



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



**"EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE POR  
CONCENTRACIONES DE PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> Y H<sub>2</sub>S.  
MEDIANTE UNA RED DE SENSORES DE BAJO COSTO EN LA  
ZONA LADRILLERA DE LA CIUDAD DE JULIACA"**

**Bach. Milagros Lupe Salas Huahuachampi**

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

**Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia**



**Juliaca, 2026**

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



**“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE POR  
CONCENTRACIONES DE PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> Y H<sub>2</sub>S,  
MEDIANTE UNA RED DE SENSORES DE BAJO COSTO EN LA  
ZONA LADRILLERA DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

**Bach. Milagros Lupe Salas Huahuachampi**

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

**Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia**

**Juliaca, 2026**

Salas, M. L. (2026). *Evaluación de la calidad del aire por concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca.*

*(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.*

**Autor:** Milagros Lupe Salas Huahuachampi

**Título:** Evaluación de la calidad del aire por concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca

**Publicación:** Juliaca, 2026

**Descripción:** Cantidad de páginas (117 páginas)

**Nota:** Tesis - Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

**Código:** 01-000081-01/L86

**Nota:** Incluye bibliografía

**Asesor:** Dr. Jose Luis Pineda Tapia

**Palabras clave:** Calidad del aire, ladrilleras artesanales y modelamiento, sensores de bajo costo, velocidad y dirección del viento, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S.

.

# Milagros Lupe Salas Huahuachampi

## EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE POR CONCENTRACIONES DE PM10, PM2.5, SO2, NO2, CO, O3 Y H2S...

 Universidad Nacional de Juliaca

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:615310103

Fecha de entrega

18 ago 2026, 5:20 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

19 ago 2026, 10:04 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

BORRADOR DE TESIS MILAGROS FINAL 3 para revisión.pdf

Tamaño del archivo

6.3 MB

120 páginas

23.681 palabras

132.934 caracteres



Firmado digitalmente por AQUINO  
LARICO Elmer Rodrigo FAU  
20448261272 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 19.08.2026 10:16:11 -05:00

# 15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Firmado digitalmente por AQUINO  
LARICO Elmer Rodrigo FAU  
20448261272 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 19.08.2026 10:16:58 -05:00

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA**

### **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL**

#### **“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE POR CONCENTRACIONES DE PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> Y H<sub>2</sub>S, MEDIANTE UNA RED DE SENSORES DE BAJO COSTO EN LA ZONA LADRILLERA DE LA CIUDAD DE JULIACA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentada por:

Bach. Milagros Lupe Salas Huahuachampi

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

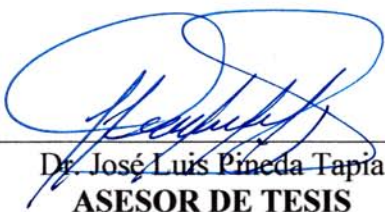
Mg. Cesar Enrique Yupanqui Bendita  
**PRESIDENTE DE JURADO**



M.Sc. Jael Calla Calla  
**JURADO (Secretario)**

  
**2º MIEMBRO**

M.Sc. Ebed David Paredes Rodriguez  
**JURADO (Vocal)**

  
**3º MIEMBRO**  
Dr. José Luis Pineda Tapia  
**ASESOR DE TESIS**

## DEDICATORIA

*La presente investigación está dedicada a Dios, por ser quien nos brinda bienestar y sabiduría para alcanzar las metas que nos trazamos en la vida.*

*A mi hermano Paul Salas Huahuachampi, quien siempre me motivó y tuvo confianza en mis capacidades académicas y hoy me guía e ilumina desde el cielo.*

*A mis padres, Vidal Salas Huanca y Rosa Huahuachampi Ramos por su amor constante, su apoyo incondicional y por permanecer junto a mí en cada paso de este camino.*

*A mi asesor de tesis, el Doctor Jose Luis Pineda Tapia quien ha sido una inspiración personal y profesional.*

*Al Personal Docente de mi universidad que, con su experiencia, me apoyaron y guiaron durante mi proceso formativo y finalmente dedico este trabajo a cuantos tuvieron parte, de manera directa e indirecta, hicieron posible la realización de la presente tesis.*

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Nacional de Juliaca, por brindarme el personal docente y la logística necesaria para mis estudios, lo que hizo posible alcanzar el logro de este importante objetivo académico.*

*A mi asesor, el Dr. José Luis Pineda Tapia, por su invaluable respaldo brindado y el tiempo dedicado como asesor de tesis, durante todo el proceso que implica la investigación aquí expuesta.*

*Al distinguido jurado evaluador de tesis: Mg. Cesar Enrique Yupanqui Bendita, M. Sc. Jael Calla Calla y M. Sc. Ebed David Paredes Rodriguez por su aporte a partir de las revisiones realizadas y por el tiempo dedicado a la evaluación de esta tesis, que contribuyeron con la mejora de esta tesis.*

*Finalmente quiero expresar mi profunda gratitud a mis padres, cuyo respaldo incondicional, tanto afectivo como económico, constituyó un pilar fundamental para la culminación de esta etapa académica.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                     | Pág         |
|-------------------------------------|-------------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>            | <b>i</b>    |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>          | <b>ii</b>   |
| <b>ÍNDICE GENERAL.....</b>          | <b>iii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>       | <b>viii</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>      | <b>ix</b>   |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>       | <b>xi</b>   |
| <b>ACRÓNIMOS Y SIMBOLOGÍA .....</b> | <b>xii</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>                | <b>14</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>               | <b>15</b>   |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>           | <b>16</b>   |

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Identificación de la situación problemática ..... | 18 |
| 1.2. Pregunta de investigación .....                   | 20 |
| 1.2.1. Pregunta general.....                           | 20 |
| 1.2.2. Preguntas específicas.....                      | 20 |
| 1.3. Objetivos .....                                   | 20 |
| 1.3.1. Objetivo general .....                          | 20 |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                      | 20 |
| 1.4. Justificación .....                               | 21 |
| 1.4.1. Justificación social. ....                      | 21 |
| 1.4.2. Justificación metodológico.....                 | 21 |

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 1.4.3. Justificación tecnológica. .... | 21 |
| 1.4.4. Justificación económica. ....   | 22 |
| 1.4.5. Justificación ambiental. ....   | 22 |

## **CAPÍTULO II**

### **REVISION DE LITERATURA**

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Antecedentes de la investigación.....                                   | 24 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....                                     | 24 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales .....                                         | 28 |
| 2.1.3. Antecedentes locales .....                                            | 31 |
| 2.2. Marco teórico.....                                                      | 33 |
| 2.2.1. Contaminación atmosférica.....                                        | 33 |
| 2.2.2. Ladrillera artesanal.....                                             | 33 |
| 2.2.3. Material particulado (PM <sub>10</sub> ) y (PM <sub>2.5</sub> ) ..... | 33 |
| 2.2.4. Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....                          | 34 |
| 2.2.5. Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....                             | 34 |
| 2.2.6. Monóxido de carbono (CO) .....                                        | 34 |
| 2.2.7. Ozono (O <sub>3</sub> ) .....                                         | 34 |
| 2.2.8. Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S).....                             | 34 |
| 2.2.9. Dispersión de contaminantes.....                                      | 34 |
| 2.2.10. El viento y la dispersión de contaminantes .....                     | 35 |
| 2.2.11. Monitoreo ambiental .....                                            | 35 |
| 2.2.12. Sensores de bajo costo (SBC) .....                                   | 35 |
| 2.2.13. Correlación de Pearson.....                                          | 35 |
| 2.2.14. Calidad del aire.....                                                | 36 |
| 2.2.15. Índice de calidad del aire (INCA) .....                              | 36 |

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1    | Ámbito de estudio .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 38 |
| 3.2    | Tipo de investigación .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 39 |
| 3.3    | Nivel de investigación. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 39 |
| 3.4    | Diseño de investigación.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 39 |
| 3.5    | Población .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 39 |
| 3.6    | Muestra.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 40 |
| 3.7    | Muestreo.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 40 |
| 3.8    | Hipótesis de investigación .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40 |
| 3.8.1  | Hipótesis general .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 40 |
| 3.8.2  | Hipótesis específicas .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 40 |
| 3.9    | Materiales y equipos .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 40 |
| 3.9.1  | Materiales .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40 |
| 3.9.2  | Equipos.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 41 |
| 3.9.3  | Validez .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 41 |
| 3.9.4  | Equipos de monitoreo.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 41 |
| 3.10   | Procedimiento metodológico .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 42 |
| 3.11   | Cuantificación de las concentraciones de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S mediante una red de sensores de bajo costo en una zona ladrillera de Juliaca.....                                                                                       | 43 |
| 3.11.1 | Monitoreo de la calidad del aire .....                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 43 |
| 3.11.2 | Procesamiento de datos .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 43 |
| 3.12   | Determinación de los índices de calidad del aire de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S mediante una red de sensores de bajo costo en una zona ladrillera de Juliaca. ....                                                                           | 45 |
| 3.13   | Establecimiento de la relación entre la variación de la velocidad del viento y las concentraciones de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S determinadas mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca..... | 45 |

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1. Cuantificación de las concentraciones de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca. ....                                                                    | 48 |
| 4.1.1. Niveles de concentración de PM <sub>10</sub> .....                                                                                                                                                                                                                                                           | 48 |
| 4.1.2. Niveles de concentración de PM <sub>2.5</sub> .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 50 |
| 4.1.3. Niveles de concentración de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....                                                                                                                                                                                                                                        | 51 |
| 4.1.4. Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....                                                                                                                                                                                                                                     | 53 |
| 4.1.5. Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO).....                                                                                                                                                                                                                                                    | 54 |
| 4.1.6. Niveles de concentración de ozono (O <sub>3</sub> ).....                                                                                                                                                                                                                                                     | 55 |
| 4.1.7. Niveles de concentración de sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S). ....                                                                                                                                                                                                                                    | 57 |
| 4.2. Determinación de los índices de calidad del aire de las concentraciones de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S determinados mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca. ....                     | 58 |
| 4.2.1. Índice de calidad de aire PM <sub>10</sub> .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 58 |
| 4.2.2. Índice de calidad de aire PM <sub>2.5</sub> .....                                                                                                                                                                                                                                                            | 60 |
| 4.2.3. Índice de calidad de aire (SO <sub>2</sub> ).....                                                                                                                                                                                                                                                            | 62 |
| 4.2.4. Índice de calidad de aire (NO <sub>2</sub> ).....                                                                                                                                                                                                                                                            | 63 |
| 4.2.5. Índice de calidad de aire (CO).....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 65 |
| 4.2.6. Índice de calidad de aire (O <sub>3</sub> ).....                                                                                                                                                                                                                                                             | 66 |
| 4.2.7. Índice de calidad de aire (H <sub>2</sub> S).....                                                                                                                                                                                                                                                            | 68 |
| 4.3. Establecimiento de la relación entre la variable velocidad del viento y las concentraciones de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S determinadas mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca. .... | 69 |

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| 5.1. Conclusiones.....                  | 73        |
| 5.2. Recomendaciones.....               | 75        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>76</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                     | <b>87</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                           | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Tabla 1</b> <i>Valores del índice de calidad del aire (INCA)</i> .....                                                 | 36   |
| <b>Tabla 2</b> <i>Puntos de monitoreo de calidad del aire.</i> .....                                                      | 39   |
| <b>Tabla 3</b> <i>Características de los sensores de bajo costo</i> .....                                                 | 41   |
| <b>Tabla 4</b> <i>Técnicas aplicadas en el monitoreo atmosférico.</i> .....                                               | 42   |
| <b>Tabla 5</b> <i>Características de precisión de sensor de velocidad y dirección del viento...</i>                       | 46   |
| <b>Tabla 6</b> <i>Valores de correlación de contaminantes atmosféricos con velocidad y<br/>dirección del viento</i> ..... | 70   |
| <b>Tabla 7</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....                                                               | 88   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                      | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1</b> <i>Mapa de localización del área de investigación.....</i>                                           | 38   |
| <b>Figura 2</b> <i>Flujograma de actividades del objetivo específico 01.....</i>                                     | 44   |
| <b>Figura 3</b> <i>Flujograma de actividades generales .....</i>                                                     | 47   |
| <b>Figura 4</b> <i>Concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> en estaciones de monitoreo</i>            | 48   |
| <b>Figura 5</b> <i>Concentraciones de material particulado PM<sub>2.5</sub> en estaciones de monitoreo</i>           | 50   |
| <b>Figura 6</b> <i>Concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en estaciones de monitoreo.....</i>         | 52   |
| <b>Figura 7</b> <i>Concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en estaciones de monitoreo</i>           | 53   |
| <b>Figura 8</b> <i>Concentraciones de monóxido de carbono (CO) en estaciones de monitoreo</i>                        | 54   |
| <b>Figura 9</b> <i>Concentraciones de ozono (O<sub>3</sub>) en estaciones de monitoreo.....</i>                      | 56   |
| <b>Figura 10</b> <i>Concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) en estaciones de monitoreo</i><br>..... | 57   |
| <b>Figura 11</b> <i>Índice de calidad del aire para el parámetro PM<sub>10</sub>.....</i>                            | 59   |
| <b>Figura 12</b> <i>Índice de calidad del aire para el parámetro PM<sub>2.5</sub>.....</i>                           | 61   |
| <b>Figura 13</b> <i>Índice de calidad del aire para el parámetro SO<sub>2</sub>.....</i>                             | 62   |
| <b>Figura 14</b> <i>Índice de calidad del aire para el parámetro NO<sub>2</sub>. ....</i>                            | 64   |
| <b>Figura 15</b> <i>Índice de calidad del aire para el parámetro CO.....</i>                                         | 65   |
| <b>Figura 16</b> <i>Índice de calidad del aire para el parámetro O<sub>3</sub>. ....</i>                             | 67   |
| <b>Figura 17</b> <i>Índice de calidad del aire para el parámetro H<sub>2</sub>S. ....</i>                            | 68   |
| <b>Figura 18</b> <i>Rosa de vientos de los puntos de monitoreo evaluados. ....</i>                                   | 69   |
| <b>Figura 19</b> <i>Estándares de calidad para aire.....</i>                                                         | 89   |
| <b>Figura 20</b> <i>Cálculos de INCA.....</i>                                                                        | 90   |

|                  |                                                     |     |
|------------------|-----------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 21</b> | <i>Mapa de correlación de calor – UNAJ 01</i> ..... | 110 |
| <b>Figura 22</b> | <i>Mapa de correlación de calor – UNAJ 02</i> ..... | 111 |
| <b>Figura 23</b> | <i>Mapa de correlación de calor – UNAJ 03</i> ..... | 112 |
| <b>Figura 24</b> | <i>Mapa de correlación de calor – UNAJ 04</i> ..... | 113 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                                                                                                                                                                               | Pág.       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ANEXO I.</b> <i>Matriz de operacionalización de variables</i> .....                                                                                                                                        | <b>88</b>  |
| <b>ANEXO II.</b> <i>Estándares de calidad del aire (ECA)</i> .....                                                                                                                                            | <b>89</b>  |
| <b>ANEXO III.</b> <i>Índices de calidad del aire</i> .....                                                                                                                                                    | <b>89</b>  |
| <b>ANEXO IV.</b> <i>Promedios diarios de temperatura por cada punto de monitoreo</i> .....                                                                                                                    | <b>92</b>  |
| <b>ANEXO V.</b> <i>Niveles de concentración diarios de <math>PM_{10}</math>, <math>PM_{2.5}</math>, <math>SO_2</math>, <math>NO_2</math>, <math>CO</math>, <math>O_3</math> y <math>H_2S</math>.</i><br>..... | <b>94</b>  |
| <b>ANEXO VI.</b> <i>Valores máximos registrados durante el monitoreo de calidad de aire.</i>                                                                                                                  | <b>103</b> |
| <b>ANEXO VII.</b> <i>Mapas de correlación de calor de las estaciones de monitoreo UNAJ 01, UNAJ 02, UNAJ 03 y UNAJ 04.</i> .....                                                                              | <b>110</b> |
| <b>ANEXO VIII:</b> <i>Panel Fotográfico</i> .....                                                                                                                                                             | <b>114</b> |
| <b>ANEXO IX:</b> <i>Resolución de consejo de comisión organizadora N°606-2023-CCO-UNAJ mediante la cual ha sido financiada la presente investigación.</i> .....                                               | <b>116</b> |

## ACRÓNIMOS Y SIMBOLOGÍA

|                   |                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|
| UTM               | : Universal transverse mercator                           |
| GPS               | : Global positioning sistem                               |
| PM                | : Material particulado                                    |
| PM <sub>10</sub>  | : Material particulado de tamaño menor o igual 10 micras  |
| PM <sub>2.5</sub> | : Material particulado de tamaño menor o igual 2.5 micras |
| CO                | : Monóxido de carbono                                     |
| SO <sub>2</sub>   | : Dióxido de azufre                                       |
| NO <sub>2</sub>   | : Monóxido de nitrógeno                                   |
| O <sub>3</sub>    | : Ozono                                                   |
| H <sub>2</sub> S  | : Sulfuro de hidrógeno                                    |
| ECA               | : Estándares de calidad ambiental                         |
| MINAM             | : Ministerio del ambiente                                 |
| OMS               | : Organización mundial de salud                           |
| ONU               | : Organización de naciones unidas                         |
| PRODUCE           | : Ministerio de la producción                             |
| SBC               | : Sensores de bajo costo                                  |
| INCA              | : Índice de calidad del aire                              |
| U.S. EPA          | : United States environmental protection agency           |
| FRM               | : Federal reference method                                |
| FEM               | : Método federal equivalente.                             |
| BC                | : Black carbon                                            |
| EC                | : Elemental carbon                                        |
| NMVOCs            | : Non - methane Volatile Organic Compounds                |

|       |                                          |
|-------|------------------------------------------|
| BAM   | : Beta Attenuation Monitor               |
| NRMSE | : Normalized root mean square error      |
| NMAE  | : Normalized mean absolute error         |
| PALM  | : Parallelized large simulation model    |
| TVOC  | : Total volatile organic compounds       |
| PMF   | : Positive matrix factorization          |
| NAAQS | : National ambient air quality standards |
| CoD   | : Coeficientes de divergencia            |
| RNA   | : Redes neuronales artificiales          |
| ECM   | : Error cuadrático medio                 |
| RMSE  | Root mean square error                   |

## RESUMEN

Los hallazgos recientes señalan que la contaminación atmosférica se ha consolidado como un riesgo multisistémico. En tal sentido, la investigación se centró principalmente en evaluar la calidad del aire mediante una red de sensores de bajo costo, ubicados en cuatro puntos de monitoreo en la zona ladrillera en la ciudad de Juliaca determinando los niveles de concentración de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  y  $H_2S$  comprendido entre los meses de meses de noviembre y diciembre del 2024, enero, febrero y julio de 2025 mediante sensores de bajo costo (Low-cost sensors). Como resultado se obtuvo que  $PM_{10}$  y  $O_3$  superaron los ECA alcanzando los valores de  $162,56 \mu g/m^3$  y  $121,77 \mu g/m^3$ , las concentraciones de  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  y  $H_2S$  permanecieron dentro de los valores de referencia establecidos en los ECA. En lo respecta al INCA para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  predominó una calidad del aire “buena”;  $SO_2$  presentó una calidad del aire “mala”; el  $O_3$  “moderada”, y  $NO_2$ ,  $CO$  y  $H_2S$  mantuvieron una calidad del aire “buena”. Finalmente, las relaciones de las concentraciones de los contaminantes evaluados presentaron relaciones inversas con velocidad del viento, evidenciándose de esta manera que con el incremento de la velocidad del viento los contaminantes tienden a dispersarse con mayor facilidad, aunque en diferente magnitud.

