50/60Hz y Reloj RTC.



Figura 30. Cable de red

Cable de red con conectores RJ45, que es de un largo de 4 metros. Esta alimenta a los sensores desde la data logger y también para la transferencia de los datos de monitoreo de los sensores de CO<sub>2</sub>, COV y densidad de polvo en tiempo real cada dos minutos por 48 horas en cada punto.

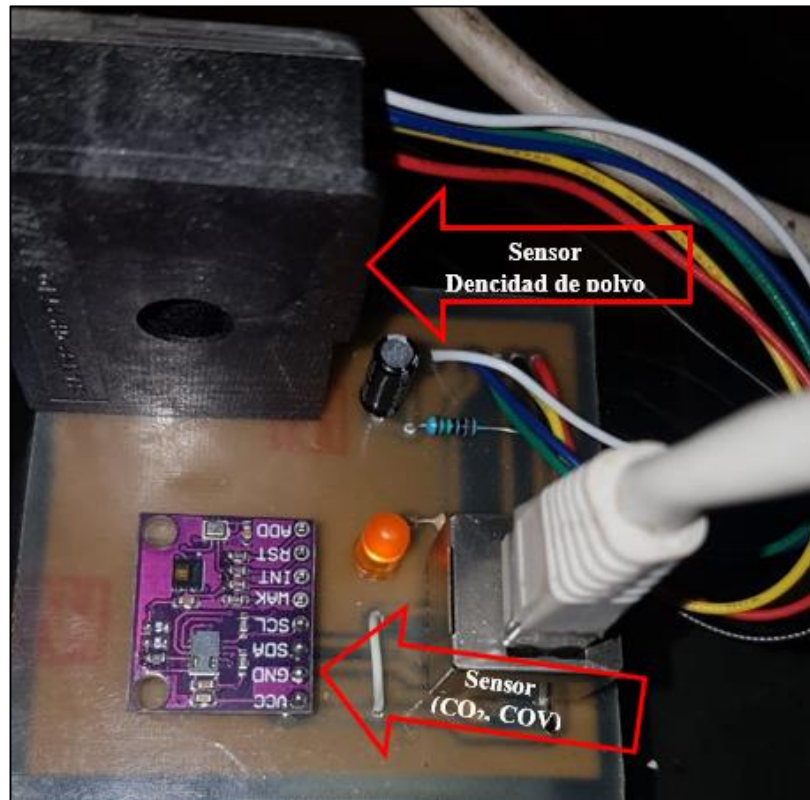


Figura 31. Tarjeta de Sensores

La placa está conformada con el sensor de polvo, sensor de CO<sub>2</sub> y COV, un led que emite un haz de luz cada vez que realiza la medición, esta es cada dos minutos y un conector de red para la alimentación de energía eléctrica y transferencia de información de los datos de monitoreo.

## **2.12 Criterios de control y aseguramiento de la calidad de monitoreo.**

En primer lugar, se debe tener en cuenta que los equipos de medición deben estar colocados a una altitud de tres metros del suelo según indica el protocolo por un tiempo de 24 horas donde realizaran su evaluación. Se considera cuatro mediciones por punto tomado, en el tiempo de un mes. Para estas mediciones es muy importante considerar los aspectos meteorológicos del lugar, como son la dirección del viento, velocidad del vientos, humedad relativa y temperatura que variarán los datos según a la colocación del equipo. Por otra parte se debe considerar una escala de medición según el protocolo de calidad de aire y gestión de datos elaborado por DIGESA (2005), donde se determinada para el presente proyecto, en una escala local; debido a que la categoría o escala local define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4.0 kilómetros de la concentración de la población y localidad de Juliaca está dentro de las dimensiones.

### **Anexos 3. Mapa de ubicación del distrito de Juliaca.**



#### **Anexos 4. Mapa de ubicación puntos de monitoreo.**

## Anexos 5. Valores Límites Máximos referenciales

Tabla 11

*Límites máximos permisibles de densidad de polvo*

<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Calidad del aire</b>
0 – 75.000	Excelente
75.000 -150.000	Muy buena
150.000 – 300.000	Buena
300.000 – 1.050.000	Aceptable
1.050.000 – 3.000.000	Pobre
3.000.000 +	Muy pobre

Fuente. (García, 2016)