### **Palabras clave:**

Calidad del aire, ladrilleras artesanales y modelamiento, sensores de bajo costo, velocidad y dirección del viento,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  y  $H_2S$ .

## ABSTRACT

Recent findings indicate that air pollution has become established as a multisystemic risk. In this context, the present study primarily focused on assessing air quality through a network of low-cost sensors installed at four monitoring sites in the brickmaking area of the city of Juliaca. The concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S were determined during November and December 2024, as well as January, February, and July 2025, using low-cost sensors. The results showed that PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> exceeded the Environmental Quality Standards (EQS), reaching values of 162,56 µg/m<sup>3</sup> and 121,77 µg/m<sup>3</sup>, respectively. Meanwhile, the concentrations of PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO and H<sub>2</sub>S remained within the reference values established by the EQS. Regarding the Air Quality Index (AQI), PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> predominantly exhibited “good” air quality; SO<sub>2</sub> showed “poor” air quality; O<sub>3</sub> presented “moderate” air quality; and NO<sub>2</sub>, CO and H<sub>2</sub>S maintained “good” air quality. Finally, the concentrations of the evaluated pollutants exhibited inverse relationships with wind speed, demonstrating that as wind speed increased, pollutants tended to disperse more readily, although to varying degrees.

### **Keywords:**

Air quality, artisanal brick kilns and modeling, low-cost sensors, wind speed, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S.

## INTRODUCCIÓN

El derecho a respirar aire limpio es esencial para la humanidad, ya que las condiciones del aire inciden en la salud por la presencia de partículas que afectan el organismo. (Pérez et al., 2025). Uno de los principales problemas actuales es el deterioro ambiental del aire, la cual representa un grave riesgo para la salud pública (Boldo & Querol, 2014). Además, se ha evidenciado un aumento de los gases de efecto invernadero como resultado de las actividades humanas (Cabrera et al., 2021), lo que conlleva efectos negativos en la salud colectiva. De hecho, la Organización mundial de la salud (OMS) señala que la contaminación del aire causa un número significativo de muertes cada año (Licla, 2021).

El monitoreo de la calidad del aire es esencial debido a que la exposición a contaminantes atmosféricos puede afectar la salud humana y el equilibrio ambiental (Chen et al., 2024). El PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se asocian a problemas respiratorios y cardiovasculares (Zhu et al., 2019). El SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> provienen principalmente de procesos de combustión (Chen et al., 2021); el CO se origina por combustión incompleta; el O<sub>3</sub> se forma por reacciones fotoquímicas en la atmósfera; y el H<sub>2</sub>S está relacionado con actividades industriales y descomposición orgánica. En conjunto, su seguimiento continuo permite verificar el cumplimiento de normas ambientales y sustentar acciones de gestión para la protección de la población.

El uso de sensores de bajo costo ha cobrado importancia en el monitoreo de la calidad del aire por su capacidad de generar datos continuos y detallados sobre los contaminantes atmosféricos, permitiendo ampliar la cobertura de vigilancia ambiental más accesibles y económicos que las estaciones tradicionales (Vallejo et al., 2024). Estas tecnologías permiten ampliar la cobertura de monitoreo en zonas urbanas e industriales donde los sistemas tradicionales resultan limitados por sus elevados costos de adquisición, operación y mantenimiento (Munir et al., 2019). Asimismo, los sensores de bajo costo facilitan la obtención de información en tiempo real (Williams et al., 2017), y contribuyen a la identificación de patrones de dispersión de contaminantes atmosféricos y fortaleciendo la gestión ambiental y la toma de decisiones orientadas a la protección de la salud pública (Karagulian et al., 2019).

En la ciudad de Juliaca, las emisiones generadas por la actividad ladrillera, junto con el incremento de las actividades urbanas y el tránsito vehicular, han generado preocupación por el deterioro de la calidad del aire (Alfaro et al., 2025). Los procesos de combustión

utilizados en la fabricación de ladrillos pueden liberar material particulado y gases contaminantes que afectan tanto al ambiente como a la salud de la población cercana (Nicolaou et al., 2024). En ese contexto, resulta importante desarrollar estudios que permitan evaluar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos y generar información que contribuya a la gestión ambiental de la zona.

En el contexto local, la valoración de las condiciones actuales de la calidad del aire sigue siendo reducido debido a la limitada implementación de sistemas permanentes de monitoreo atmosférico y a la escasez de investigaciones enfocadas en el empleo de sensores de bajo costo. Esta carencia de información dificulta la comprensión del comportamiento y distribución de los contaminantes en determinadas zonas, por lo que resulta necesario desarrollar estudios que permitan establecer datos de referencia y fortalecer las acciones de control y evaluación ambiental.

En este sentido, la presente investigación se orientó a evaluar la calidad del aire en la zona ladrillera de Juliaca mediante la medición de las concentraciones de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  y  $H_2S$  utilizando una red de sensores de bajo costo. Para concretar este propósito, se proponen los siguientes objetivos específicos: medir y cuantificar las concentraciones de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  y  $H_2S$  a través de una red de sensores de bajo costo; calcular los índices de calidad del aire (INCA) basados en los niveles detectados de los contaminantes estudiados y analizar como la variabilidad en la velocidad del viento y dirección del viento influye sobre las fluctuaciones en las concentraciones de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$  y  $H_2S$  en la zona ladrillera de Juliaca.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Identificación de la situación problemática

Es notorio el impacto de la contaminación del aire sobre la salud de la población. Los datos actuales muestran que la contaminación del aire supone un riesgo que afecta múltiples sistemas del cuerpo (Sunyer & Rivas, 2022). Se debe interpretar que el aire que introducimos en nuestro cuerpo contiene altos índices de contaminantes y varios de ellos producen enfermedades como el cáncer (Clofent et al., 2021), asimismo, se calcula que la contaminación del aire provoca la muerte de alrededor de siete millones de personas cada año (OMS, 2018) y más del 90 % de la población global viven en lugares con concentraciones de contaminantes que exceden los parámetros seguros establecidos para la condición del aire (Silva et al., 2023).

La calidad del aire representa un gran desafío en las grandes ciudades (Carrasco et al., 2023). En particular, la ciudad de Juliaca enfrenta un problema grave debido al crecimiento de la industria ladrillera artesanal, que emplea métodos tradicionales que queman materiales muy contaminantes, como neumáticos, leña, residuos plásticos y carbón, en hornos con deficiente aprovechamiento de la energía (Aguilar, 2022). En la ciudad de Juliaca se ha identificado la actividad ladrillera como uno de los principales aportantes a la contaminación atmosférica (MINAM, 2014). Así mismo, en monitoreos realizados por el MINAM en el 2013 se obtuvo que la ciudad de Juliaca reportó concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  que superaron el ECA para aire vigente al 2016 (MINAM, 2021), ello implica que la ciudad de Juliaca es una de las ciudades que presenta problemáticas en la calidad del aire a comparación de otras ciudades.

Se ha comprobado que la exposición a los gases emitidos a causa del proceso de quemado durante la producción de ladrillos provoca problemas respiratorios (Ali & Zulfiqar, 2021). Así mismo la literatura científica señala que el viento es un factor que influye directamente en la difusión y distribución de los contaminantes atmosféricos (Liu et al., 2025). Estos contaminantes atmosféricos pueden ser trasladados a áreas urbanas comprometiendo la salud colectiva y provocando efectos negativos ambientales más amplios.

En este contexto, la actividad ladrillera artesanal genera principalmente material particulado fino y grueso ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ), así como gases contaminantes producto de la combustión incompleta, entre los que destacan el dióxido de azufre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), monóxido de carbono (CO), ozono troposférico ( $O_3$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), los cuales influyen de manera directa en la variabilidad de la calidad del aire y representan un riesgo significativo para la salud humana y el ambiente.

Sin embargo, en la actualidad, para el monitoreo de la calidad del aire, se vienen utilizando equipos de alto costo y difícil mantenimiento, por lo que el número de estaciones de monitoreo es limitado e insuficiente para proporcionar información detallada (Liu et al., 2019). La instalación de equipos tradicionales de monitoreo se ve restringida por su alto costo y la complejidad en su operación, situación que ha llevado a explorar alternativas más accesibles, como los sensores de bajo costo. Estos dispositivos son equipos que recolectan la información devolviendo valores que representan los parámetros a analizar en tiempo real (Rubio et al., 2016), permitiendo llevar registros amplios, claros y completos (Delgado & Rojas, 2015).

Connolly et al. (2022) mencionan que los SBC son efectivos en el monitoreo de  $PM_{2.5}$ , pues en su estudio determinaron que existe una alta correlación temporal ( $r > 0,98$ ) y homogeneidad espacial ( $CoD < 0,06$ ), por otro lado, la Municipalidad Metropolitana de Lima, mediante Resolución de Alcaldía N° 119 31.03.2021 aprobó un instrumento que permite la puesta en marcha de un mecanismo que facilita la implementación de equipos destinados a supervisar la calidad del aire en Lima Metropolitana. Este sistema se apoya en metodologías alternativas y emplea tecnologías SBC para efectuar el seguimiento de los niveles de calidad del aire.

No obstante, persisten importantes vacíos en el conocimiento relativo a las concentraciones reales de contaminantes en sectores críticos como la zona ladrillera de Juliaca.

## **1.2. Pregunta de investigación**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Cómo varía la calidad del aire en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca según las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, determinadas mediante una red de sensores de bajo costo?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuáles son las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S determinadas mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca?
- ¿Cuáles son los índices de calidad del aire para las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S determinados mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca?
- ¿Cuál es la relación entre la variable de la velocidad del viento y las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S determinadas mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad del aire por concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca.
- Determinar los índices de calidad del aire (INCA) de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S determinadas mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca.
- Establecer la relación entre la variable velocidad del viento y las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación social**

En el ámbito social, es de conocimiento general que el tema de la contaminación del aire ha sido estudiado a fin de obtener diversos intereses particulares. Investigaciones han evidenciado que los impactos provocados por la contaminación del aire se manifiestan en las vías respiratorias, especialmente a la población infantil por ser más susceptibles (Ubilla & Yohannessen, 2016). pero para afirmar que algún componente ambiental está contaminado primero debemos comparar sus parámetros, es decir sus características intrínsecas, con lo establecido en la legislación ambiental actual, por lo que los monitoreos son una necesidad para la sociedad.

### **1.4.2. Justificación metodológico**

Desde el punto de vista metodológico a pesar de que ya existen estudios donde se evalúa y caracteriza la calidad del aire, en la ciudad de Juliaca aún no se ha utilizado otros métodos como una red de sensores. Así mismo, los monitoreo relacionados con los planes para mejorar la calidad del aire o prevenir riesgos en salud ambiental debe llevarse a cabo utilizando métodos que posibiliten la obtención de datos de manera continua y en tiempo real (MINAM, 2019), sin embargo, esto no sucede debido a limitaciones presupuestales y de sostenibilidad, por lo que la presente investigación cubrirá ese vacío brindando una data continua de la calidad del aire permitiendo una mejor visualización y análisis de la problemática.

### **1.4.3. Justificación tecnológica**

Desde el punto de vista tecnológico, la humanidad se encuentra en una era digitalizada que le permite acceder a información en tiempo real, por lo que las tecnologías de sensorización están logrando prevenir, diagnosticar enfermedades medioambientales (Ortega et al., 2019). Estudios recientes establecen que, aunque la precisión puede ser menor que la de monitores regulatorios, la integración de sensores de bajo costo en redes de monitoreo puede complementar las estaciones oficiales y ofrecer información valiosa para la gestión ambiental (Okorn & Iraci, 2024). Aunque no sustituyen completamente los equipos de referencia, muchos estudios han demostrado que, con calibración adecuada, los sensores de bajo costo pueden ofrecer datos útiles y comparables para

evaluar tendencias y niveles de contaminantes (Shabbir et al., 2025). Así que la presente investigación permitirá tener acceso a información precisa y detallada a partir de nuevas tecnologías que se vienen utilizando en países y ciudades más avanzadas, es decir contribuirá con el uso de nuevas metodologías para el monitoreo de calidad del aire a partir del uso de dispositivos compactos producto del avance tecnológico.

#### **1.4.4. Justificación económica**

Desde una perspectiva económica, los sensores de bajo costo reciben esta denominación porque su precio de adquisición es considerablemente menor en comparación con los equipos de monitoreo más avanzados que emplean métodos de referencia oficiales como FRM o FEM para medir el mismo contaminante atmosférico, conforme a la Resolución Ministerial N° 094-2021-MINAM. En este sentido, la U.S. EPA utiliza el término “bajo costo” para describir dispositivos y sensores destinados al monitoreo de la calidad del aire cuyo valor comercial se encuentra aproximadamente entre 100 y 2 500 dólares estadounidenses. Asimismo, diversos estudios han señalado que, en comparación con los equipos oficiales, los sensores de bajo costo pueden presentar diferencias que, en algunos casos y bajo determinadas condiciones de operación, pueden alcanzar hasta un 60 % y que estas diferencias dependen del tipo de contaminante, las condiciones ambientales y la tecnología del sensor (Giordano et al., 2021). Esta característica económica permite que, con el presupuesto destinado a un solo equipo sofisticado, se puedan instalar varios sensores en distintos puntos, ampliando la cobertura espacial del monitoreo, reduciendo la inversión inicial requerida y facilitando la expansión de redes de vigilancia ambiental; por ello, el término “bajo costo” no solo alude al precio del dispositivo, sino también a su accesibilidad y viabilidad financiera para investigaciones, entidades públicas o comunidades con recursos limitados, promoviendo una gestión ambiental más inclusiva y descentralizada.

#### **1.4.5. Justificación ambiental**

Desde el enfoque ambiental, existe una creciente necesidad de optimizar los sistemas de vigilancia de la calidad del aire mediante la implementación de dispositivos más económicos, compactos y de sencilla manipulación (Sá et al., 2022). En este contexto, los sensores de bajo costo constituyen una herramienta que permite incrementar la cobertura espacial y temporal del monitoreo atmosférico, favoreciendo la obtención de

datos en tiempo real sobre las concentraciones de contaminantes presentes en el ambiente. La disponibilidad de esta información facilita el análisis de patrones de dispersión, la evaluación de posibles riesgos para la población expuesta y el soporte técnico para la toma de decisiones por parte de las entidades responsables. De igual manera, estas tecnologías emergen como una alternativa complementaria a las estaciones convencionales de monitoreo, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión ambiental y al cumplimiento de las normativas orientadas a preservar la salud pública y la calidad ambiental.

## CAPÍTULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Sharma et al. (2025) examinaron cómo se vienen utilizando sensores de bajo costo en países con distintos niveles de ingresos, poniendo atención en cómo cambian las fuentes de contaminación, el desempeño de los equipos y el uso de herramientas como el aprendizaje automático para identificar de dónde provienen los contaminantes. Para entender su funcionamiento, se consideraron tres aspectos clave: qué tan bien rinden los sensores, qué tan sensibles son a diferentes fuentes y qué tan confiables son los datos que generan, lo que permite tener una visión más completa de su utilidad en diversos contextos. Los resultados mostraron que en los países con mayores recursos los sensores tienden a funcionar mejor en términos generales, seguidos por los de ingresos medios y bajos; sin embargo, de manera curiosa, en los países de menores ingresos se obtuvieron datos más confiables en ciertas fuentes específicas. Además, se observó que las principales fuentes de contaminación varían según el contexto: el transporte predomina en países ricos, la industria en los de ingresos medios y la generación de energía en los de menores recursos.

Nicolaou et al. (2024) realizaron un artículo de revisión 104 estudios sobre la contribución de los hornos ladrilleros a la contaminación atmosférica evidencian un aporte significativo a la degradación de la calidad del aire en el sur de Asia. En conjunto, las emisiones de estos hornos contribuyen a las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y carbono negro (BC) en rangos de 20 % - 41 %, hasta 28 % y 6 % - 91 %. Asimismo, se ha identificado que los hornos ladrilleros pueden constituir fuentes importantes de carbono elemental (EC) con aportes cercanos al 40 % y de compuestos orgánicos volátiles no metánicos (NMVOCs) alrededor del 10 % en determinados contextos. De manera complementaria, los análisis estacionales muestran incrementos marcados en las concentraciones de contaminantes atmosféricos cuando los hornos se encuentran en operación. En India y Nepal, se ha reportado que los niveles de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> aumentan entre 70 % y 180 % durante la temporada de invierno en comparación con la temporada de monzones, cuando la actividad de los hornos disminuye o se detiene. Asimismo en

Pakistán se han registrado incrementos de 500 % en  $PM_{10}$ , 28 % en  $SO_2$  y 270 % en  $NO_2$  en áreas con hornos operativos respecto a zonas sin actividad ladrillera. De forma similar, se ha determinado que las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  pueden ser hasta 4.6 veces mayores a menos de 3 Km. de los hornos en comparación con áreas ubicadas a distancias superiores, evidenciando un fuerte gradiente espacial de contaminación asociado a estas fuentes emisoras.

Shabbir et al. (2025) analizaron el escenario actual de contaminación por  $PM_{2.5}$  en las principales ciudades de Pakistán utilizando datos de 61 sensores LCS instalados a nivel nacional, con un sensor TSI BlueSky validado frente a un monitor regulatorio BAM (Beta Attenuation Monitor) en Chakwal. En particular, los datos del sensor BlueSky presentaron una alta correlación con el monitor de referencia BAM (Pearson = 0,85), lo que indica una buena capacidad para reflejar los niveles reales de contaminación por  $PM_{2.5}$ . Además, los errores de medición fueron relativamente bajos (NRMSE: 8 % y NMAE: 6 %, correspondientes al error cuadrático medio normalizado y al error absoluto medio normalizado, respectivamente), lo que refuerza su precisión aceptable para uso general. Estos hallazgos sugieren que la combinación de sensores de bajo costo con análisis avanzado de datos puede ser una solución técnica y económicamente viable para el monitoreo preciso de la calidad del aire y su gestión efectiva en Pakistán y otros países en desarrollo que enfrentan altas concentraciones de  $PM_{2.5}$ . Este cambio de paradigma mejora las capacidades de monitoreo y apoya la toma de decisiones informadas y las iniciativas de salud pública.

Frederickson et al. (2024) instalaron una red vertical de cinco sensores de bajo costo para monitorear contaminación atmosférica en el exterior de un instituto de la Universidad de Copenhague, en Dinamarca con el objetivo de analizar el transporte de contaminantes provenientes del tráfico vehicular de la vía cercana. Los sensores midieron concentraciones de  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$  y  $O_3$  cada minuto, mientras que uno de ellos también registró niveles de ruido. Además, el tráfico fue evaluado mediante una cámara web y algoritmos de aprendizaje automático para identificar el tipo y volumen vehicular. Los resultados mostraron que las correlaciones entre contaminación, ruido y volumen de tráfico aumentaron considerablemente bajo vientos del suroeste y bajas velocidades de viento, alcanzando valores de  $R^2 = 0,40$  entre  $NO_2$  y ruido,  $R^2 = 0,51$  entre  $NO_2$  y tráfico, y  $R^2 = 0,70$  entre ruido y tráfico, evidenciando que el tráfico era la fuente común

de estos parámetros. Asimismo, los sensores presentaron alta consistencia entre sí, con valores mínimos de  $R^2$  de 0,98 para  $PM_{2.5}$ , 0,89 para  $NO_2$  y 0,97 para  $O_3$ , sin detectarse un gradiente vertical significativo en la contaminación. Las simulaciones realizadas con el modelo PALM confirmaron que, bajo ciertas condiciones atmosféricas, la concentración de contaminantes se mantiene casi constante con la altura, indicando que la calidad del aire en un quinto piso puede ser similar a la observada a nivel de calle.

Sorensen & Kristensen (2024) realizaron un estudio en 75 aulas de Dinamarca durante noviembre de 2021, evaluaron la calidad del aire interior con el objetivo de analizar la relación entre la ocupación, la ventilación y la presencia de contaminantes como  $CO_2$  y compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC), relevantes para la salud y el desempeño estudiantil. Se emplearon sensores de bajo costo para mediciones continuas de ocupación,  $CO_2$  y TVOC, complementados con análisis de laboratorio mediante cromatografía de gases integrada a espectrometría de masas (TD – GC - MS). Los resultados mostraron incrementos significativos de TVOC durante el horario escolar y acumulación matutina asociada a ventilación insuficiente en días previos. Se observó una correlación débil pero significativa entre  $CO_2$  y TVOC ( $r = 0,21$ ;  $p < 0,01$ ), evidenciando dinámicas parcialmente independientes debido a emisiones puntuales en el aula. El tipo de ventilación fue un factor clave, con menores concentraciones de  $CO_2$  y TVOC en aulas con ventilación mecánica frente a natural; sin embargo, todas las aulas superaron el valor guía de 1000 ppm de  $CO_2$ , y en el 70 % de los casos este límite se excedió durante más de la mitad del tiempo de ocupación. Además, se identificó una relación positiva entre los niveles medianos de TVOC durante la ocupación y la calidad del aire percibida por los ocupantes.

Bousiotis et al. (2023) utilizaron sensores de bajo costo para evaluar la calidad del aire interior, encontrando que las concentraciones promedio en las habitaciones fueron más altas para  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  ( $3,9 \pm 6,8 \mu g/m^3$  y  $9,6 \pm 12,7 \mu g/m^3$  respectivamente), La cocina ( $2,8 \pm 5,9 \mu g/m^3$  y  $4,2 \pm 6,9 \mu g/m^3$  respectivamente), debido a la ventilación en la oficina resultó con concentración más alta de  $PM_{10}$  ( $1,6 \pm 1,9 \mu g/m^3$ ), lo que destaca el fuerte efecto de infiltración del aire exterior para las partículas más pequeñas. La asignación de fuentes, mediante factorización de matrices positivas (PMF), mostró que hasta el 95 % del  $PM_{10}$  se encontró que era de fuentes exteriores en todas las habitaciones.

Aniyikaiye et al., (2023) realizaron un estudio en el distrito de Vhembe District (Sudafrica) para evaluar la distribución espacio-temporal de  $PM_{2.5}$  en comunidades cercanas a hornos informales de ladrillos. La metodología consistió en el monitoreo continuo de  $PM_{2.5}$  entre marzo de 2021 y febrero de 2022 mediante sensores de bajo costo Dylos DC1700 instalados en nueve estaciones, previamente calibrados con un monitor de referencia GRIMM Environmental Dust Monitor 180. Los resultados mostraron concentraciones anuales de  $PM_{2.5}$  entre 22,6 y 36,2  $\mu g/m^3$ , con máximos registrados en las mañanas, noches y durante el invierno, estación en la que se observaron las mayores superaciones de los límites diarios del estándar sudafricano de calidad del aire (NAAQS). Las principales fuentes identificadas fueron la combustión de biomasa doméstica, emisiones vehiculares, actividades industriales y construcción. El estudio concluye que los sensores de bajo costo calibrados representan una opción efectiva para monitorear la calidad del aire en zonas con escasa información ambiental y apoyar estrategias de reducción de riesgos para la salud.

Connolly et al. (2022) en un estudio realizado entre diciembre de 2017 y junio de 2019 en una comunidad ubicada junto a una autopista interestatal, evaluaron el desempeño de sensores de bajo costo PurpleAir II para el monitoreo comunitario de la calidad del aire, con el objetivo de analizar su capacidad para medir  $PM_{2.5}$  en ambientes interiores y exteriores y su relación con el tráfico vehicular y actividades humanas. Se desplegaron 30 sensores (12 exteriores y 18 interiores) y se aplicaron técnicas de aseguramiento y control de calidad (QA/QC), evaluando la completitud de datos, correlaciones espaciales y temporales, coeficientes de divergencia (CoD), relaciones interior/exterior (I/O) y modelos de efectos mixtos. Los resultados mostraron una mejor confiabilidad en sensores interiores (73 % de completitud) en comparación con los exteriores (54 %). Los sensores exteriores presentaron alta consistencia temporal ( $r > 0,98$ ) y homogeneidad espacial ( $CoD < 0,06$ ). Además, las concentraciones de  $PM_{2.5}$  mostraron relación con los niveles de tráfico, confirmando su sensibilidad a la contaminación vehicular. En interiores, las relaciones I/O fueron consistentes con la literatura, y el modelo de efectos mixtos explicó más del 85 % de la variabilidad del  $PM_{2.5}$ , evidenciando la influencia combinada de la calidad del aire exterior, factores microclimáticos y actividades humanas. En conjunto, se concluye que los sensores comunitarios pueden monitorear eficazmente el  $PM_{2.5}$ , siendo la principal limitación la incompletitud de datos en exteriores.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Apaza & Salazar (2025) analizaron la relación entre la calidad del aire y la actividad ladrillera en la comunidad campesina de Sucso Aucaylle (Cusco), durante el periodo 2023 - 2024. Para ello se establecieron tres puntos de monitoreo ambiental y se empleó un monitor portátil de calidad de aire Aeroqual serie 500. Los resultados evidenciaron que la calidad del aire se encuentra afectada principalmente por la presencia de material particulado, ya que las concentraciones promedio de  $PM_{10}$  ( $118,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y  $PM_{2.5}$  ( $54,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) superaron los valores permitidos por los estándares de calidad ambiental para aire. A su vez, los contaminantes gaseosos como  $NO_2$ , CO y  $SO_2$  se mantuvieron dentro de los límites establecidos. El estudio concluye que la actividad ladrillera influye en el deterioro de la calidad del aire en la zona, generando un nivel de afectación moderado y un posible riesgo para la salud de la población.

Vera & Quispe (2023) modelaron de la dispersión geográfica de  $PM_{10}$  generada por el sector ladrillero del distrito de San Jerónimo mediante el empleo del software AERMOD View. En ese sentido, se realizaron mediciones correspondientes a las dimensiones de un horno ladrillero, la velocidad de salida del penacho, la temperatura de emisión de los gases, el consumo de combustible, el tiempo de cocción y la materia prima empleada. Los datos obtenidos fueron posteriormente incorporados al software AERMOD View. Los resultados se representaron mediante un mapa de dispersión de  $PM_{10}$ , en el cual se determinó que el punto de monitoreo CA-SJ-01 presentó una concentración de  $133,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , constituyéndose en el único punto que superó los ECA para aire. Asimismo, se estableció una relación directa entre el comportamiento de los contaminantes y las variables meteorológicas asociadas con la velocidad y dirección del viento.

Ulloa et al. (2022) evaluaron la variación temporal de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y determinar posibles zonas fuente de emisión, utilizando sensores de bajo costo en la ciudad de Huancayo. Se instalaron sensores PurpleAir PA - II (PMS5003) en tres puntos de monitoreo de la ciudad los cuales fueron (CHI, HYO y UNCP), registrando datos cada minuto entre agosto de 2018 y junio de 2019. Los resultados mostraron alta variabilidad del  $PM_{2.5}$ , con picos extremos durante festividades como Año Nuevo (hasta  $826 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En promedio, HYO presentó las mayores concentraciones ( $21,7 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), seguido de CHI ( $19,6 \pm 8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y UNCP ( $14,5 \pm 9,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), con valores más

altos en época seca. Además, se registraron múltiples superaciones del Estándar de Calidad Ambiental ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), especialmente en HYO. En conjunto, el estudio demuestra la utilidad de sensores de bajo costo para caracterizar la contaminación por  $\text{PM}_{2.5}$ , identificar patrones temporales y apoyar la detección de fuentes emisoras en entornos urbanos andinos.

Dalens & Macedo (2022) evaluaron la calidad del aire a partir de las emisiones de  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  y CO generadas por la industria ladrillera en Cusco. Para ello se realizaron dos campañas de monitoreo durante los meses de mayo y junio. Durante la primera evaluación del aire (mayo), las concentraciones registradas de  $\text{PM}_{2.5}$  fueron de  $30,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $16,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que el  $\text{PM}_{10}$  alcanzó valores de  $85,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $32,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; por su parte, el CO presentó una concentración de  $738 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en ambos puntos evaluados. En la segunda evaluación (junio) se observó un incremento en todos los contaminantes, registrándose valores de  $\text{PM}_{2.5}$  de  $49,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $38,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , de  $\text{PM}_{10}$  de  $115,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $57,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y de CO de  $5382 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $4939 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A partir de estos resultados, el estudio concluye que la calidad del aire en la zona de la ladrillera de San Jerónimo se clasifica como moderada.

Galloza & Ponce (2022) analizaron la relación entre la concentración de  $\text{PM}_{10}$  y las variables meteorológicas de temperatura y humedad relativa en cuatro avenidas de la ciudad de Trujillo. Emplearon sensores de partículas  $\text{PM}_{10}$  junto con equipos de medición de temperatura y humedad, aplicándose análisis estadísticos mediante las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y correlación de Spearman ( $p < 0,05$ ). Los resultados mostraron diferencias según la zona. En América Sur hubo relación significativa ( $p = 0,00$ ) con correlaciones débiles pero directas (temperatura  $r = 0,152$ ; humedad  $r = 0,009$ ). En España no se encontró relación con la temperatura ( $p = 0,073$ ), mientras que la humedad mostró una influencia de carácter inverso ( $p = 0,00$ ;  $r = -0,058$ ). En cambio, en Jesús de Nazareth y César Vallejo se observaron relaciones significativas ( $p = 0,00$ ), con correlación positiva entre  $\text{PM}_{10}$  y temperatura ( $r = 0,260$  y  $r = 0,293$ , respectivamente) y negativa con la humedad ( $r = -0,248$  y  $r = -0,243$ ). En conjunto, se evidenció que el efecto de las variables meteorológicas sobre el  $\text{PM}_{10}$  varía según la ubicación, predominando la influencia negativa de la humedad y positiva de la temperatura.

Rojas & Medina (2022) evaluaron el desempeño de modelos de Redes Neuronales Artificiales (RNA) para pronosticar concentraciones de  $PM_{10}$  en el aire. La metodología consistió en diseñar distintas arquitecturas de RNA utilizando datos de contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas obtenidas de la estación de monitoreo “ATE”, complementadas con simulaciones del modelo WRF-CHEM. Los modelos fueron entrenados y verificados mediante indicadores estadísticos como el Error Cuadrático Medio (ECM), el sesgo o precisión (BIAS) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Los resultados mostraron que la mejor arquitectura correspondió a una red con 19 neuronas en la capa oculta, alcanzando un ECM de 0,0230, BIAS de 0,5308 y un  $R^2$  de 0,823, evidenciando una alta capacidad predictiva. Además, el modelo logró generar pronósticos de  $PM_{10}$  con hasta 6 horas de anticipación, demostrando su potencial para la implementación de Sistemas de Alerta Temprana frente a episodios de contaminación del aire.

Gattelli (2022) realizó una investigación en las empresas ladrilleras “Ladrillos Fuertes y Durables Fortaleza SAC” y “Cerámicas Júpiter SAC”, ubicadas en Yarinacocha y Manantay, con el objetivo de evaluar las concentraciones de CO,  $PM_{10}$  y ruido industrial en relación con el sistema productivo. La metodología incluyó el uso del Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad del Aire (MINAM, 2019) para CO y  $PM_{10}$ , y el Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido (MINAM, 2013), además de análisis de regresión lineal. Los resultados mostraron concentraciones de CO de 8290,9  $\mu g/m^3$  en “Fortaleza” y 5731,2  $\mu g/m^3$  en “Júpiter”, valores inferiores al ECA nacional de 10000  $\mu g/m^3$ . Para  $PM_{10}$ , “Fortaleza” registró 162,84  $\mu g/m^3$ , superando el estándar nacional de 100  $\mu g/m^3$ , mientras que “Júpiter” presentó 73,20  $\mu g/m^3$ , dentro del límite permitido. En ruido, se registraron niveles de 75,27 dBA y 61,32 dBA, ambos por debajo del límite de 80 dBA. El análisis estadístico evidenció relación directa entre producción y emisiones de CO, así como entre producción y ruido, especialmente en “Fortaleza” con  $r^2 = 0,80$ . No se encontró relación significativa entre la producción y las concentraciones de  $PM_{10}$ .

Luna et al. (2017) realizaron un estudio en el distrito de San Isidro, con el objetivo de monitorear y estimar contaminantes atmosféricos ( $CO_2$  y  $SO_2$ ) mediante sensores de bajo costo y modelos de redes neuronales. Se recopilieron datos entre el 5 y 12 de abril de 2017, con registros minuto a minuto, los cuales fueron procesados y depurados en

Python, incorporando además variables meteorológicas (temperatura, humedad y presión). Los resultados mostraron que el CO<sub>2</sub> superó en aproximadamente 32 % el estándar de calidad ambiental, mientras que el SO<sub>2</sub> lo excedió en más de 270 %, evidenciando contaminación atmosférica significativa. Las predicciones mediante redes neuronales lograron un desempeño con error RMSE de 20 ppm y MAPE cercano al 3 % para CO<sub>2</sub>, confirmando la utilidad del modelo para estimación de contaminantes en tiempo real.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Mamani et al. (2026) evaluaron la calidad del aire mediante el análisis de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y su relación con variables meteorológicas en la ciudad de Juliaca. Los resultados mostraron que las concentraciones promedio de PM<sub>10</sub> se mantuvieron por debajo de los límites establecidos en el D.S. N.º 003-2017-MINAM; sin embargo, se evidenció una alta variabilidad atmosférica y una relación inversa entre el PM<sub>10</sub> y las variables meteorológicas, registrándose correlaciones moderadas con la humedad relativa  $r = -0,5419$ , la temperatura  $r = -0,5158$  y la precipitación  $r = -0,3645$ . Estos resultados demostraron que el incremento de la humedad, la temperatura y las precipitaciones favorece la dispersión y remoción del material particulado. Asimismo, se identificó un patrón estacional con mayores concentraciones de PM<sub>10</sub> durante los meses secos de otoño e invierno, asociado a baja humedad, ausencia de lluvias y estabilidad atmosférica. En conclusión, las condiciones atmosféricas predominantes en Juliaca están vinculadas tanto con la dinámica meteorológica como con las fuentes de emisión antropogénicas, aspecto que sustenta la necesidad de fortalecer los mecanismos de vigilancia y gestión ambiental.

Huancapaza (2026) evaluó los efectos ambientales asociados a la calidad del aire y ruido en el proyecto “Ampliación y Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Juliaca - Puno”, mediante un diseño de investigación descriptivo no experimental y un enfoque cuantitativo. Para ello, realizó análisis de laboratorio, mediciones in situ, observación directa y revisión documental. Los resultados evidenciaron concentraciones de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> inferiores a los estándares de calidad ambiental (ECA) para aire en todas las estaciones de monitoreo evaluadas, registrándose valores máximos menores a 13,66 µg/m<sup>3</sup> para SO<sub>2</sub>; 1280 µg/m<sup>3</sup> para CO; 6,90 µg/m<sup>3</sup> para NO<sub>2</sub>; 3,10 µg/m<sup>3</sup> para H<sub>2</sub>S; 7,60 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>

y  $3,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2.5}$ . Estos resultados evidencian que los parámetros de calidad del aire monitoreados se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

Supo et al. (2024) realizaron un estudio en cuatro instituciones educativas del distrito de San Miguel, Puno (Perú), en el que emplearon sensores de bajo costo integrados a redes IoT para monitorear, durante mayo de 2024, los niveles de  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ , CO y  $\text{CO}_2$ . Los resultados evidenciaron variaciones espaciales y temporales significativas, con concentraciones más elevadas en zonas urbanas con alta actividad vehicular y comercial. Aunque los niveles de contaminantes se mantuvieron por debajo de los umbrales internacionales, se identificaron patrones preocupantes de CO y  $\text{CO}_2$  que podrían afectar la salud a largo plazo. El estudio resalta la utilidad de sensores económicos en contextos con recursos limitados y la importancia de un monitoreo continuo en poblaciones vulnerables como los escolares.

Quispe (2023) realizó una evaluación de contaminantes atmosféricos en las zonas con mayor tránsito vehicular de la ciudad de Juliaca, los parámetros evaluados fueron  $\text{PM}_{10}$ , cobre, hierro, manganeso y zinc, realizó dos monitoreos, uno en época seca y la otra en época húmeda, como resultado obtuvo que para  $\text{PM}_{10}$  se registraron mayores concentraciones en época seca con  $107,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a comparación con la época húmeda donde se obtuvo  $63,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para los parámetros se registraron concentraciones promedio para Cu  $0,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Fe  $1,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Mn  $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Zn  $4,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , donde se llegó a la conclusión de que los metales y metaloides evaluados no superan los parámetros establecidos en el ámbito internacional, sin embargo para el caso de  $\text{PM}_{10}$  si exceden los estándares establecido por la OMS ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mas no supera lo establecido por la normativa peruana ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) esto en época húmeda.

Justo (2021) realizó un estudio en Juliaca con el objetivo de evaluar la calidad del aire mediante el análisis de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), monóxido de carbono (CO) y ozono ( $\text{O}_3$ ) en nueve puntos críticos de la ciudad. El procedimiento metodológico se enmarcó en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire del MINAM, empleándose un sistema de tren de muestreo (EYLECS-TM03) y contrastando los resultados con base en los lineamientos de la OMS y el INCA. Los resultados mostraron concentraciones promedio de  $20,523 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$ ;  $36,690 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$ ;  $2459,157 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de CO y  $2,953 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{O}_3$  durante el periodo enero-marzo.

Según el INCA, el NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> se ubicaron en el rango de “buena calidad” (0 - 50), mientras que el SO<sub>2</sub> alcanzó el rango de “mala calidad” (101 - 625), evidenciando que este contaminante representa el principal riesgo para la salud de la población sensible de Juliaca.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Contaminación atmosférica**

Es la distribución de un agente en un componente del ambiente de tal manera que puede repercutir de forma negativa en la salud y el ambiente (MINAM, 2015), está conformada por una mezcla compleja cuya fuente puede ser móvil o estacionaria (Ubilla & Yohannessen, 2016).