**Anexos 6. Gráficos de distribución por hora de CO<sub>2</sub> en cada lugar.**

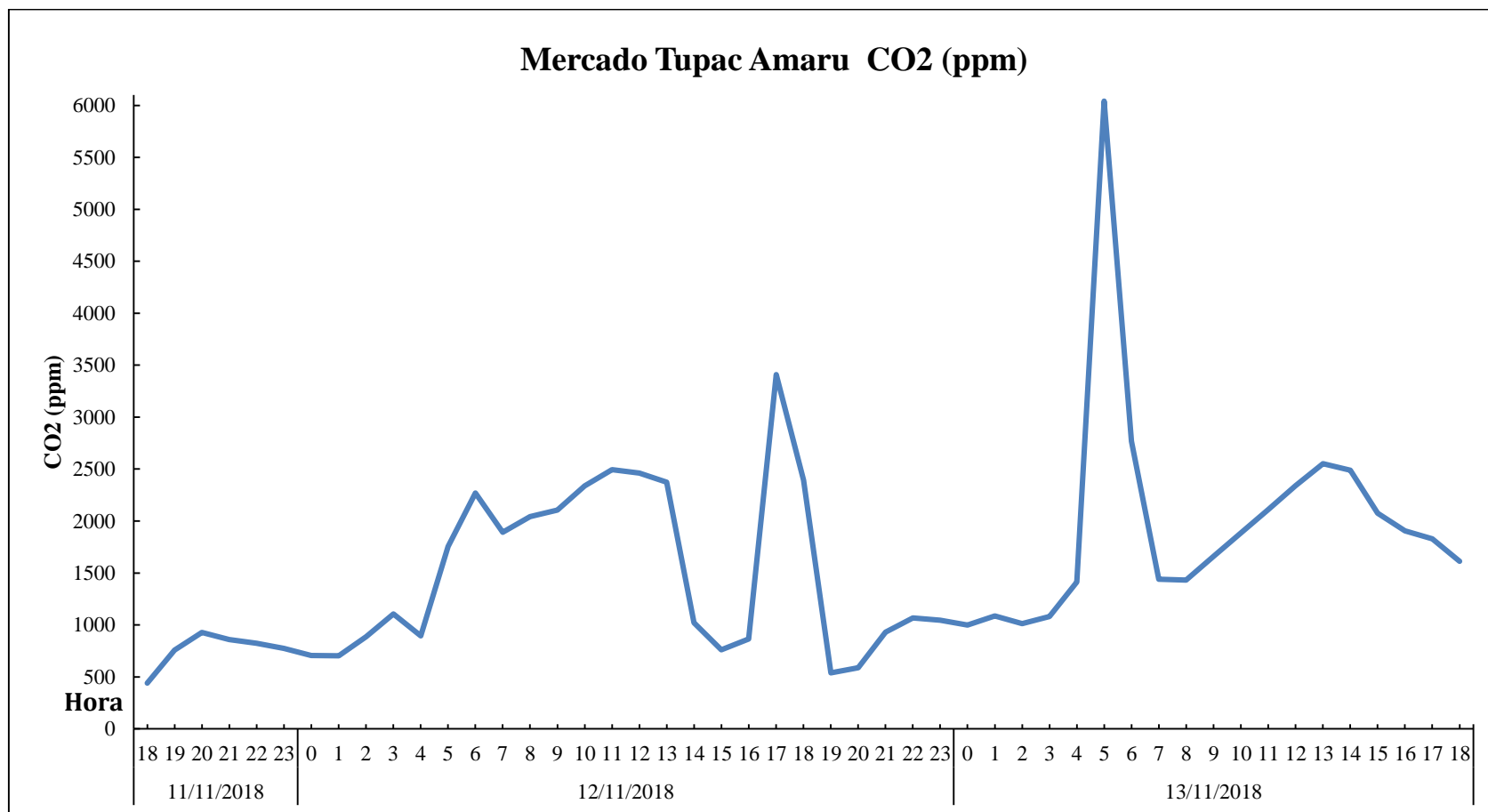


Figura 32: Distribución horaria de CO<sub>2</sub>, en el mercado Túpac Amaru.

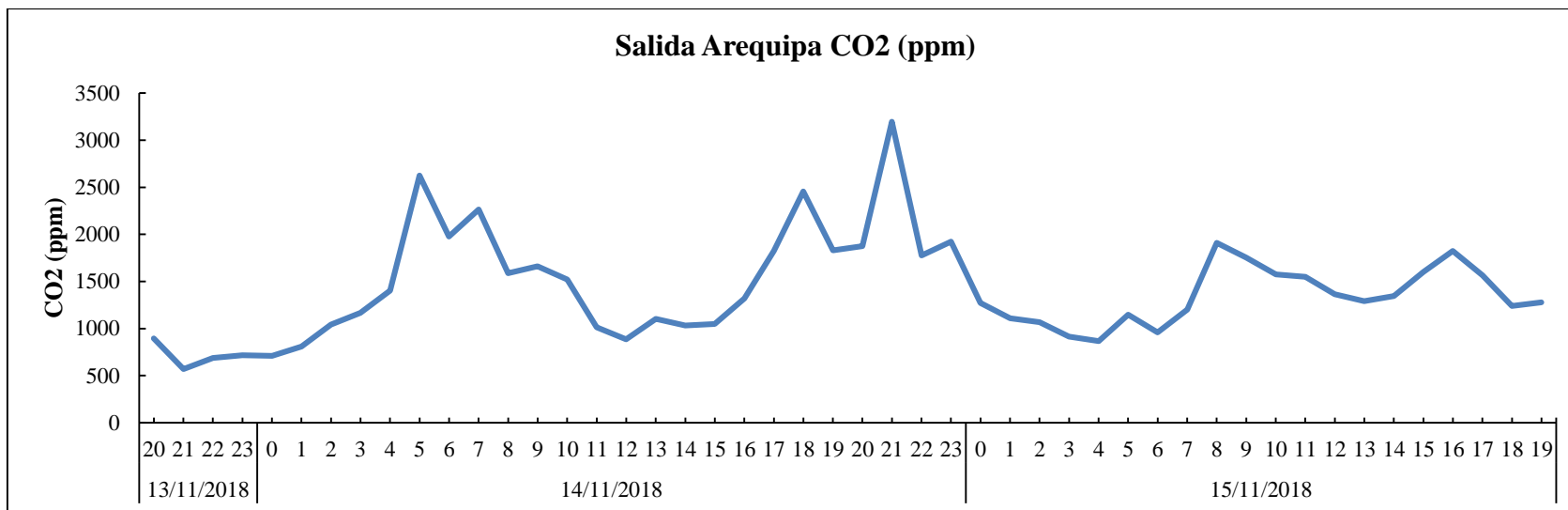


Figura 33. Distribución horaria de CO<sub>2</sub>, en la salida a Arequipa.

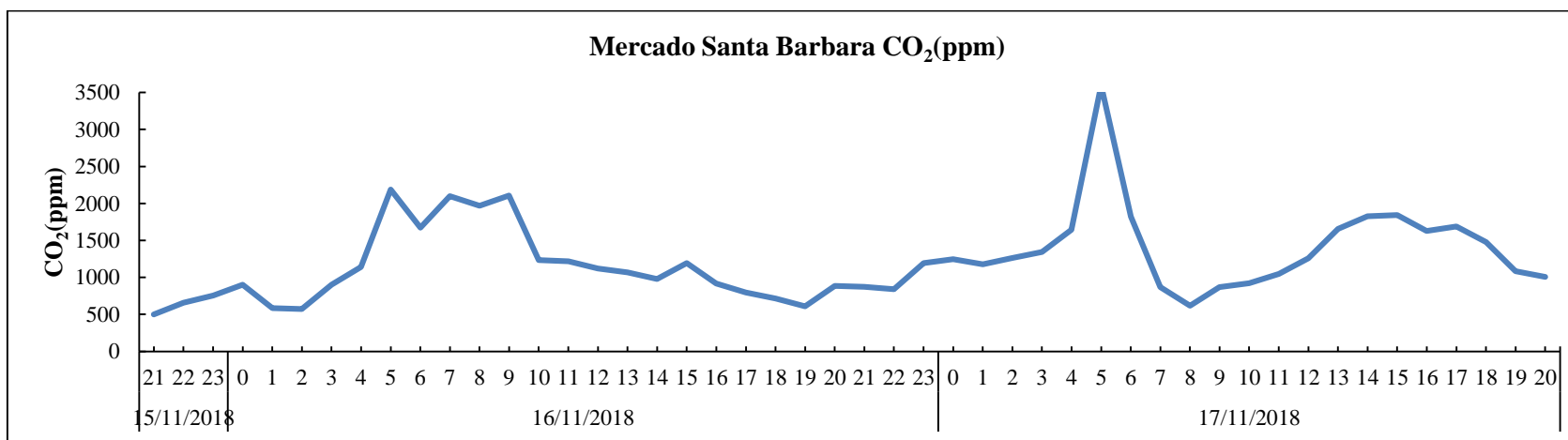


Figura 34. Distribución horaria de CO<sub>2</sub>, en el mercado Santa Bárbara.

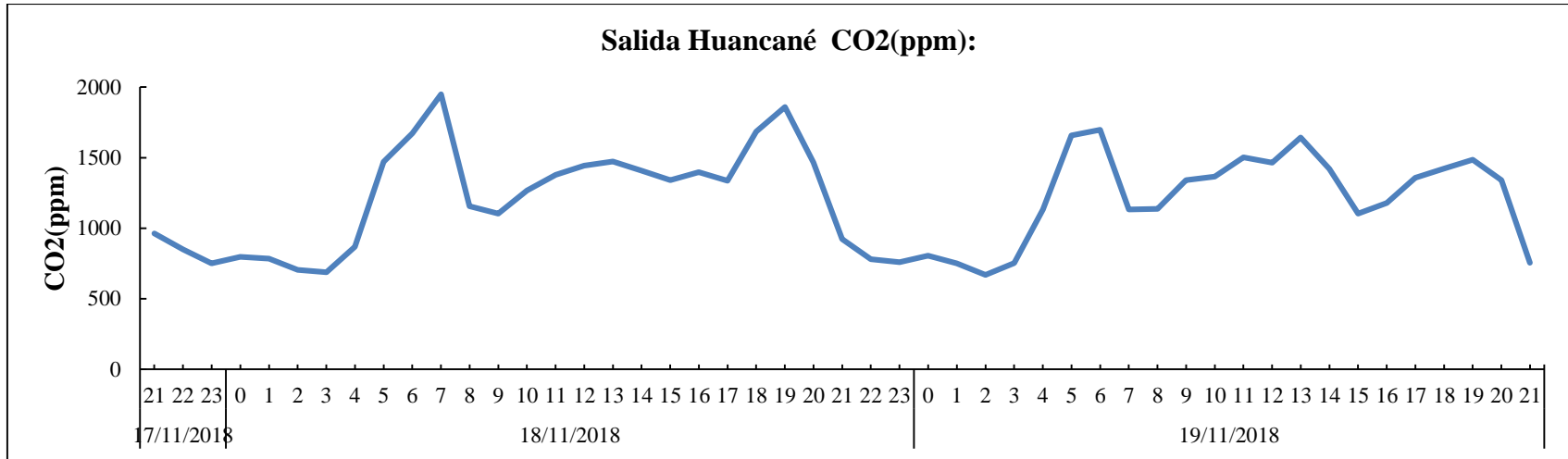


Figura 35. Distribución horaria de CO<sub>2</sub>, en la salida a Huancané.

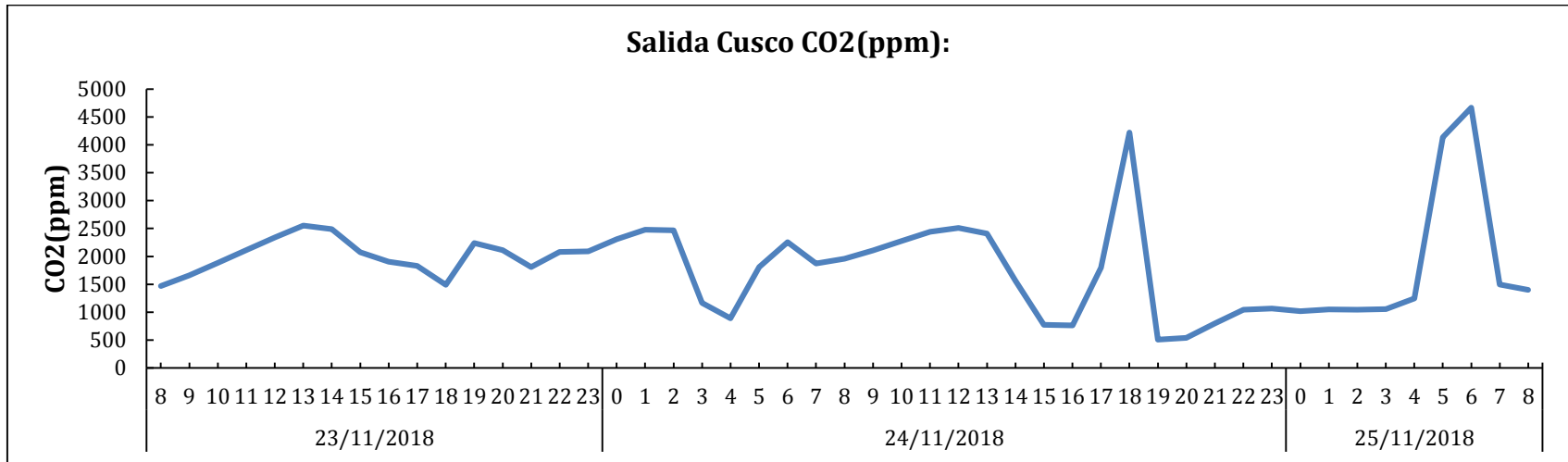


Figura 36. Distribución horaria de CO<sub>2</sub>, en la salida a Cusco.

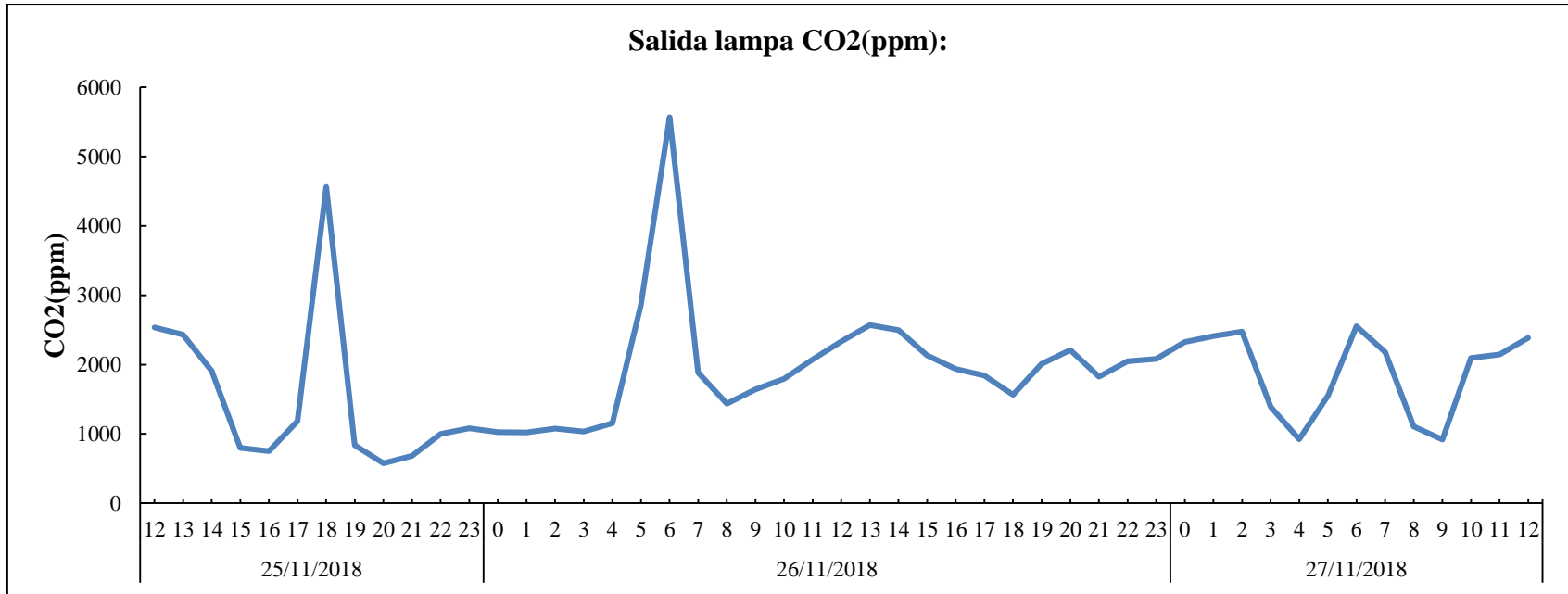


Figura 37. Distribución horaria de CO<sub>2</sub>, en la salida a Lampa.