### **2.2.2. Ladrillera artesanal**

Una ladrillera artesanal es un pequeño taller o unidad productiva donde se fabrican ladrillos de manera tradicional, usando principalmente trabajo manual y herramientas sencillas. En estos lugares, la arcilla se prepara y se moldea a mano, luego los ladrillos se dejan secar al aire libre y finalmente se cuecen en hornos básicos contruidos con materiales simples (Valdes et al., 2020). A diferencia de las fábricas industriales, este tipo de producción no utiliza maquinaria avanzada ni sistemas modernos de control de temperatura o emisiones. Muchas veces funciona como un negocio familiar o comunitario, y su producción está dirigida al mercado local. Además, suele emplear combustibles accesibles en la zona, lo que puede generar mayor contaminación si no se cuenta con tecnologías adecuadas para reducir el humo y las emisiones (Ramos et al., 2026).

### **2.2.3. Material particulado (PM<sub>10</sub>) y (PM<sub>2.5</sub>)**

Las partículas son cualquier sustancia, bajo condiciones normales, que pueden contener componentes tóxicos las cuales pueden producir efectos en la salud (Pérez et al., 2010). Las partículas atmosféricas provienen de fuentes naturales, como la erosión del suelo y los incendios forestales, así como de actividades humanas, entre ellas el transporte, la industria y la minería, contribuyendo al deterioro de la calidad del aire (Phalen, 2004).

#### **2.2.4. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

El dióxido de nitrógeno es un gas que en concentraciones altas presenta un color pardo, producido principalmente por la quema de combustibles (Cordero et al., 2018), el cual está asociado a enfermedades respiratorias en poblaciones vulnerables (Gutiérrez et al., 2018).

#### **2.2.5. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

El dióxido de azufre se produce de forma natural por las actividades volcánicas, que al ponerse en contacto con el agua puede generar ácido sulfúrico (Chaves et al., 2021).

#### **2.2.6. Monóxido de carbono (CO)**

Los vehículos que transitan cuentan con un motor que no realiza la combustión completa de su combustible, liberando gases que son perjudiciales como el monóxido de carbono (Barraza et al., 2022).

#### **2.2.7. Ozono (O<sub>3</sub>)**

El ozono es un elemento perjudicial que se genera como resultado de reacciones fotoquímicas que involucran compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno (Criollo et al., 2016).

#### **2.2.8. Ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S)**

El ácido sulfhídrico es un componente que se forma naturalmente a partir de emisiones de volcanes o por actividades humanas como refinería del petróleo, plantas de alimentos, entre otros (Coasaca et al., 2023).

#### **2.2.9. Dispersión de contaminantes**

La dispersión atmosférica constituye un componente fundamental en la modelación de la calidad del aire, debido a que permite estimar el comportamiento y transporte de contaminantes como PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> desde las fuentes emisoras hacia las zonas receptoras. En este sentido, los modelos de dispersión son herramientas ampliamente utilizadas para evaluar impactos ambientales, establecer estrategias de control y apoyar la gestión ambiental y sanitaria en áreas urbanas e industriales (Ionescu & Ionescu, 2023).

#### **2.2.10. El viento y la dispersión de contaminantes**

El viento es el desplazamiento horizontal del aire que cumple un rol importante en la dilución y transporte de los contaminantes atmosféricos (Oscartegui, 2020).

Los contaminantes que se encuentran en la atmósfera se dispersan por la acción del viento, la cual está a su vez influenciada por otros factores como la presión atmosférica, temperatura, humedad relativa y la topografía (Vidal & Pérez, 2018).

#### **2.2.11. Monitoteo ambiental**

Es un sistema integral de medición de elementos de la naturaleza que permite observar sus cambios mediante perspectivas históricas, es así que su eficiencia se centra en la calidad de información, continuidad de mediciones y representatividad para la evaluación de situaciones ambientales (Perevochtchikova, 2009).

#### **2.2.12. Sensores de bajo costo**

Son dispositivos que en la actualidad viene posicionándose como los más usados en las diferentes áreas debido a que son capaces de generar información en tiempo real y se encuentran a costos bajos en el mercado.

Los sensores de bajo costo con dispositivos utilizados para la cuantificación de contaminantes atmosféricos, representando una alternativa significativa para la obtención de datos, especialmente en contextos de recursos limitados (Scagliotti & Jorge, 2021). Estos sensores suelen ser más accesibles económicamente, más pequeños y más fáciles de instalar que los monitores de referencia que utilizan métodos regulatorios estándar, aunque generalmente ofrecen menor precisión sin calibración adicional (Hayward et al., 2024).

#### **2.2.13. Correlación de Pearson**

La correlación de Pearson es una medida estadística que evalúa la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas continuas, variando entre -1 y +1, donde los valores positivos altos indican asociación directa fuerte, los negativos una relación inversa fuerte y los valores cercanos a cero sugieren ausencia de relación lineal. (Schober & Schwarte, 2018).

2.2.14. Calidad del aire

La calidad del aire es una forma de describir qué tan limpio o contaminado está el ambiente que respiramos. Se relaciona con la cantidad de sustancias dañinas presentes en la atmósfera, ya provengan de la naturaleza o de actividades humanas, y que pueden perjudicar la salud de las personas, la vida de plantas y animales, e incluso dañar edificios y otros materiales (Hilly et al., 2024).

2.2.15. Índice de calidad del aire (INCA)

Según lo establecido en la Resolución Ministerial N.º 181-2016-MINAM, el índice nacional de calidad del aire (INCA) utiliza una escala que va de 0 a 100, la cual permite determinar si los niveles de contaminantes atmosféricos se encuentran dentro de los límites permisibles definidos por los estándares de calidad ambiental. Este índice clasifica los resultados en cuatro categorías diferenciadas, cada una asociada a un color específico que representa el nivel de riesgo para la salud.

Tabla 1

Valores del índice de calidad del aire (INCA)

| Calificación           | Cuidados                                                                                                                                                                            | Recomendaciones                                                                                                                                              |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Buena<br>(verde)       | La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud.                                                                                                       | La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de aire. Puede realizar actividades al aire libre.                                                      |
| Moderada<br>(amarillo) | La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podrían experimentar algunos problemas de salud. | La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible. |
| Mala<br>(anaranjado)   | La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en ejercicio y                                                                                           | Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar actividades al aire libre.                                                             |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | general podría sentirse afectada.                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                   |
| Umbral de cuidado (rojo) | La concentración del contaminante puede causar efectos en la salud de cualquier personas y efectos serios en la población sensible, tales como niños, ancianos, madres gestantes, personas con enfermedades pulmonares obstrucciones crónicas y cardiovasculares. | Reportar a la Autoridad de salud para que declare los Niveles de Estados de Alerta de acuerdo al Decreto Supremo N° 009-2003-SA y su modificatoria Decreto Supremo N° 012-2005-SA |

*Nota:* Extraído de la Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM: Establecen el Índice de Calidad del Aire (INCA) y crean el Sistema de Información de Calidad del Aire.

Fuente: (MINAM., 2016)

## CAPÍTULO III

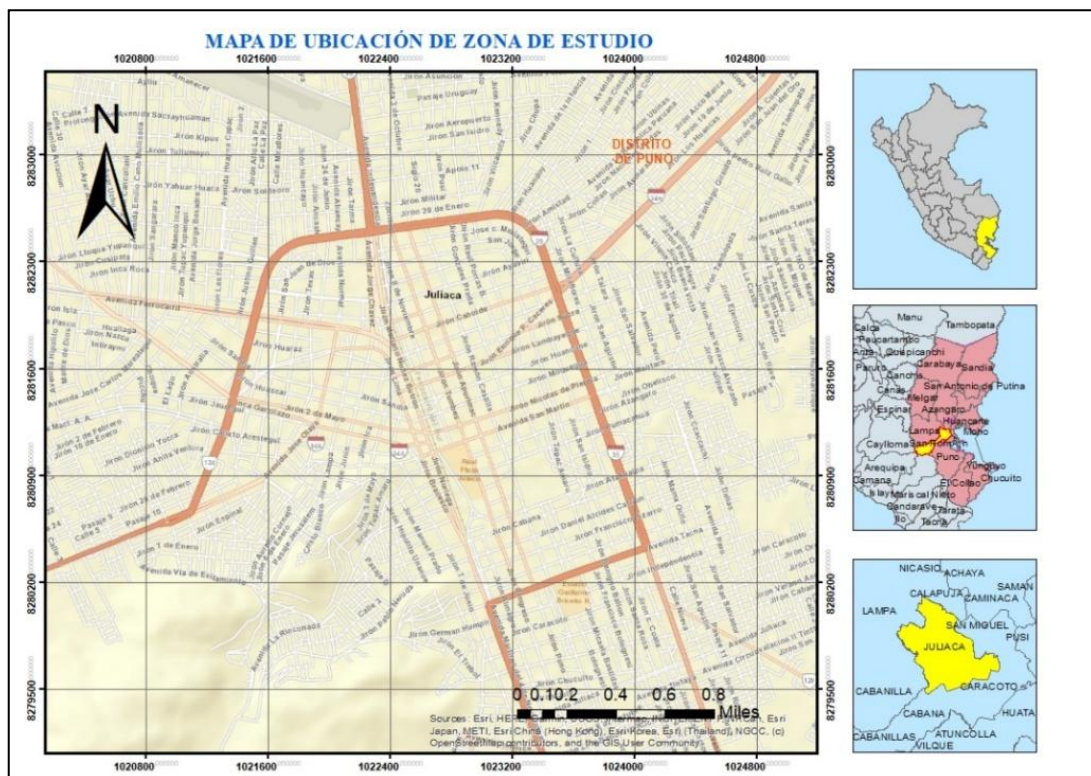
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.2. Ámbito de estudio

El alcance de la presente investigación se encamina a efectuar un análisis detallado de la calidad del aire en la zona de la salida Arequipa, así como en diversos sectores adicionales de la ciudad de Juliaca.

**Figura 1**

*Mapa de localización del área de investigación.*



*Nota.* La figura muestra la localización del área de estudio de la investigación en la que se encuentran ubicados los puntos de monitoreo detallados en la Tabla 2, elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo establecidos para el desarrollo de la presente investigación. En ella se consigna la información necesaria para su identificación y localización geográfica dentro del área de estudio.

**Tabla 2**

*Puntos de monitoreo de calidad del aire.*

| <b>Código</b> | <b>lugar</b>                                 | <b>Coordenadas Geográficas UTM (zona 19)</b> |              |                         |
|---------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|-------------------------|
|               |                                              | <b>Este</b>                                  | <b>Norte</b> | <b>Altitud m.s.n.m.</b> |
| UNAJ 01       | Universidad Nacional de Juliaca (La Capilla) | 376509.46                                    | 8287270.29   | 3824                    |
| UNAJ 02       | Pasaje Manuel Pardo                          | 377344.94                                    | 8286710.54   | 3824                    |
| UNAJ 03       | Avenida Circunvalación                       | 379286.17                                    | 8288032.89   | 3824                    |
| UNAJ 04       | Salida Arequipa                              | 376371.41                                    | 8285608.97   | 3824                    |

*Nota.* En la presente tabla se muestra la ubicación exacta de los puntos de monitoreo de la investigación, elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo descriptiva - no experimental, debido a que busca describir la calidad del aire en la zona ladrillera de Juliaca mediante la medición de contaminantes atmosféricos en su entorno natural, sin manipulación de variables.

### **3.4. Nivel de investigación.**

El nivel es descriptivo - correlacional, descriptivo, porque caracteriza las concentraciones de los contaminantes y la calidad del aire en la zona de estudio y a su vez correlacional, porque analiza la relación entre las concentraciones de contaminantes y las variables meteorológicas velocidad del viento.

### **3.5. Diseño de investigación**

Por la naturaleza del proyecto el diseño de investigación es no experimental, porque no se manipulan variables, solo se observan y registran los datos en condiciones naturales.

### **3.6. Población**

La población de la presente investigación está conformada el aire atmosférico de la zona ladrillera de Juliaca durante el periodo de monitoreo.

### **3.7. Muestra**

Los registros horarios de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S obtenidos por la red de sensores en los puntos de monitoreo seleccionados.

### **3.8. Muestreo**

No probabilístico por conveniencia o juicio técnico, debido a la selección de puntos estratégicos en función de la actividad ladrillera y accesibilidad del área.

### **3.9. Hipótesis de investigación**

#### **3.9.1. Hipótesis general**

La calidad de aire influenciada por las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, determinadas por una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad Juliaca, se encuentra en rangos aceptables.

#### **3.9.2. Hipótesis específicas**

- Los niveles de concentración de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S se encuentra dentro de los rangos aceptables por el ECA.
- Los índices de calidad del aire, de acuerdo a las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, determinada por una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca, se encuentra en los rangos de moderada a buena.
- Existe una relación significativa entre la variación de la velocidad del viento y las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S mediante una red de sensores de bajo costo en una zona ladrillera de Juliaca.

### **3.10. Materiales y equipos**

#### **3.10.1. Materiales**

Trípode de 1,5 metros de altura (4 unidades), equipos de protección personal, cuaderno de campo, tablero, lapiceros, extensión (cable).

### 3.10.2. Equipos

Los instrumentos y dispositivos que se emplearon en este estudio son: un GPS Garmin, cámara fotográfica, laptop Hp y sensores de bajo costo, sensor de velocidad y dirección del viento.

### 3.10.3. Validez

Mediante la R.M. N° 094-2021-MINAM Se establecieron las directrices para desarrollar el diseño experimental y definir los criterios de aceptabilidad para las pruebas de Inter comparación del procedimiento alternativo basado en sensores de bajo costo aplicados al monitoreo de la calidad del aire. es así que los módulos de calidad del aire QHAWAX cumplen con los lineamientos solicitados considerándose como un equipo que proporciona datos confiables.

### 3.10.4. Equipos de monitoreo

Mediante la R.M. N° 094-2021-MINAM se establecieron directrices para diseñar experimentos y definir criterios de aceptabilidad de las pruebas de inter comparación que empleen sensores de bajo costo en el monitoreo de la calidad ambiental del aire, es así que los módulos de calidad del aire qHAWAX cumplen con los lineamientos solicitados considerándose como un equipo que proporciona datos confiables, en la Tabla 3 se muestran los rangos de precisión del equipo utilizado para el monitoreo respectivo.

**Tabla 3**

*Características de los sensores de bajo costo*

| Parámetros de medición de los módulos           | Precisión              | Rango                     |
|-------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Material particulado                            |                        |                           |
| Material particulado grueso (PM <sub>10</sub> ) | 0,01 µg/m <sup>3</sup> | 0 – 300 µg/m <sup>3</sup> |
| Material particulado fino (PM <sub>2.5</sub> )  | 0,01 µg/m <sup>3</sup> | 0 – 300 µg/m <sup>3</sup> |
| Gases                                           |                        |                           |
| Monóxido de Carbono (CO)                        | 1 – 15 ppb             | 0 – 13 ppm                |
| Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )         | 1 – 15 ppb             | 0 – 0,2 ppm               |
| Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )            | 1 – 10 ppb             | 0 – 0,5 ppm               |

|                                         |            |               |
|-----------------------------------------|------------|---------------|
| Ozono (O <sub>3</sub> )                 | 1 – 15 ppb | 0 – 0,5 ppm   |
| Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S) | 1 – 15 ppb | 0 – 3 ppm     |
| Variables meteorológicas                |            |               |
| Presión atmosférica                     | 1 kPa      | 50 – 110 kPa  |
| Temperatura ambiental                   | 0,1 °C     | 0° – 50 °C    |
| Humedad relativa                        | 0,10 %     | 0 – 100 %     |
| Radiación UV                            | 1 índice   | 0 – 15 índice |
| Ruido                                   | 5 dB       | 30 – 120 dB   |

*Nota.* Extraído de la propuesta técnica económica del módulo Qhawax.

Fuente: (QHAIRA, 2023)

Para la medición de los contaminantes de calidad del aire se emplearon técnicas específicas de acuerdo con el parámetro evaluado. La Tabla 4 presenta las técnicas utilizadas para la determinación del material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y de los contaminantes gaseosos (CO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub>) en los puntos de evaluación.

**Tabla 4**

*Técnicas aplicadas en el monitoreo atmosférico.*

| Parámetro                                                        | Técnica                                             |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Material Particulado (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> )     | Contador de Partículas Óptico<br>(Low cost sensors) |
| Gases (CO, NO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S y O <sub>3</sub> ) | Sensores electroquímicos<br>(Low cost sensors)      |

*Nota.* Extraído de la propuesta técnica económica del módulo Qhawax

Fuente: (QHAIRA, 2023)

### 3.11. Procedimiento metodológico

Para la ejecución de la presente investigación se presentan los procedimientos realizados por cada objetivo específico.

### **3.12. Cuantificación de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S mediante una red de sensores de bajo costo en una zona ladrillera de Juliaca.**

#### **3.12.1. Monitoreo de la calidad del aire**

De acuerdo a los lineamientos del protocolo nacional de monitoreo de la calidad del aire (D.S. N° 010-2019-MINAM), los parámetros seleccionados corresponden a la producción de ladrillos, por su finalidad el monitoreo se realizó en una zona industrial, el monitoreo estuvo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en la salud ambiental ya que este tipo de monitoreo puede ser aplicado en investigaciones académicas.