**Anexos 7. Gráficos de distribución por hora de COV en cada lugar.**

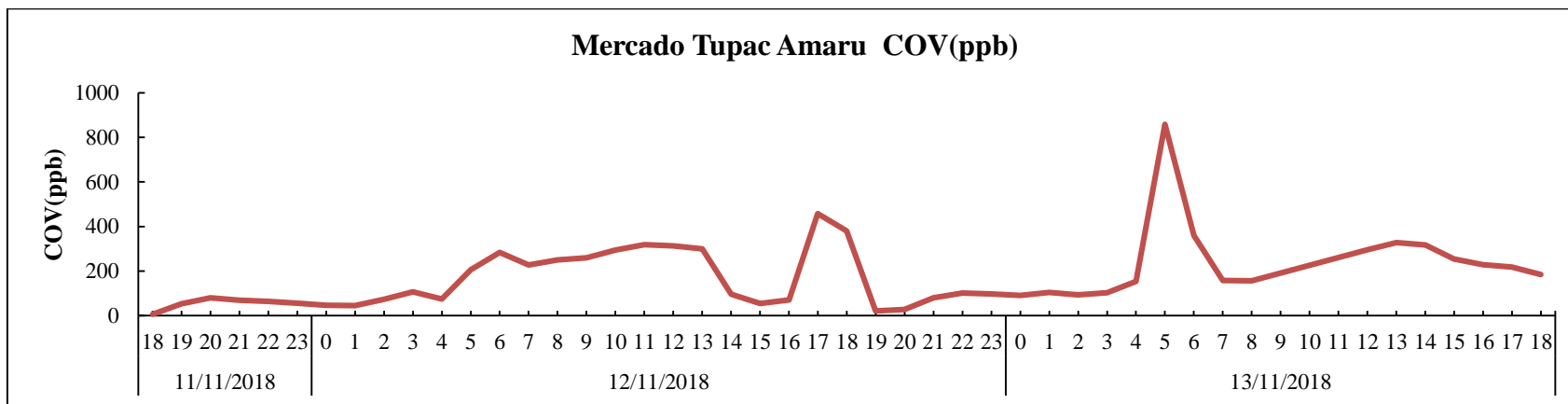


Figura 38. Distribución horaria de COV, en el mercado Túpac Amaru.

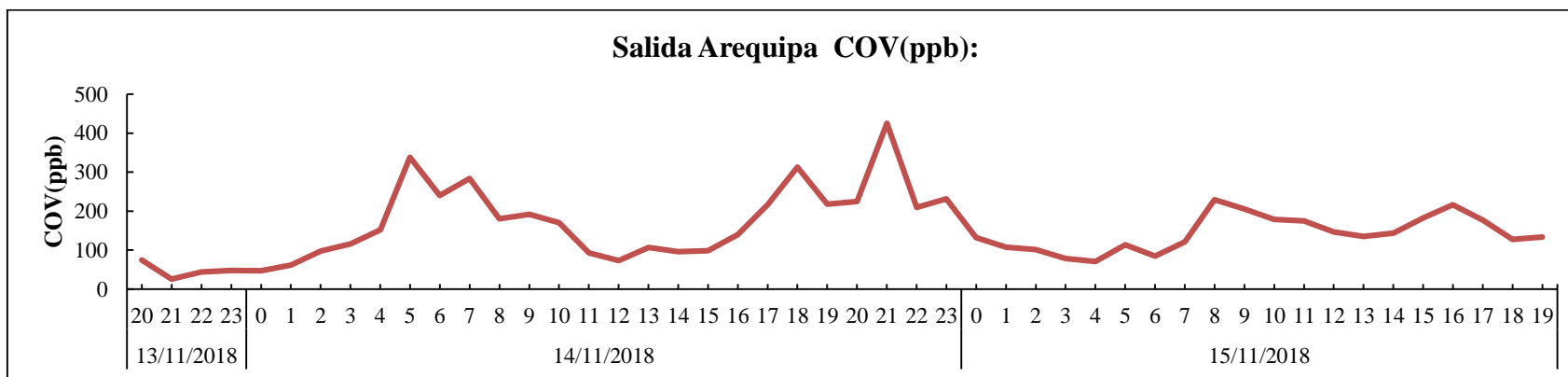


Figura 39. Distribución horaria de COV, en la salida a Arequipa.

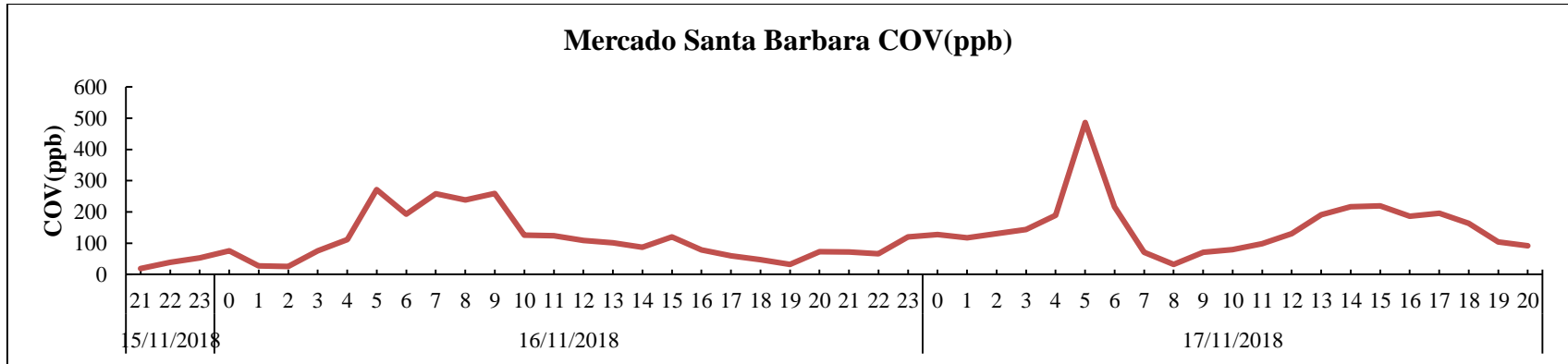


Figura 40. Distribución horaria de COV, en el mercado Santa Bárbara.

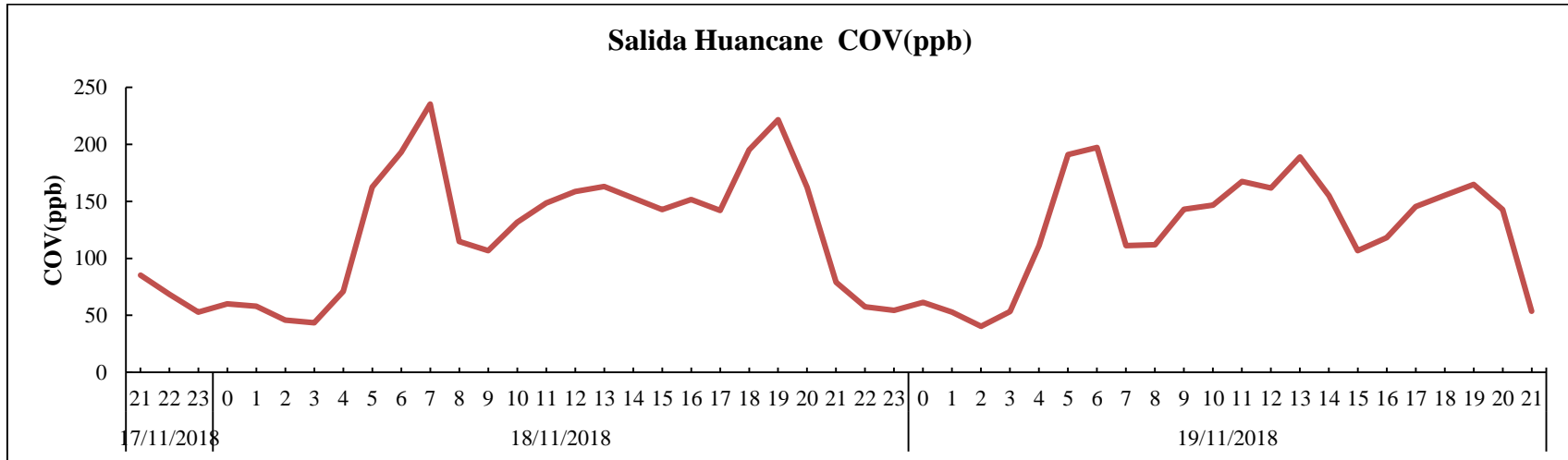


Figura 41. Distribución horaria de COV, en la salida a Huancané.



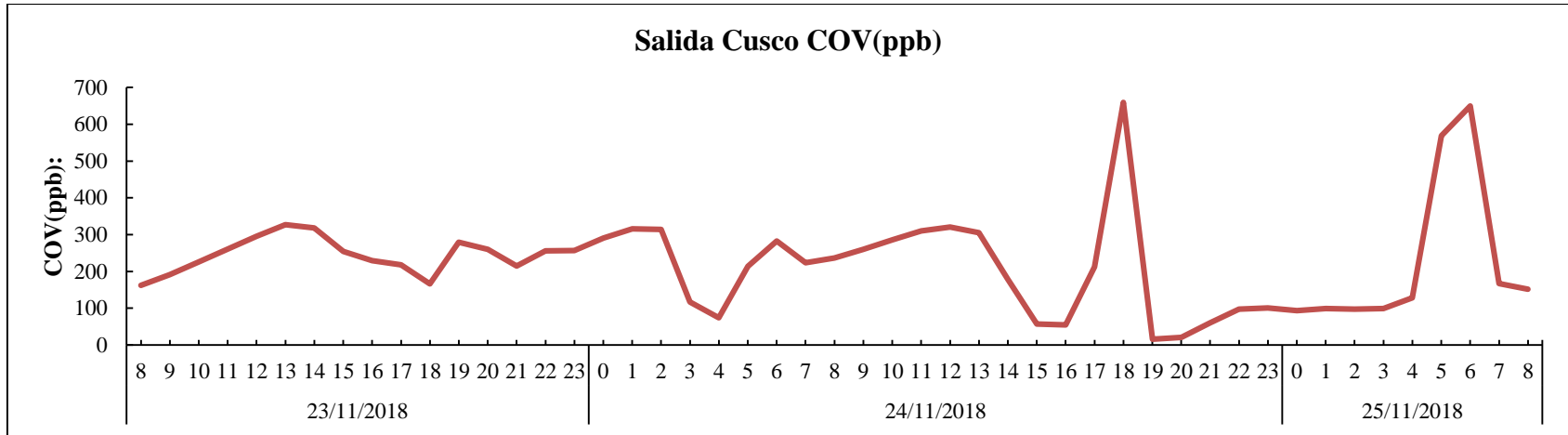


Figura 42. Distribución horaria de COV, en la salida a Cusco.

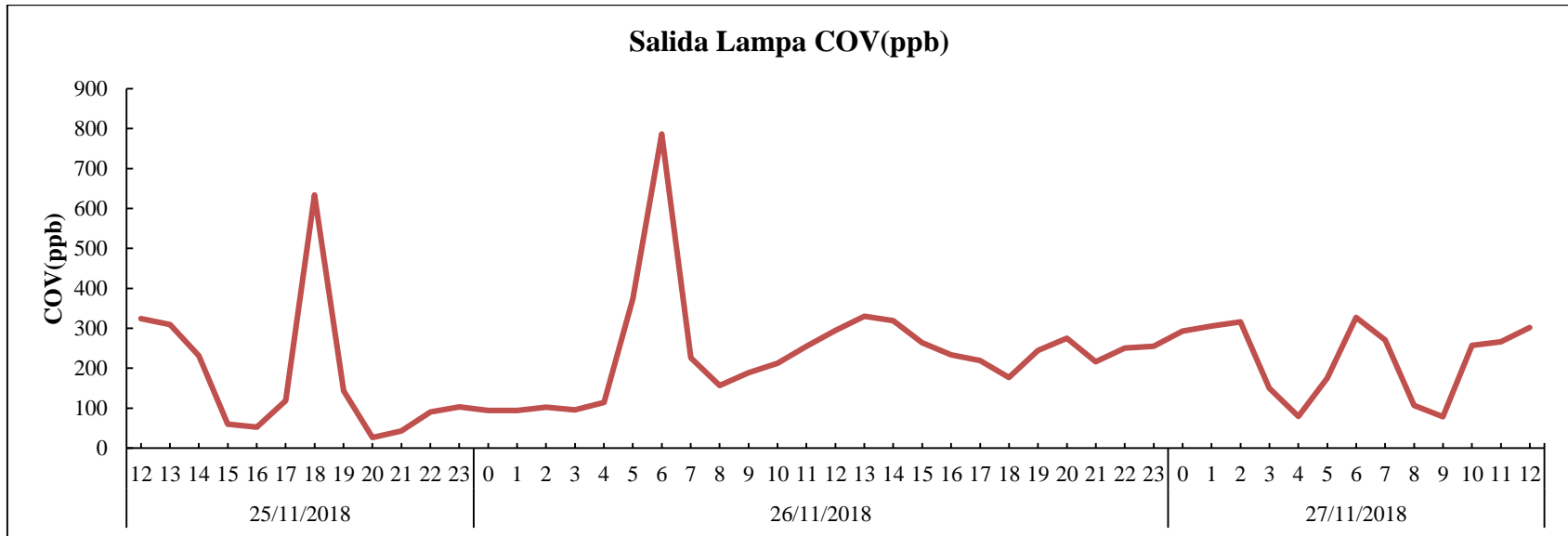


Figura 43. Distribución horaria de COV, en la salida a Lampa.