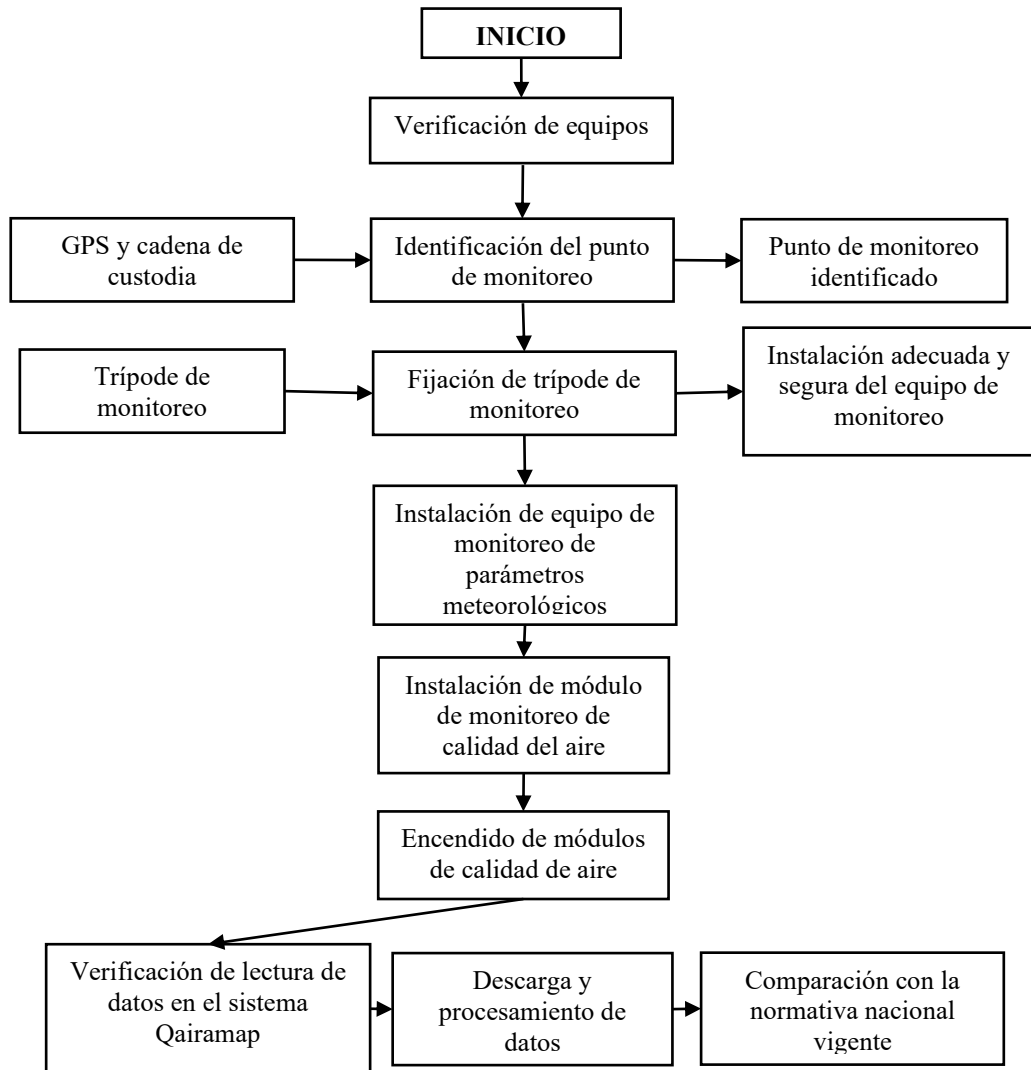
El (D.S. N° 010-2019-MINAM) menciona que la información de los monitoreos orientado a la prevención/evaluación de riesgos en la salud ambiental pueden ser utilizadas para elaborar evaluaciones epidemiológicas, por lo que el número de estaciones debe determinarse en base a la investigación (no especifica un número de puntos de monitoreo). En cuanto a la ubicación de los puntos, la norma recomienda que las estaciones se prioricen en función del riesgo en la salud de la población por lo que se realizarán los monitoreos en puntos cercanos a poblaciones de interés como universidades aledañas a la zona ladrillera y puntos con bastante afluencia de personas, es por ello que en la presente investigación se instalaron 4 estaciones de monitoreo determinadas para esta investigación.

#### **3.12.2. Procesamiento de datos**

Los datos obtenidos durante el monitoreo fueron sistematizados y procesados mediante el software Microsoft Excel, lo que permitió organizar la información para su posterior análisis. Los valores registrados fueron comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) para aire establecidos en la normativa nacional vigente, con el propósito de evaluar su cumplimiento. Como resultado de este procedimiento, se elaboraron tablas y representaciones gráficas que facilitaron la interpretación de la información recopilada, permitiendo identificar el comportamiento de las variables monitoreadas y respaldar el análisis de los resultados obtenidos en la investigación.

**Figura 2**

*Flujograma de actividades del objetivo específico 01.*



*Nota.* Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

### **3.13. Determinación de los índices de calidad del aire de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S mediante una red de sensores de bajo costo en una zona ladrillera de Juliaca**

Para la ejecución del presente objetivo mencionada, se utilizaron los datos de los contaminantes atmosféricos registrados durante el monitoreo de calidad de aire, así mismo, se utilizó como técnica a la R.M. N°181-216-MINAM índice de calidad del aire (INCA) a partir del cual se realizaron los cálculos sobre la base de información de calidad del aire que se generó mediante la red de sensores de bajo costo, obteniéndose de esta manera el índice de calidad de aire para la zona de interés de la presente investigación.

Se menciona también que la data proporcionada por los módulos qHAWAX, utilizados para el monitoreo de calidad del aire, proporcionaron data horaria por cada punto de monitoreo, por los que los datos obtenidos tuvieron que ser procesados para la obtención de una data promedio diaria y de esta manera la obtención también de data promedio mensual, los aspectos considerados para calcular la concentración diaria respectiva es como se detalla a continuación:

**NO<sub>2</sub>:** para comparar con el estándar de calidad ambiental (ECA) horario, se calcula el promedio aritmético de cada hora, seleccionando diariamente el valor más alto entre los promedios horarios registrados en las 24 horas.

**O<sub>3</sub> y CO:** para cada día de evaluación, se calcula la media aritmética móvil en intervalos de ocho horas anteriores, y se considera como valor diario el promedio móvil más alto registrado dentro de las 24 horas.

**PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S:** en este caso, se toma en cuenta el promedio diario, obtenido mediante el promedio aritmética de los valores registrados durante las 24 horas del día respectivamente.

### **3.14. Establecimiento de la relación entre la variación de la velocidad del viento y las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S determinadas mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca**

La determinación de la velocidad y la dirección del viento se llevó a cabo mediante el empleo de un sensor de alta precisión, cuya capacidad de medición permitió obtener

registros consistentes de ambos parámetros durante el monitoreo. Las especificaciones técnicas más relevantes y las características del equipo utilizado se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 5**

*Características de precisión de sensor de velocidad y dirección del viento*

| Parámetro            | Rango        | Resolución | Precisión                |
|----------------------|--------------|------------|--------------------------|
| Velocidad del viento | 0.5 - 70 m/s | 0.1 m/s    | $\pm (0.3 + 0.03 V)$ m/s |
| Dirección del viento | 0 - 360°     | 1°         | $\pm 3^\circ$            |

*Nota.* Extraído de la propuesta técnica económica del módulo qHAWAX

Fuente: (QHAIRA, 2023)

Para identificar las posibles relaciones lineales entre la variable dirección y velocidad del viento con las concentraciones de contaminantes atmosféricos, se aplicó un análisis de correlación de Pearson. Esta técnica permitió cuantificar la fuerza y dirección de la relación entre pares de variables cuantitativas “ $r$ ”, cuyos valores oscilan entre -1 y 1. A lo que los valores positivos reflejan una correlación directa, mientras que los valores negativos reflejan una relación inversa.

El coeficiente  $r$  se calcula como:

$$r = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2(y_i - \bar{y})^2}}$$

Donde:

- $x_i$  y  $y_i$  son los valores individuales.
- $\bar{x}$  y  $\bar{y}$  son las medias  $\bar{y}$ .
- $r$  toma valores entre -1 y 1.

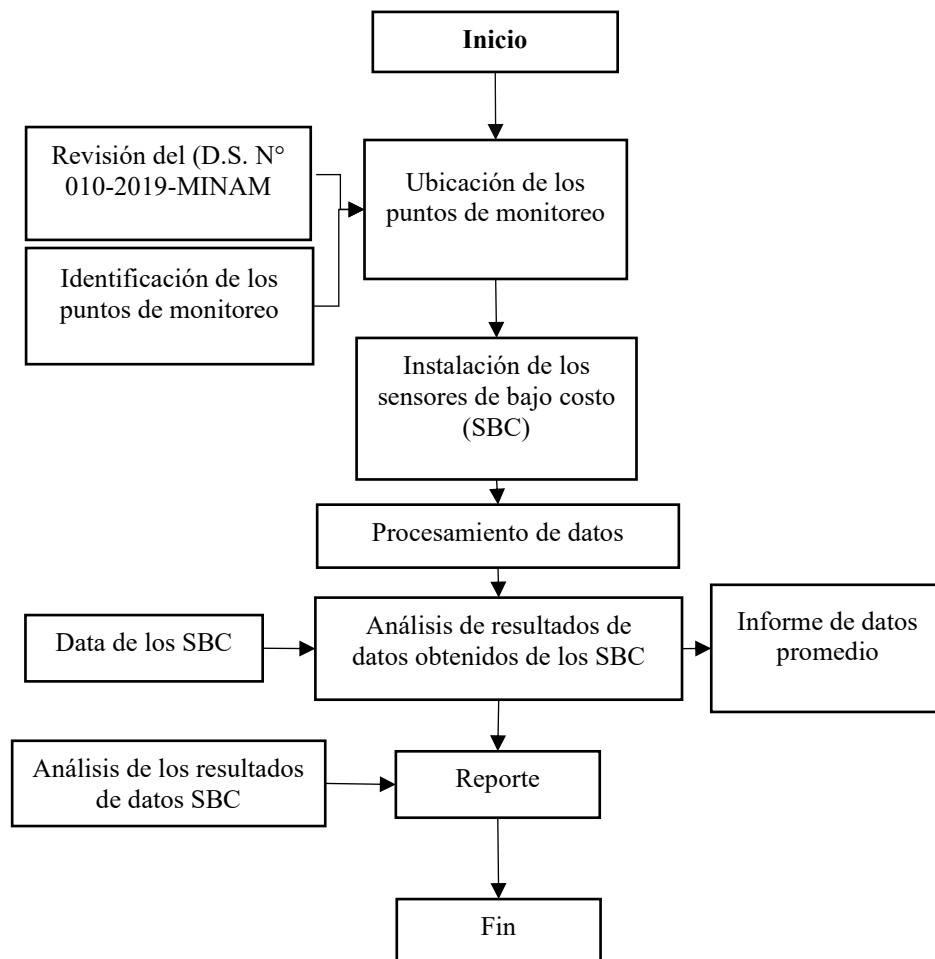
El análisis fue implementado utilizando el lenguaje de programación Python, el cual permitió procesar los datos, calcular la matriz de correlación y generar un mapa de calor de correlación.

El mapa de correlación permitió visualizar de forma clara y comparativa la magnitud de las asociaciones entre variables, en las representaciones gráficas mostradas en los

resultados se muestra que los colores cálidos con tendencia al rojo indican correlaciones positivas, mientras que los colores fríos con tendencia al azul representan correlaciones negativas, es decir, que la intensidad del color está directamente relacionada con la fuerza de correlación.

**Figura 3**

*Flujograma de actividades generales*



Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

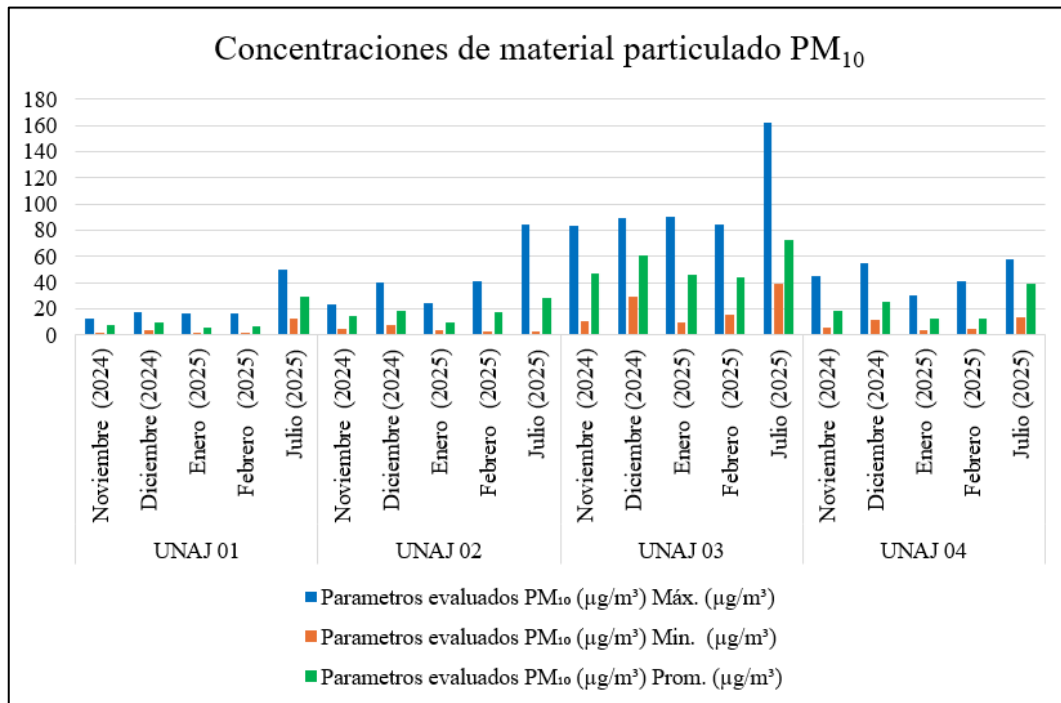
#### 4.1. Cuantificación de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca

##### 4.1.1. Niveles de concentración de PM<sub>10</sub>

Desde esta sección se exponen los registros derivados del proceso de monitoreo de calidad del aire para PM<sub>10</sub>, realizados mediante sensores. Los datos corresponden principalmente a la época húmeda, abarcando los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, periodo al cual se enfoca la presente investigación, de forma adicional, se incluyen datos correspondientes al mes de julio, mes que representa la época seca, con el fin de que la información mostrada sea representativa y permita un análisis comparativo entre las diferentes temporadas del año.

**Figura 4**

*Concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> en estaciones de monitoreo*



Fuente: Elaboración propia

Durante el monitoreo realizado en los meses de noviembre y diciembre de 2024, así como enero, febrero y julio de 2025, se ha identificado un patrón persistente de elevadas concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> en el punto de monitoreo UNAJ 03, ubicado en la Avenida Circunvalación, en cuyo punto se registraron los valores más altos en comparación a los otros puntos de monitoreo. Los promedios diarios más elevados alcanzan valores que van desde 83,67 µg/m<sup>3</sup> (noviembre 2024) hasta 162,56 µg/m<sup>3</sup> (julio 2025) ver ANEXO VI, superando el estándar de calidad ambiental (ECA) para aire establecido por la normativa peruana (máximo permitido: 100 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> como promedio diario, según el D.S. N° 003-2017-MINAM).

Asimismo, el monitoreo continuo permitió identificar episodios horarios con concentraciones que superan los 200 µg/m<sup>3</sup>, principalmente entre las (4:00 - 7:00) y (17:00 - 21:00), lo cual no puede ser detectado por metodologías convencionales.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Dalens & Macedo (2022), quienes hallaron concentraciones de PM<sub>10</sub> superiores al ECA en zonas influenciadas por la actividad ladrillera en la ciudad de Cusco. Sin embargo, los resultados difieren de los hallazgos de Quispe (2023), Mamani et al. (2026) y Gattelli (2022), quienes reportaron concentraciones por debajo del ECA en zonas urbanas. En este sentido, Sharma et al. (2025) destacan la utilidad de los sensores continuos para identificar picos horarios y posibles hotspots (punto de alta concentración).

La evidencia científica señala que la actividad ladrillera artesanal es una fuente importante de PM<sub>10</sub> y puede aportar hasta el 21 % de las emisiones en áreas urbanas. Estudios previos indican que estas emisiones pueden exceder los límites ambientales y generar efectos adversos en la salud, especialmente respiratorios y genéticos (Vera & Quispe, 2023), así como un mayor deterioro de la salud en poblaciones expuestas al contaminante producto de la actividad ladrillera (Nicolaou et al., 2024).

Las diferencias observadas entre estaciones también podrían estar relacionadas con la ubicación y densidad de ladrilleras, así como con factores meteorológicos y prácticas de gestión ambiental (Univio, 2017). Dado que la exposición a estas emisiones incrementa el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Subhanullah et al., 2022), es necesario fortalecer las acciones de control y monitoreo ambiental en este sector

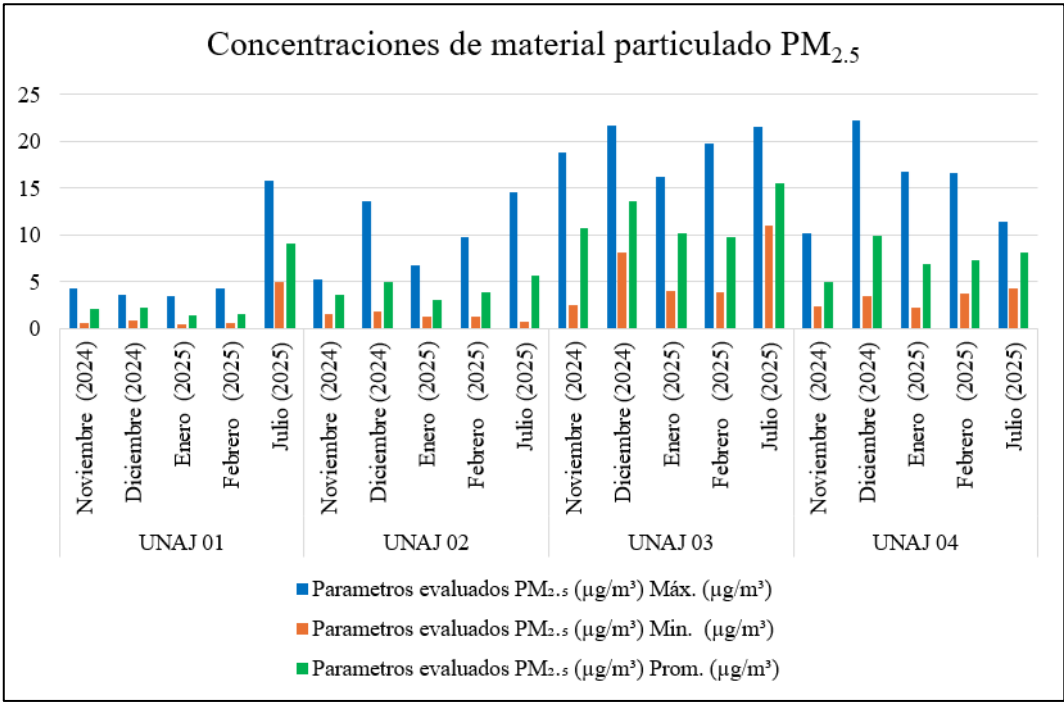
(Echevarria, 2023), considerando que la actividad ladrillera constituye un factor clave en la calidad del aire registrada durante el estudio (Shabbir et al., 2025).

### 4.1.2. Niveles de concentración de PM<sub>2.5</sub>

A continuación, se presentan los registros correspondientes al monitoreo de Material particulado PM<sub>2.5</sub>, obtenidos durante el periodo comprendido a partir del mes de noviembre de 2024 hasta el mes de febrero de 2025 y el mes de julio de 2026. Estos resultados constituyen la base para el análisis del comportamiento de este contaminante en el área de estudio y su posterior contraste con los criterios establecidos en la normativa ambiental vigente.

**Figura 5**

*Concentraciones de material particulado PM<sub>2.5</sub> en estaciones de monitoreo*



Fuente: Elaboración propia

Las mediciones realizadas entre noviembre de 2024 y julio de 2025, se evidencia que la estación UNAJ 03 y UNAJ 04 presentan las mayores concentraciones de este contaminante en la mayoría de los meses evaluados con valores máximos de 21,56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 22.24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de manera adicional las concentraciones más elevadas de PM<sub>2.5</sub>, con picos horarios críticos entre las 5:00 a.m. y 9:00 a.m. En varias ocasiones los valores

superaron los parámetros de la guía de la OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  diarios), aunque sin exceder el ECA nacional ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Este comportamiento sugiere la influencia de fuentes estacionarias, particularmente la actividad ladrillera artesanal, cuyos procesos de combustión suelen desarrollarse durante las primeras horas del día y en horarios nocturnos. En este sentido, Nicolaou et al. (2024) coincide en que existen incrementos marcados cuando los hornos se encuentran en operación, mientras que Aniyikaiye et al. (2023) registraron concentraciones entre  $22,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $36,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con máximos registrados en horas de la mañana.