**Anexos 8. Gráficos de distribución por hora de densidad de polvo en cada lugar.**

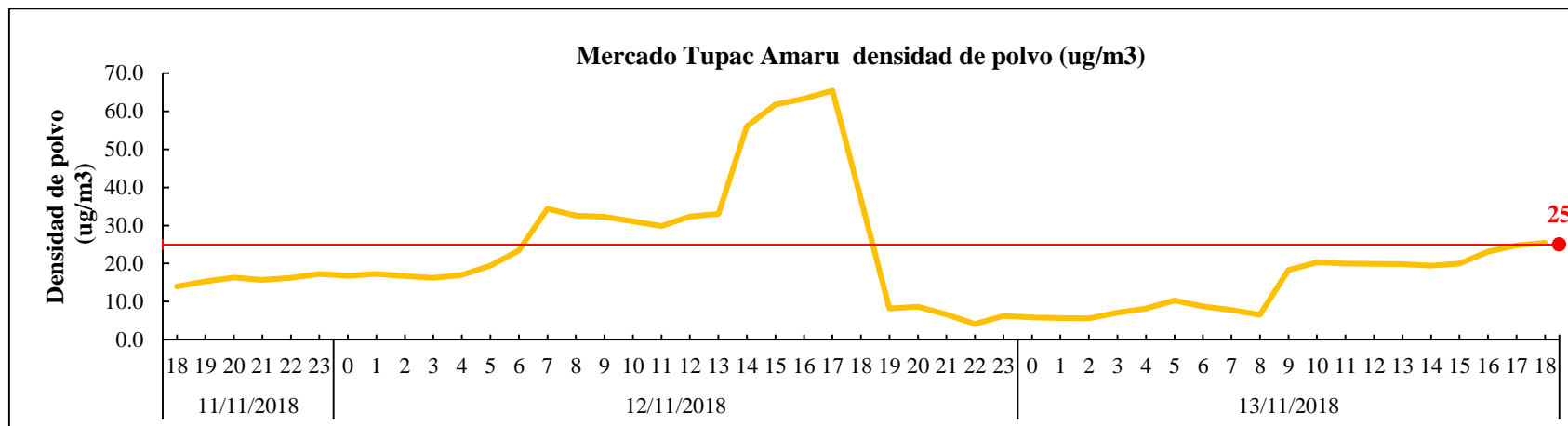


Figura 44. Distribución horaria de densidad de polvo, en el mercado Túpac Amaru.

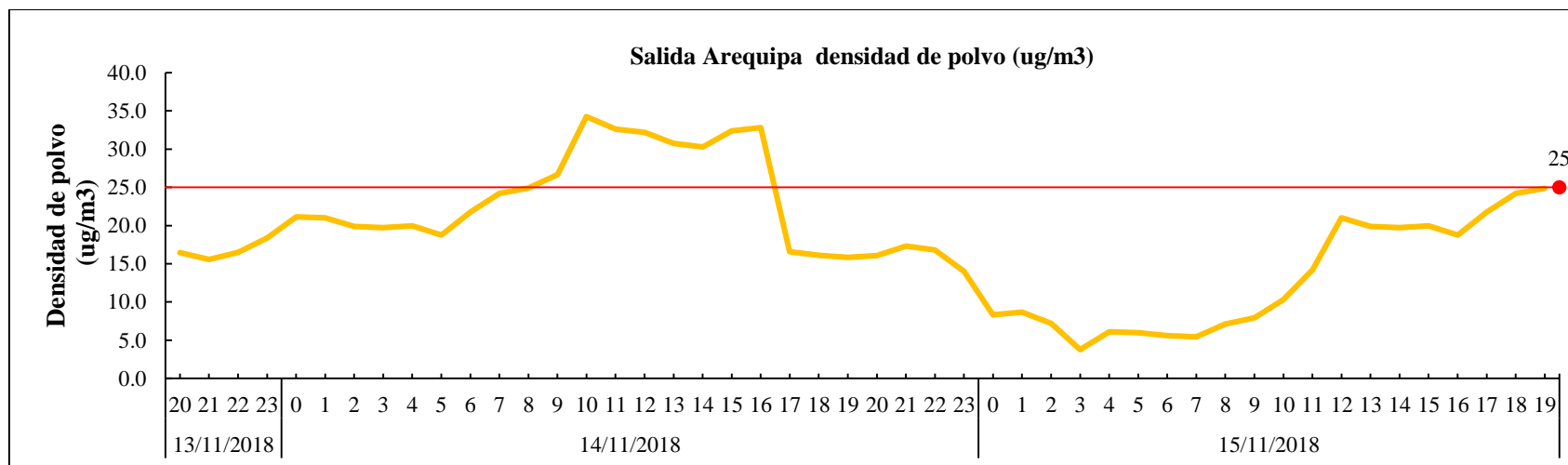


Figura 45. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Arequipa.

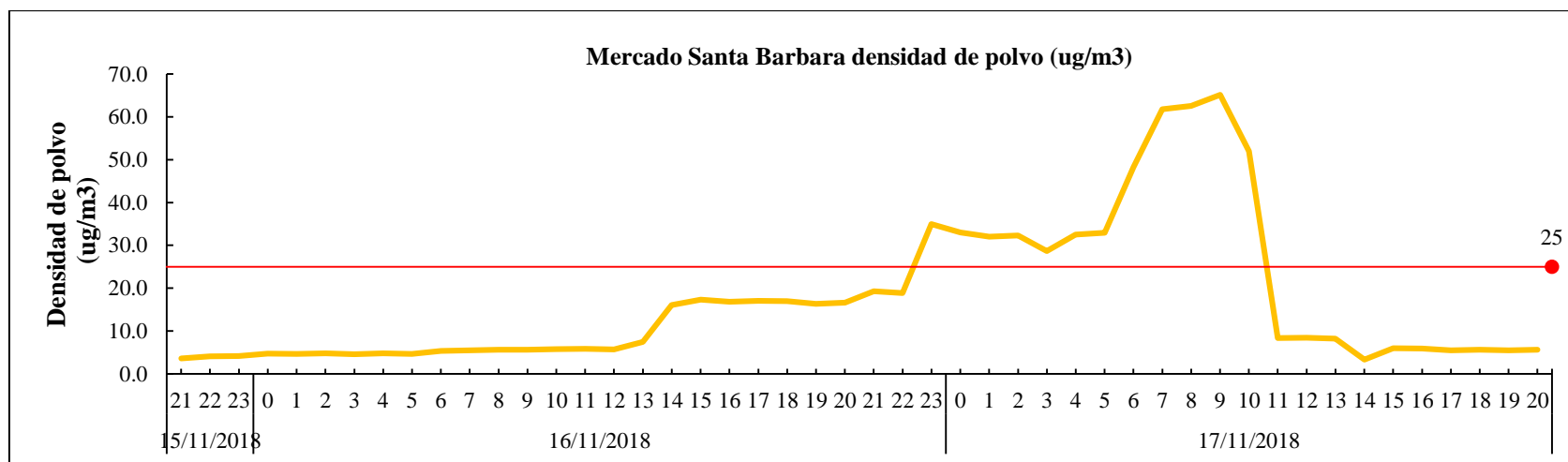


Figura 46. Distribución horaria de densidad de polvo, en el mercado Santa Bárbara.

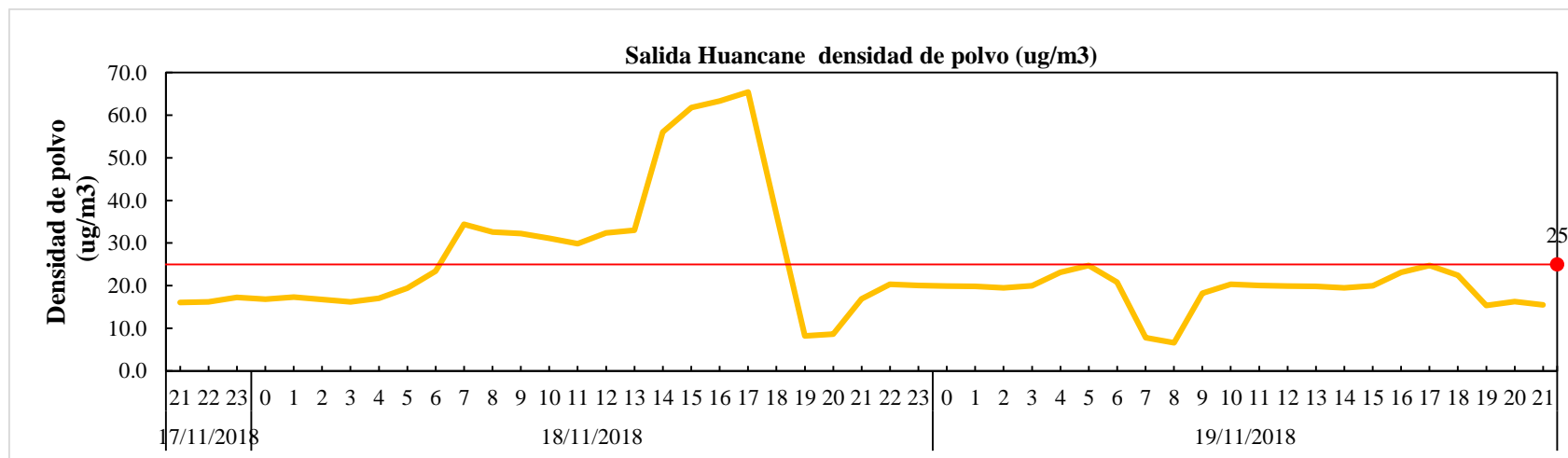


Figura 47. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Huancané.

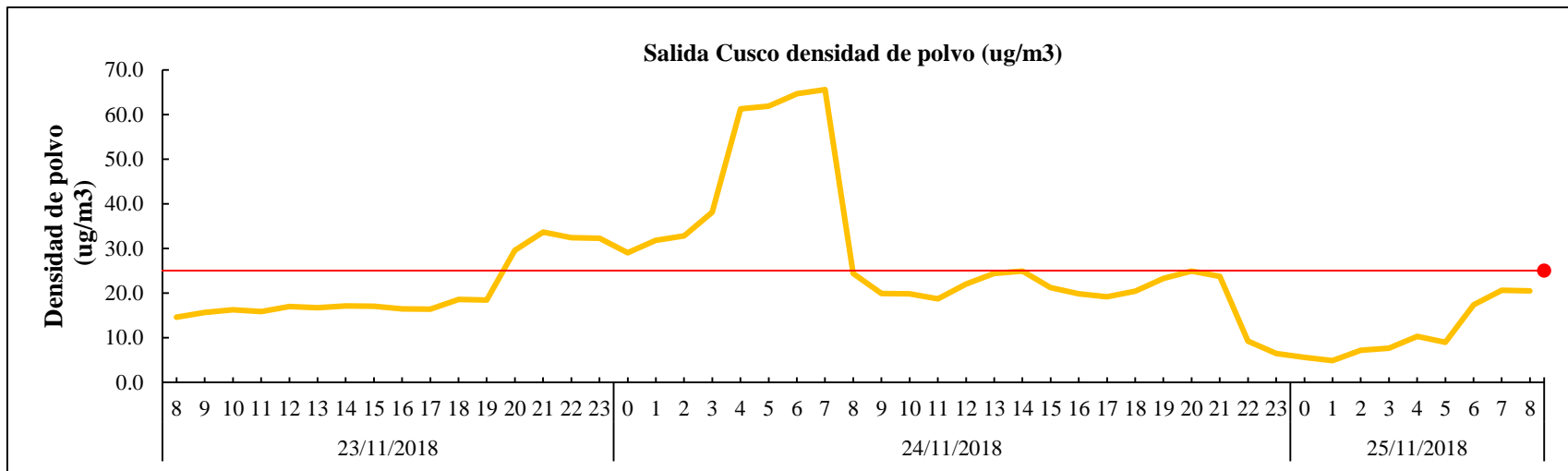


Figura 48. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Cusco.

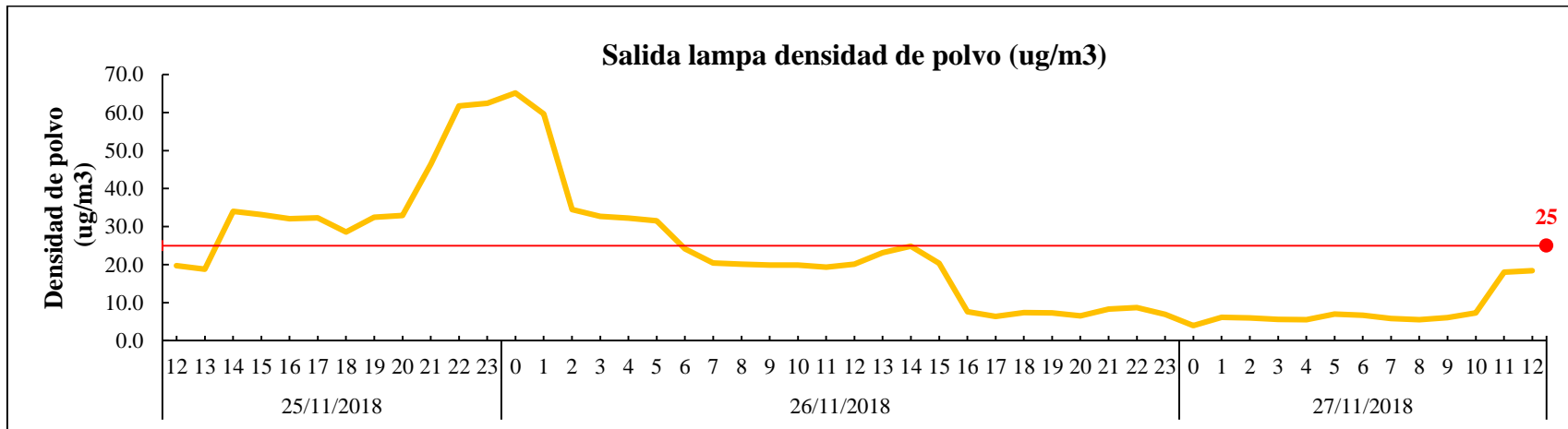
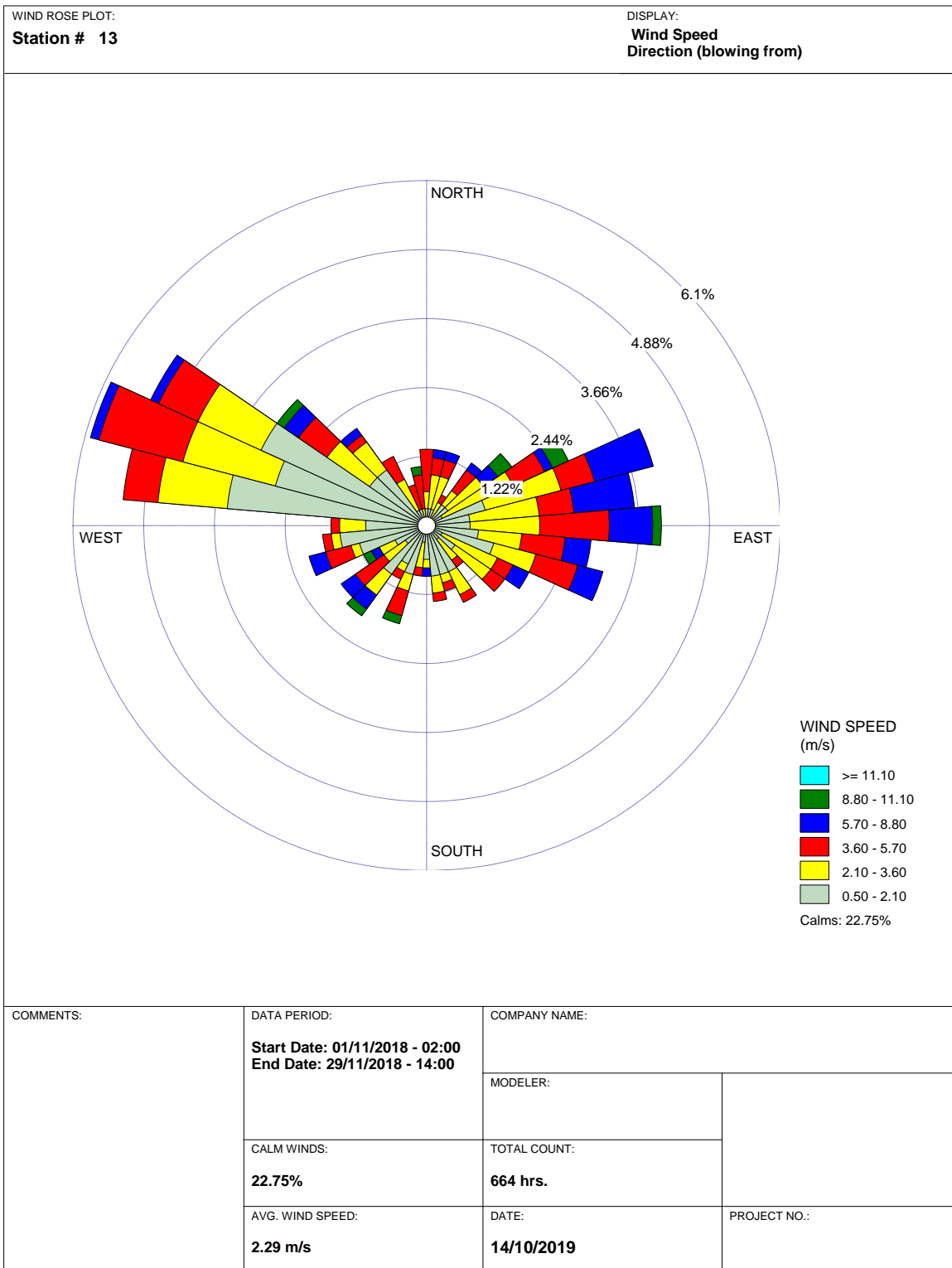