Los resultados obtenidos son consistentes con los hallazgos de Dalens & Macedo (2022) en la zona ladrillera de San Jerónimo, Cusco, donde las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  variaron entre  $38,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $48,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante la época seca, sin superar el ECA. Sin embargo, difieren de lo reportado por Apaza & Salazar (2025), quienes encontraron concentraciones de hasta  $54,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Cusco, superando el estándar nacional ECA. Asimismo, los patrones temporales observados coinciden con los descritos por (Ulloa et al., 2022) en la zona metropolitana de Huancayo, donde el uso de sensores de bajo costo permitió identificar variaciones horarias y semanales asociadas a fuentes locales de emisión.

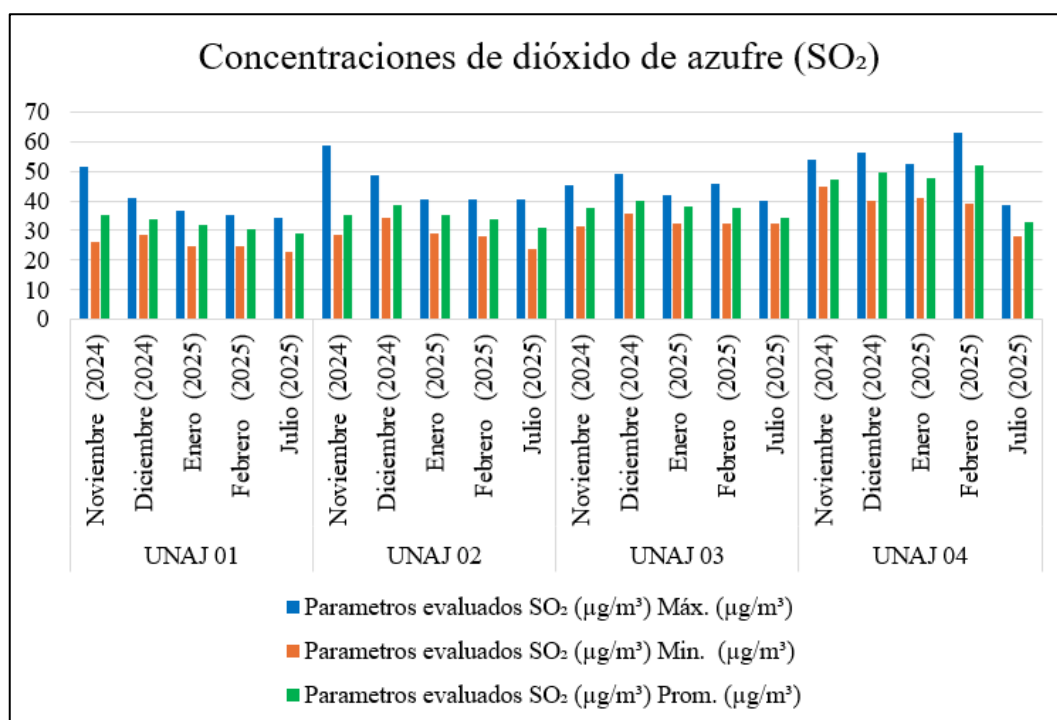
La alta resolución temporal de las mediciones, registradas de forma continua, permitió caracterizar con mayor precisión las fluctuaciones horarias del contaminante y la influencia de las fuentes emisoras, coincidiendo con lo señalado por Frederickson et al., (2024) sobre la importancia del monitoreo continuo para la evaluación de la calidad del aire. En consecuencia, los resultados respaldan el uso de sensores de bajo costo como herramientas efectivas para el monitoreo comunitario del  $\text{PM}_{2.5}$ .

#### **4.1.3. Niveles de concentración de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )**

A continuación, se presentan los registros correspondientes al monitoreo de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), obtenidos durante el periodo comprendido a partir del mes de noviembre de 2024 hasta el mes de febrero de 2025 y el mes de julio de 2026. Estos resultados constituyen la base para el análisis del comportamiento de este contaminante en el área de estudio y su posterior contraste con los criterios establecidos en la normativa ambiental vigente.

**Figura 6**

*Concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en estaciones de monitoreo*



Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al contaminante SO<sub>2</sub>, los resultados obtenidos muestran un resultado diferente. se observa que la estación UNAJ 04 presenta las concentraciones promedio más altas en todo el periodo, alcanzando su mayor valor en febrero de 2025 (52,18 µg/m³) ver ANEXO VI. En conjunto, los resultados reflejan una variabilidad moderada del SO<sub>2</sub> entre estaciones, con mayor influencia en UNAJ 04 y estabilidad relativa en el resto de puntos de monitoreo.

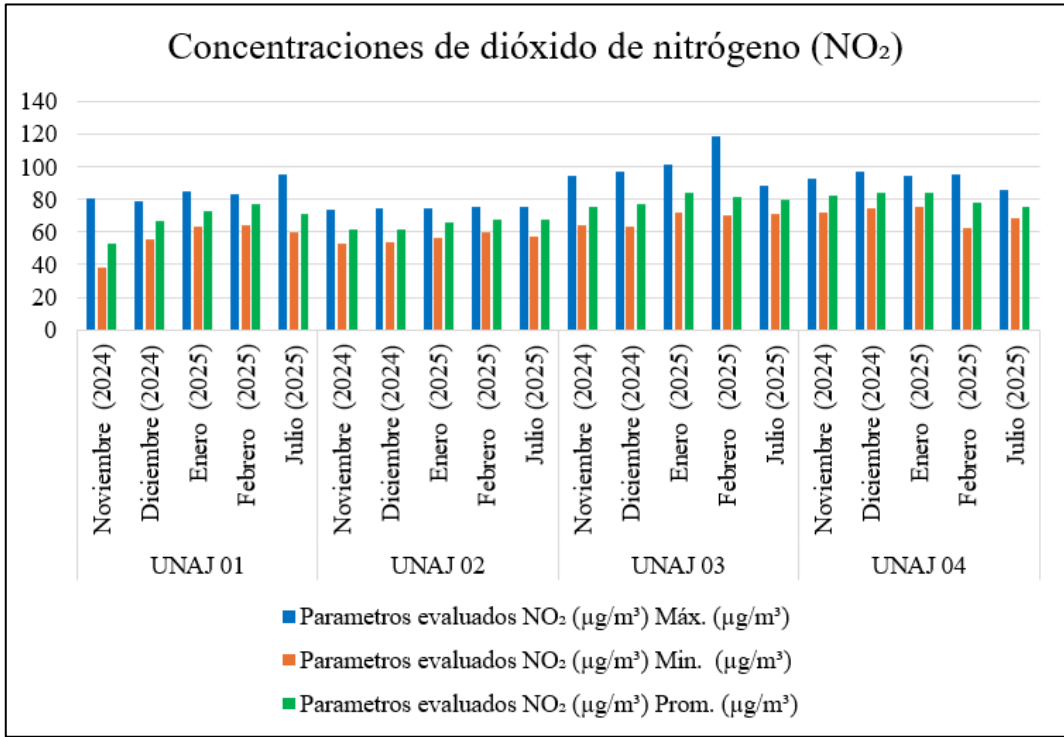
Las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se mantuvieron por debajo de los límites del estándar de calidad ambiental (ECA - Aire), lo que indica una buena calidad del aire en la zona de estudio. Este comportamiento coincide con Apaza & Salazar (2025), quienes señalan que en zonas ladrilleras el SO<sub>2</sub> suele mantenerse en niveles moderados y solo aumenta por condiciones meteorológicas. De igual forma, Justo (2021) y Huancapaza (2026) reportaron valores bajos en Juliaca, también por debajo del ECA, lo que respalda los resultados obtenidos. Además, Luna et al. (2017) indican que este contaminante se genera principalmente por procesos de combustión, lo que explica su presencia variable en el ambiente.

#### 4.1.4. Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

A continuación, se presentan los datos de monitoreo correspondiente a las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) consignados por las estaciones de medición (Puntos de monitoreo).

**Figura 7**

*Concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en estaciones de monitoreo*



Fuente: Elaboración propia

La figura muestra las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en las estaciones UNAJ 01, UNAJ 02, UNAJ 03 y UNAJ 04 entre noviembre de 2024 y julio de 2025. En términos generales, la estación UNAJ 03 presenta las concentraciones promedio más altas, alcanzando su valor máximo en enero de 2025 (83,91 µg/m³), ver ANEXO VI, lo que evidencia una mayor presencia de este contaminante en comparación con las demás estaciones. Por otro lado, UNAJ 02 registra los valores más bajos y estables durante todo el periodo. En conjunto, los resultados indican que el NO<sub>2</sub> se mantiene relativamente variable entre estaciones, con mayor concentración en UNAJ 03 durante los meses de verano (enero febrero de 2025), ninguno de los registros super el estándar de calidad ambiental (ECA-Aire).

De manera similar las concentraciones de dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> se mantuvieron dentro de los límites establecidos, lo que indica que, en términos generales, la calidad del aire respecto a este contaminante no supera los estándares permisibles. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Apaza & Salazar (2025) quienes también registraron valores dentro de los límites en una zona con actividad ladrillera.

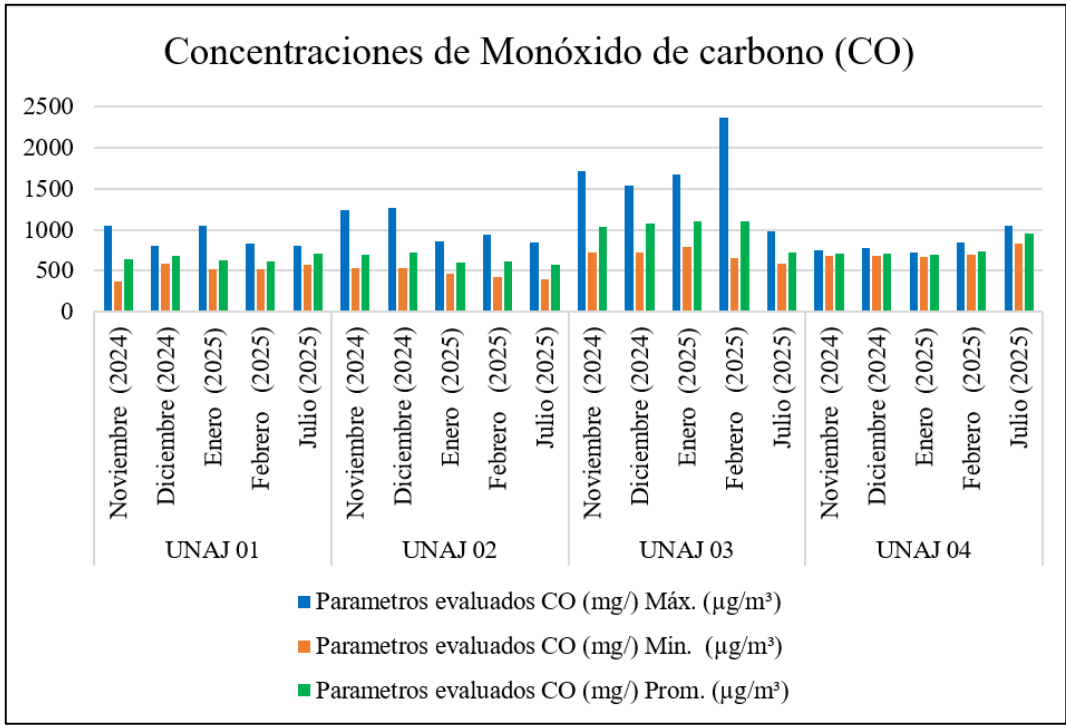
Estudios previos, como el de Lechuga (2022) señalan que las ladrilleras son una fuente relevante de emisión de NO<sub>2</sub> y otros contaminantes. La evidencia científica resalta que, si bien estos picos no representan un riesgo inmediato, la tendencia a la acumulación sin control puede intensificar la contaminación y afectar la salud pública (Vera & Quispe, 2023).

#### 4.1.5. Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO)

En la sección que sigue, se presentan los niveles diarios de monóxido de carbono (CO) registrados en los distintos puntos de monitoreo de la calidad del aire.

**Figura 8**

*Concentraciones de monóxido de carbono (CO) en estaciones de monitoreo*



Fuente: Elaboración propia

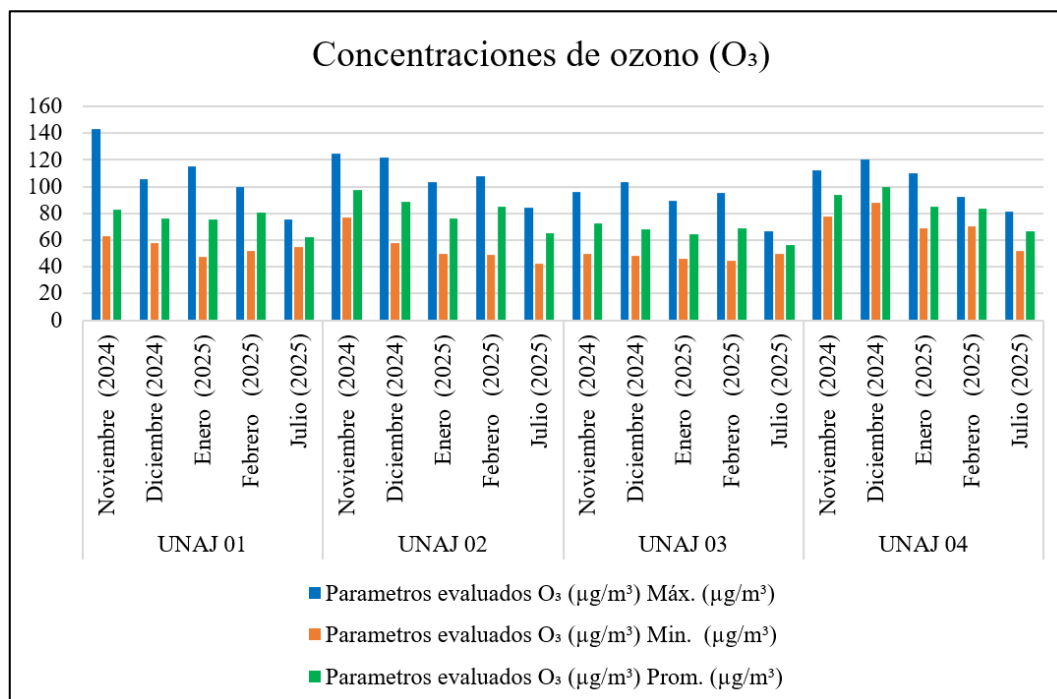
En cuanto al monóxido de carbono, las concentraciones fueron bajas. Durante el periodo de evaluación (noviembre 2024 - febrero 2025), las concentraciones de monóxido de carbono (CO) presentaron registros que permanecieron ampliamente dentro de los valores de referencia del ECA-Aire y las guías de la OMS, con valores máximos entre 1,542 y 2,363  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto refleja una baja contaminación por CO en la zona de estudio, aunque los picos recurrentes en la estación UNAJ 03, especialmente en horas nocturnas entre las 21:00 y 22:00, sugieren una influencia directa de fuentes locales como hornos ladrilleros que emplean combustibles orgánicos. Estudios en contextos andinos han identificado patrones similares donde la combustión ineficiente y las condiciones atmosféricas estables durante la noche favorecen la acumulación de CO, aunque sin superar los límites normativos (Apaza & Salazar, 2025). Lo que también concuerda con (Supo et al., 2024) y lo que concuerda con Gattelli (2022) quien evidenció picos de CO durante la producción de ladrillos los valores de CO no superaban el ECA. Estudios en Cusco indican que, aunque el CO no representa un riesgo inmediato, su presencia refleja procesos contaminantes asociados a la actividad ladrillera, por lo que se recomienda mantener el monitoreo y promover tecnologías y combustibles más limpios para reducir emisiones (Vera & Quispe, 2023).

#### **4.1.6. Niveles de concentración de ozono ( $\text{O}_3$ )**

A continuación, se exponen de manera detallada los valores diarios ozono ( $\text{O}_3$ ) tal como fueron documentadas en las estaciones de control encargadas del monitoreo de calidad del aire.

**Figura 9**

*Concentraciones de ozono ( $O_3$ ) en estaciones de monitoreo.*



Fuente: Elaboración propia

El análisis de las concentraciones de ozono troposférico ( $O_3$ ), expresadas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y registradas en las estaciones de monitoreo UNAJ 01, UNAJ 02, UNAJ 03 y UNAJ 04. Durante noviembre de 2024 se observaron los valores máximos más altos en la estación UNAJ 01 ( $143,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que UNAJ 02 presentó el mayor promedio mensual ( $97,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para enero y febrero de 2025, las concentraciones promedio se mantuvieron relativamente estables entre las estaciones, oscilando aproximadamente entre  $64,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $85,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Finalmente, en julio de 2025 se registró una disminución generalizada de los niveles de  $O_3$ , con promedios que variaron entre  $56,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $66,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Durante el periodo comprendido entre noviembre de 2024 y febrero de 2025, las concentraciones de ozono troposférico ( $O_3$ ) registradas en las estaciones de monitoreo presentaron episodios de superación de los límites establecidos por el ECA - Aire ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y por las guías de la OMS ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio de 8 horas), alcanzando valores máximos entre  $107,74$  y  $124,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las estaciones UNAJ 01 y UNAJ 02 (ver ANEXO VI).

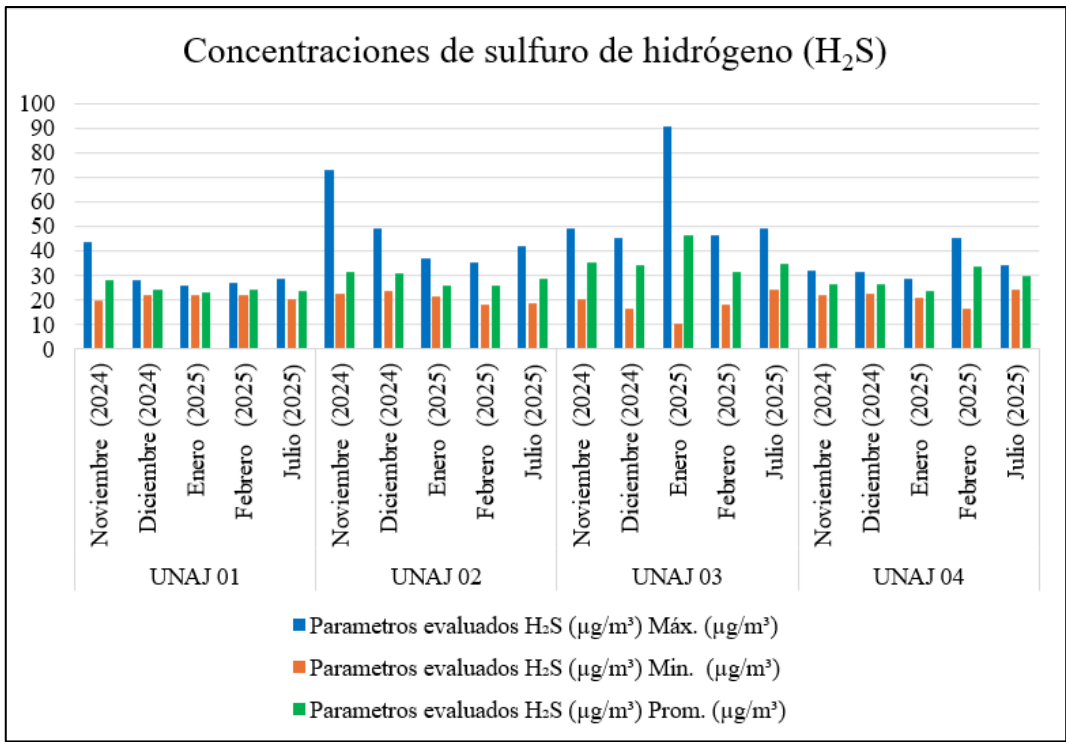
Este comportamiento puede atribuirse a las variaciones del ozono troposférico que se forma a partir de reacciones químicas entre gases contaminantes ( $\text{NO}_x$  y COVs) cuando hay luz solar, y también a las condiciones del clima, que influyen en su formación y dispersión en el aire (Donzelli & Suarez, 2024).