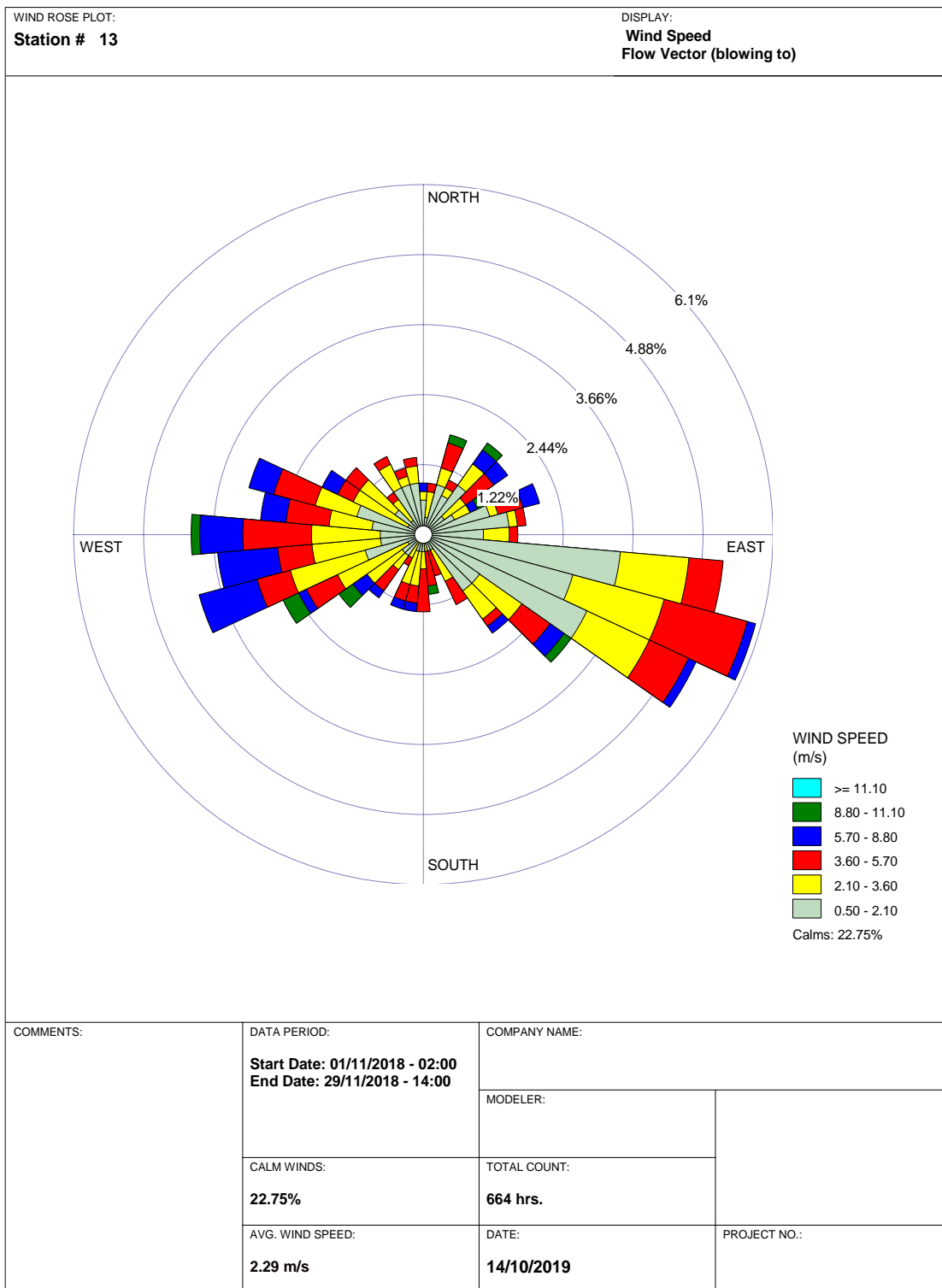
Figura 49. Distribución horaria de densidad de polvo, en la salida a Lampa.

## Anexos 9. Gráfica de Rosa de viento (Dirección del viento)



WRPLOT View - Lakes Environmental Software

### Anexos 10. Gráfica de Rosa de viento (Flow vector)



WRPLOT View - Lakes Environmental Software