#### 4.1.7. Niveles de concentración de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ )

En el siguiente apartado se muestran los resultados diarios de las concentraciones de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) captadas en cada estación de monitoreo, permitiendo así una evaluación detallada de los niveles de este contaminante en el aire.

**Figura 10**

*Concentraciones de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en estaciones de monitoreo*



Fuente: Elaboración propia

El análisis de las concentraciones de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), expresadas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y registradas en las estaciones de monitoreo UNAJ 01, UNAJ 02, UNAJ 03 y UNAJ 04 entre noviembre y diciembre de 2024, así como en enero, febrero y julio de 2025, evidencia una variabilidad moderada en su distribución temporal y espacial. Durante noviembre de 2024 se observaron los valores más elevados en la estación UNAJ 02, con un máximo de  $72,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que las demás estaciones presentaron

concentraciones promedio entre 26,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 35,19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En diciembre de 2024 los niveles disminuyeron ligeramente en la mayoría de estaciones, manteniéndose los promedios entre 24,46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 34,17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para enero y febrero de 2025 las concentraciones registraron valores relativamente estables, con promedios que oscilaron aproximadamente entre 23,25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 33,82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Finalmente, en julio de 2025 se evidenció un incremento moderado en algunas estaciones, particularmente en UNAJ 03, donde el promedio alcanzó 34,89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En conjunto, los resultados reflejan fluctuaciones moderadas en las concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$  durante el periodo evaluado, lo cual podría estar relacionado con la influencia de fuentes locales de emisión y con las condiciones meteorológicas que intervienen en la dispersión de este contaminante en la atmósfera.

Los resultados de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en las estaciones de monitoreo se mantuvieron muy por debajo del límite establecido por el estándar de calidad ambiental (ECA-Aire), lo que evidencia una baja presencia de este contaminante en la atmósfera local. Este comportamiento coincide con (Cahuayme, 2022) quien reportó concentraciones inferiores a 2,104  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en zonas industriales, y con Huancapaza (2026), quien registró valores menores a 3,10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en Juliaca, confirmando que los niveles de  $\text{H}_2\text{S}$  se mantienen bajos y sin representar riesgo significativo para la calidad del aire.

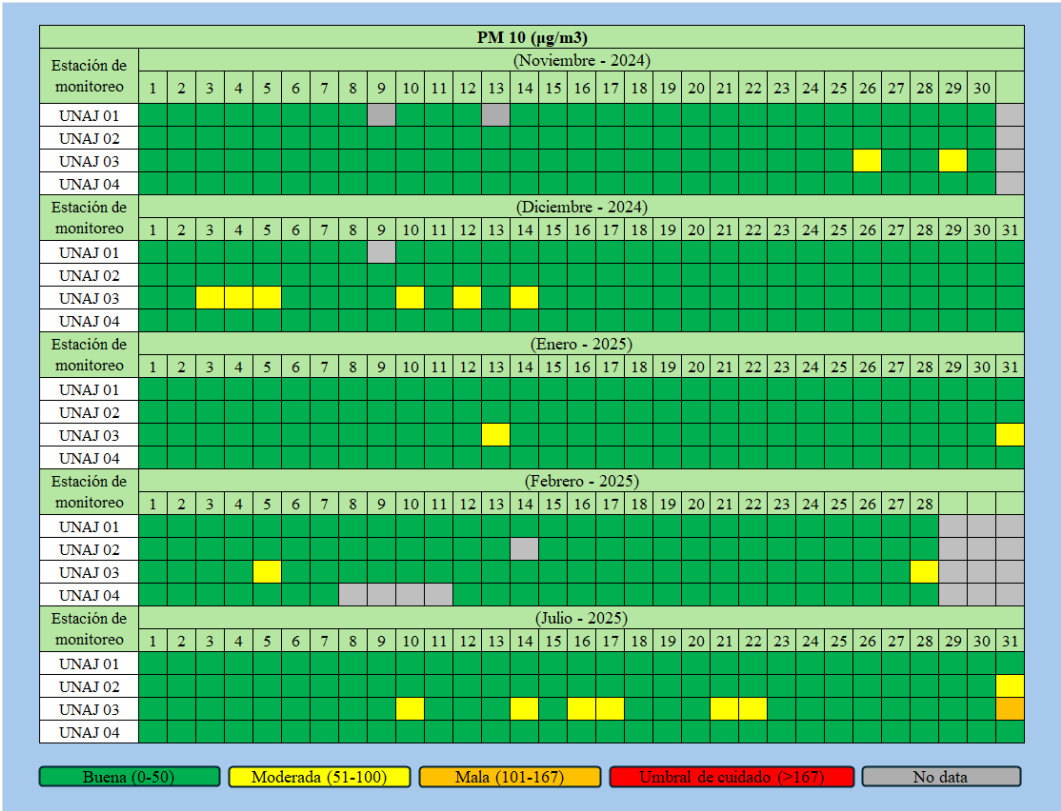
#### **4.2. Determinación de los índices de calidad del aire de las concentraciones de $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2.5}$ , $\text{SO}_2$ , $\text{NO}_2$ , $\text{CO}$ , $\text{O}_3$ y $\text{H}_2\text{S}$ determinados mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca**

##### **4.2.1. Índice de calidad de aire $\text{PM}_{10}$**

La figura representa los valores diarios del índice INCA para  $\text{PM}_{10}$  en cuatro puntos de monitoreo, categorizados según los rangos establecidos por el INCA.

**Figura 11**

*Índice de calidad del aire para el parámetro  $PM_{10}$*



Fuente: Elaboración propia

En la figura se visualiza que, durante el periodo evaluado, la calidad del aire se mantuvo predominantemente en categoría “buena”, aunque se registraron episodios moderados y un evento de calidad “mala” en determinadas fechas y estaciones de monitoreo. En noviembre de 2024 se observaron únicamente eventos moderados aislados en la estación UNAJ 02, evidenciando una baja incidencia de contaminación atmosférica. En diciembre de 2024 se incrementó la frecuencia de eventos moderados, principalmente en UNAJ 03, donde se registraron las concentraciones más elevadas de  $PM_{10}$  del periodo ( $76 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Posteriormente, en enero y febrero de 2025 la calidad del aire mostró nuevamente estabilidad y bajos niveles de  $PM_{10}$ , presentándose solo algunos eventos moderados en UNAJ 03. Finalmente, en julio de 2025 se identificó un mayor número de episodios moderados en las estaciones UNAJ 02 y UNAJ 03, además de un evento clasificado como “malo” en UNAJ 03 el día 31, situación que posiblemente estaría asociada a las condiciones de la estación seca características de los Andes peruanos, las cuales favorecen la resuspensión y acumulación de material particulado.

Los resultados muestran que la calidad del aire fue principalmente clasificada como “buena”, con concentraciones de  $PM_{10}$  inferiores a  $75 \mu g/m^3$ , lo que indica condiciones favorables para la salud. Este comportamiento coincide con estudios realizados en Juliaca, donde las condiciones climáticas y la menor presencia de actividades industriales, contribuyen a mantener bajos niveles de contaminación (Quispe, 2023).

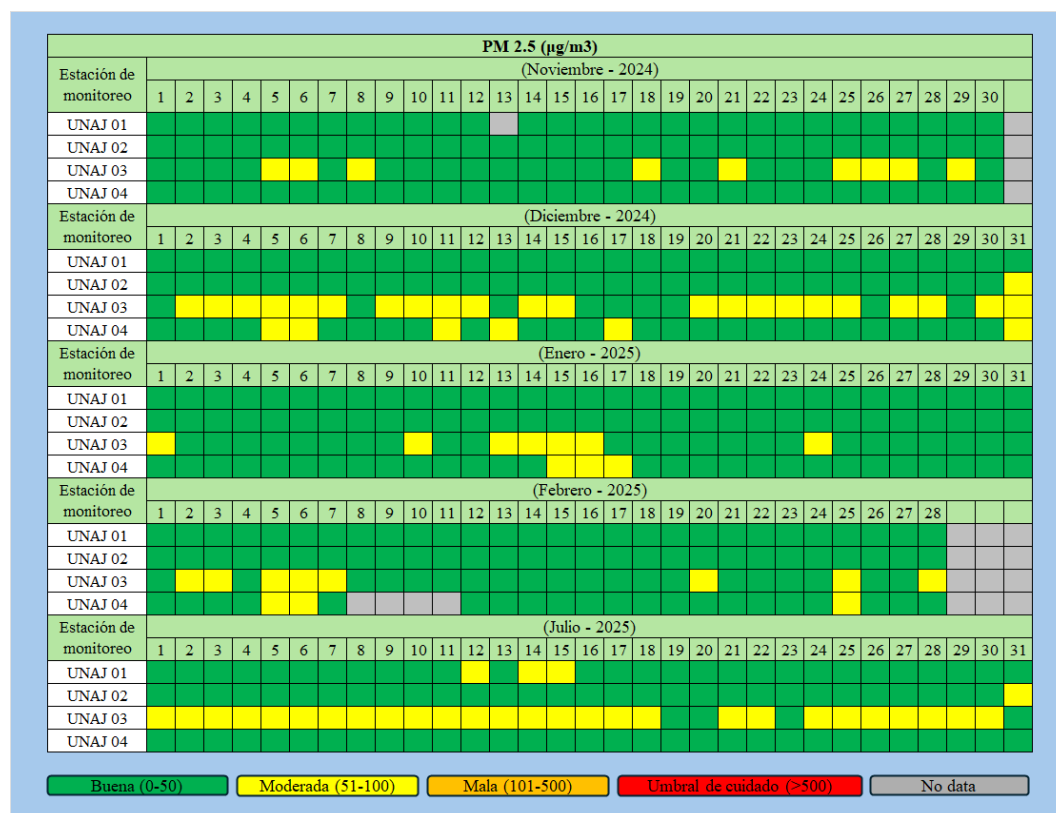
Sin embargo, se registraron algunos episodios de calidad del aire moderada y un evento de calidad “mala”, asociados a factores meteorológicos y actividades humanas locales. Entre estas destaca la actividad ladrillera, reconocida como una fuente importante de material particulado debido al uso de combustibles contaminantes en hornos artesanales (Santillán et al., 2024) (Berumen et al., 2020). Estas emisiones pueden agravarse cuando las condiciones atmosféricas dificultan la dispersión de los contaminantes (Lechuga, 2022). Por ello, es importante fortalecer el monitoreo continuo para prevenir episodios de contaminación y proteger la salud de la población.

#### **4.2.2. Índice de calidad de aire $PM_{2.5}$**

La figura representa los valores diarios del índice INCA para  $PM_{2.5}$  en cuatro estaciones de monitoreo y durante los meses monitoreados, categorizados según los rangos establecidos por el INCA.

**Figura 12**

*Índice de calidad del aire para el parámetro PM<sub>2.5</sub>*



Fuente: Elaboración propia

Durante los cinco meses evaluados, se evidencia que: la mayoría de los días monitoreados presentan calidad de aire buena (verde) en los cuatro puntos de monitoreo. Sin embargo, hay varios días con calidad moderada (amarillo) particularmente en la estación UNAJ 03. No se registran días en el umbral de cuidado ( $>125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), lo cual es positivo.

Durante el periodo evaluado predominó una calidad del aire clasificada como “buena”; sin embargo, se registraron episodios moderados principalmente en las estaciones UNAJ 03 y UNAJ 04. En noviembre de 2024 se observaron algunos días moderados aislados en UNAJ 03. En diciembre de 2024 se presentó la mayor frecuencia de eventos moderados, destacando múltiples episodios consecutivos en UNAJ 03 y algunos registros en UNAJ 04 y UNAJ 02, evidenciando una persistente presencia de contaminación atmosférica moderada. En enero y febrero de 2025 continuó predominando la calidad “buena”, aunque se reportaron eventos moderados ocasionales

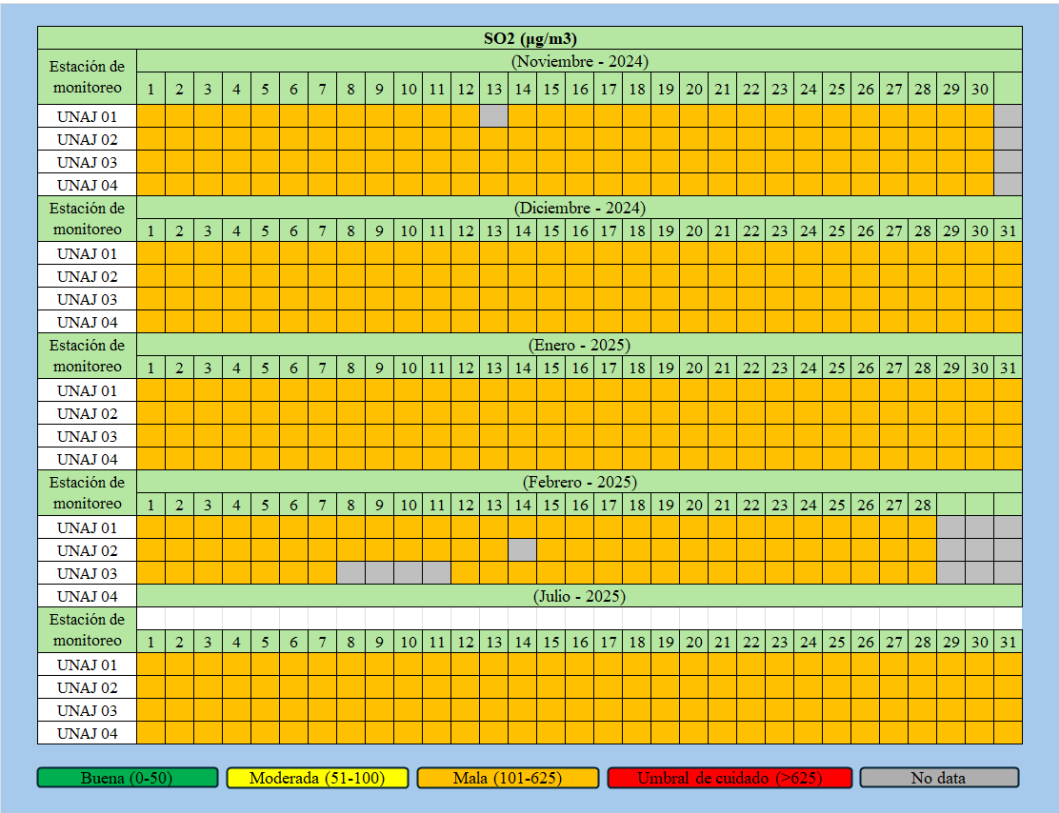
en UNAJ 03 y UNAJ 04. Finalmente, en julio de 2025 se observó un incremento de días con calidad del aire moderada, especialmente en UNAJ 03, mientras que UNAJ 01 y UNAJ 02 presentaron solo algunos episodios aislados.

Estos resultados son consistentes con estudios en zonas ladrilleras, donde se reportan condiciones de calidad del aire mayormente moderadas debido a la emisión de material particulado. En este sentido, Dalens & Macedo (2022) encontraron niveles dentro del rango “moderado” en la ladrillera de San Jerónimo, mientras que Apaza & Salazar (2025) reportaron valores incluso más elevados 63,24 µg/m³, asociados a condiciones de “mala” calidad del aire en zonas ladrilleras de Cusco.

### 4.2.3. Índice de calidad de aire (SO<sub>2</sub>)

La figura representa los valores diarios del índice INCA para SO<sub>2</sub> monitoreados y categorizándolos según los rangos establecidos por el INCA.

**Figura 13**  
*Índice de calidad del aire para el parámetro SO<sub>2</sub>*



Fuente: Elaboración propia

Durante los meses de noviembre y diciembre de 2024, así como enero, febrero y julio de 2025, se observa que todos los registros válidos de las estaciones de monitoreo (UNAJ 01, 02, 03 y 04) se encuentran dentro del rango “malo” (color naranja), lo que indica valores diarios de SO<sub>2</sub> superiores a 20 µg/m<sup>3</sup> y hasta 500 µg/m<sup>3</sup>.

Todas las estaciones reportan niveles diarios de SO<sub>2</sub> consistentes dentro de la categoría “mala”, sin valores clasificados como “buenos” o “en umbral de cuidado”. Esto indica una presencia continua de dióxido de azufre en concentraciones que pueden generar afectaciones a la salud, particularmente en grupos vulnerables (niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias). Las cuatro estaciones muestran un patrón constante de calidad de aire “mala” a lo largo de todos los meses, con muy pocos días sin datos. Esto sugiere que el problema es generalizado en toda el área de estudio, y no se trata de un fenómeno localizado.

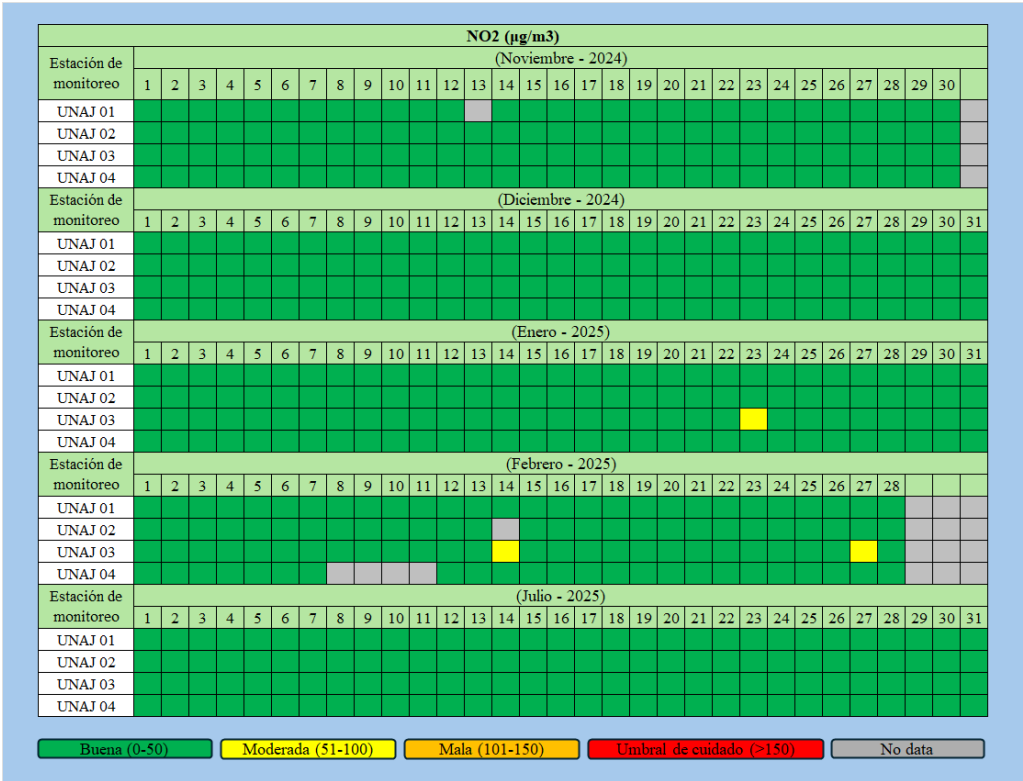
Los hallazgos guardan concordancia con lo reportado por Justo (2021) quien identificó una calidad de aire categorizada como “mala” según el INCA en la ciudad de Juliaca. Sin embargo, difieren de los hallazgos de Apaza & Salazar (2025) en una zona ladrillera de San Jerónimo, Cusco, donde las concentraciones de SO<sub>2</sub> alcanzaron el valor máximo de 6,27 µg/m<sup>3</sup> lo que lo colocaría en calidad de aire categorizada como “buena”. Esta diferencia podría estar asociada a las características particulares de las fuentes emisoras, el tipo de combustible utilizado y las condiciones ambientales presentes en cada zona de estudio.

#### **4.2.4. Índice de calidad de aire (NO<sub>2</sub>).**

La figura representa los valores diarios del índice INCA para NO<sub>2</sub> en cuatro estaciones de monitoreo y durante los meses monitoreados, categorizados según los rangos establecidos por el INCA.

**Figura 14**

*Índice de calidad del aire para el parámetro NO<sub>2</sub>.*



Fuente: Elaboración propia

Durante el periodo comprendido entre noviembre y diciembre de 2024 y enero, febrero y julio de 2025, los registros muestran que: la gran mayoría de los días monitoreados en las cuatro estaciones se clasifican como “buena calidad del aire” (verde), es decir, con concentraciones de NO<sub>2</sub> inferiores a 100 µg/m<sup>3</sup>. Se reporta un número muy limitado de días con calidad del aire moderada (amarillo). No se registran niveles en el umbral de cuidado (>200 µg/m<sup>3</sup>), lo que indica que no hubo situaciones críticas de exposición a NO<sub>2</sub> durante los meses evaluados. Existen algunos días sin datos (gris), especialmente en febrero de 2025.

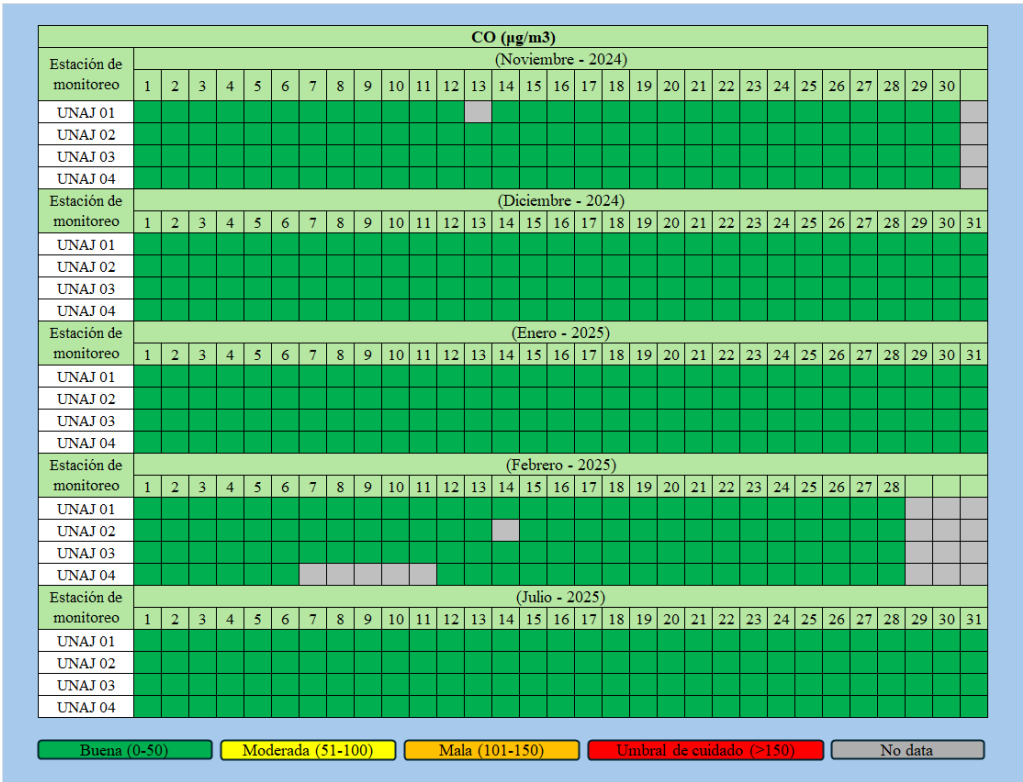
En cuanto a los eventos de calidad del aire moderada, únicamente se registró un día en enero de 2025, correspondiente al 23 de enero en la estación UNAJ 03. Del mismo modo, durante febrero de 2025 se identificaron dos días con esta clasificación en la misma estación, específicamente los días 14 y 27 de febrero. La ocurrencia de estos eventos de manera aislada indica que los incrementos en las concentraciones de NO<sub>2</sub> fueron esporádicos y no constituyeron una tendencia persistente en el área de estudio.

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas realizadas en la región. En este sentido, Justo (2021) reportó índices INCA clasificados como “bueno” en la ciudad de Juliaca. De manera similar, Huancapaza (2026) encontró concentraciones de NO<sub>2</sub> inferiores a 6,90 µg/m<sup>3</sup>, valores que también corresponden a una categoría de “buena” calidad del aire. Estas coincidencias refuerzan la evidencia de que las concentraciones de NO<sub>2</sub> en la zona de estudio se mantienen, en general, dentro de niveles que no representan un riesgo significativo para la salud ni para el ambiente.

#### 4.2.5. Índice de calidad de aire (CO).

La figura representa los valores diarios del índice INCA para CO en cuatro estaciones de monitoreo y durante los meses monitoreados, categorizados según los rangos establecidos por el INCA.

**Figura 15**  
*Índice de calidad del aire para el parámetro CO.*



Fuente: Elaboración propia

A lo largo del periodo comprendido entre noviembre de 2024, diciembre de 2024, enero de 2025, febrero de 2025 y julio de 2025, se observa que todos los días monitoreados

presentan niveles de CO dentro de los rangos considerados “buenos” (color verde), es decir, por debajo de  $5049 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No se registraron días con una calidad del aire distinta de la categoría “buena”, lo que indica una exposición mínima de la población al monóxido de carbono durante el período de estudio.

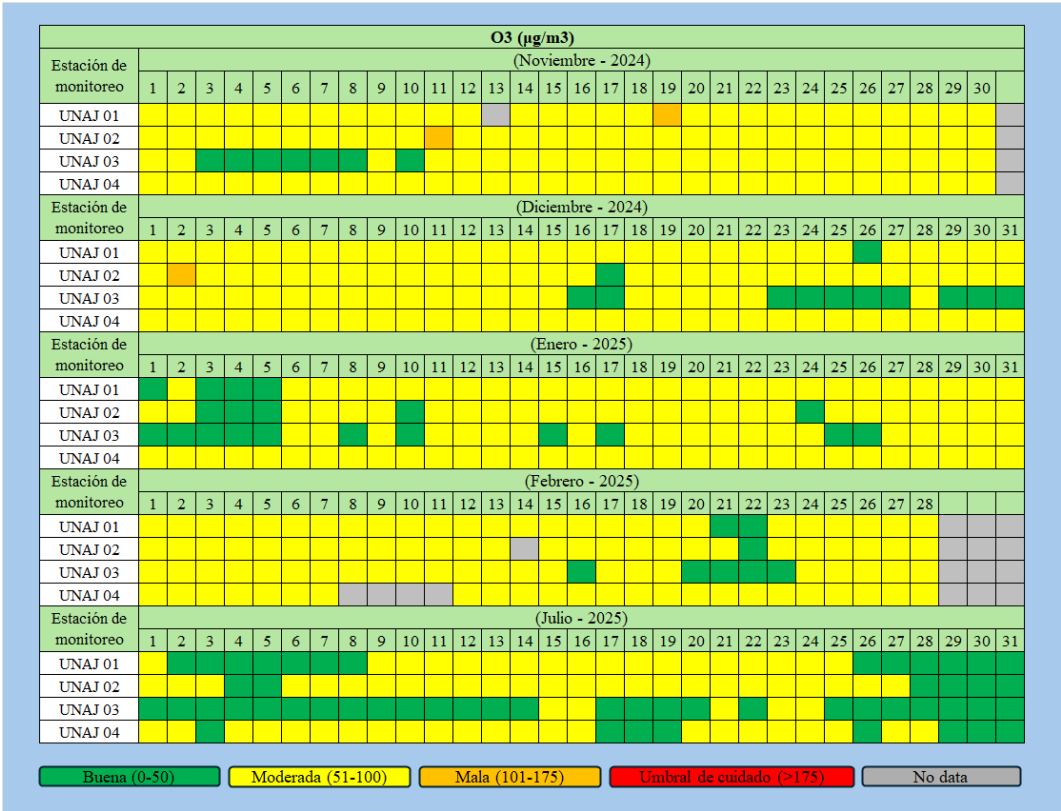
Estos datos son consistentes con los reportados. Estos resultados son consistentes con los reportados por Justo (2021), quien determinó que el índice nacional de calidad del aire (INCA) para monóxido de carbono se mantuvo en la categoría “buena” en las zonas críticas de la ciudad de Juliaca. De manera similar, Apaza & Salazar (2025) encontraron que las concentraciones de CO registradas en la zona ladrillera de San Jerónimo, Cusco, no superaron los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). La concordancia entre los resultados obtenidos por otros estudios similares muestra que la calidad del aire para el CO es “buena”.

#### **4.2.6. Índice de calidad de aire ( $\text{O}_3$ )**

La figura representa los valores diarios del índice INCA para  $\text{O}_3$  en cuatro estaciones de monitoreo y durante los meses monitoreados, categorizados según los rangos establecidos por el INCA.

**Figura 16**

*Índice de calidad del aire para el parámetro O<sub>3</sub>.*



Fuente: Elaboración propia

Durante el periodo de análisis se observa que la mayoría de los días presentan niveles de calidad moderada (amarilla), indicando concentraciones de ozono entre 61 y 120 µg/m<sup>3</sup>. Existen días con buena calidad del aire (verde), principalmente en la estación UNAJ 03 durante el mes de julio. Se presentan muy pocos eventos malos (anaranjado) y ningún dato en umbral de cuidado (rojo), lo cual indica que no se han superado niveles críticos de exposición al ozono.

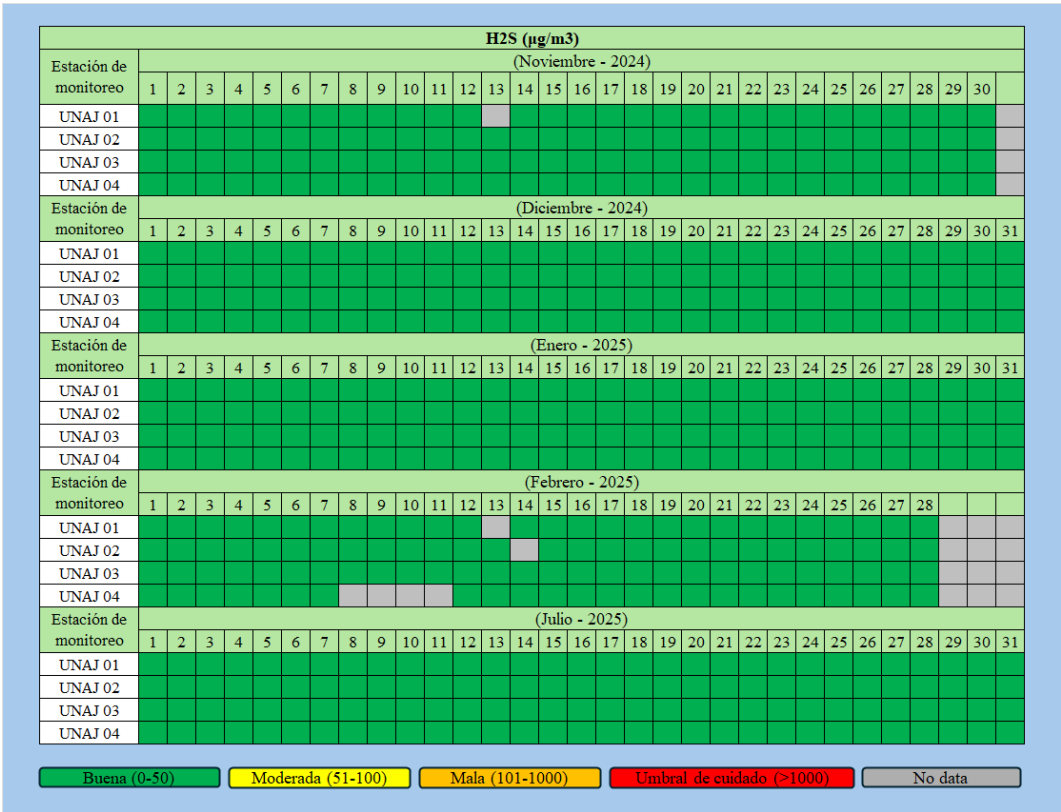
En contraste, los eventos de calidad “mala” fueron poco frecuentes y se presentaron principalmente en noviembre y diciembre de 2024 en las estaciones UNAJ 01 y UNAJ 02, asociados a incrementos puntuales de concentración. Durante enero y febrero de 2025 continuó predominando la calidad moderada, aunque con algunos días favorables en UNAJ 03. Finalmente, en julio de 2025 se observó una mejor distribución de la calidad del aire entre “buena” y “moderada”, destacando nuevamente UNAJ 03 como la estación con mayor número de días en condiciones favorables.

En conjunto, estos resultados muestran que no se alcanzaron niveles críticos de exposición, ya que no se registraron eventos en el umbral de cuidado. Este comportamiento es relevante considerando que el ozono troposférico es un contaminante con efectos negativos en la salud humana (Donzelli & Suarez, 2024).

#### 4.2.7. Índice de calidad de aire (H<sub>2</sub>S)

La figura representa los valores diarios del índice INCA para H<sub>2</sub>S en cuatro estaciones de monitoreo y durante los meses monitoreados, categorizados según los rangos establecidos por el INCA.

**Figura 17**  
*Índice de calidad del aire para el parámetro H<sub>2</sub>S.*



Fuente: Elaboración propia

Durante los meses de noviembre y diciembre de 2024, así como enero, febrero y julio de 2025, se ha evidenciado que la mayoría de los días evaluados muestran concentraciones de H<sub>2</sub>S dentro del rango clasificado como “bueno” (representado en color verde), es decir, con valores inferiores a 75 µg/m<sup>3</sup>. No se han identificado registros

que correspondan a niveles de calidad del aire moderada, mala o umbral de cuidado, lo que refleja una baja presencia de sulfuro de hidrógeno en la zona evaluada y, por tanto, un riesgo mínimo de exposición para la población.

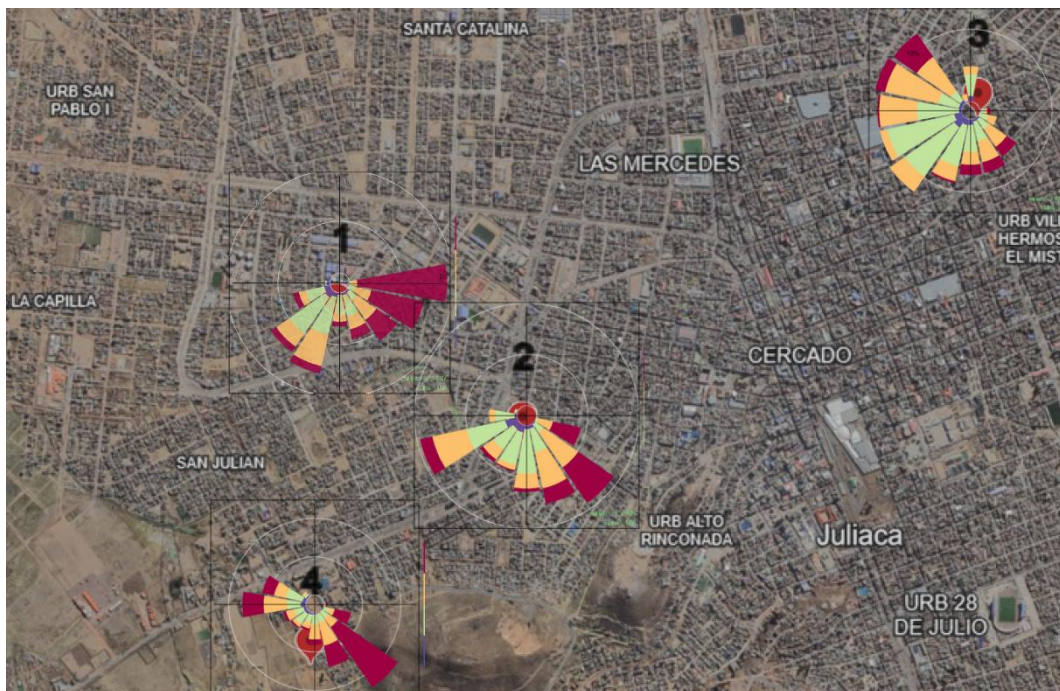
Los resultados obtenidos guardan concordancia con lo reportado por Huancapaza (2026), quien registró concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$  inferiores a  $3,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondientes a una calidad del aire “buena” según el INCA. En este sentido, los bajos niveles de  $\text{H}_2\text{S}$  observados implican que la actividad ladrillera no constituye una fuente significativa de emisión de este contaminante.

#### 4.3. Establecimiento de la relación entre la variable velocidad del viento y las concentraciones de $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2.5}$ , $\text{SO}_2$ , $\text{NO}_2$ , $\text{CO}$ , $\text{O}_3$ y $\text{H}_2\text{S}$ determinadas mediante una red de sensores de bajo costo en la zona ladrillera de Juliaca.

En esta sección se expone detalladamente los datos producto de los mapas de calor realizados para la determinación de la relación entre la variable velocidad del viento y las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$ .

#### Figura 18

*Rosa de vientos de los puntos de monitoreo evaluados.*



Fuente: Elaboración propia

La Figura 18 muestra gráficamente las rosas de viento correspondientes a los cuatro puntos de monitoreo del área de estudio, permitiendo visualizar la distribución de la frecuencia y dirección de los vientos durante el período evaluado. En el punto de monitoreo UNAJ 01 se observa una marcada predominancia de los vientos en un sector específico, mientras que en el punto UNAJ 02 la distribución es más dispersa, aunque mantiene una dirección predominante. Por su parte, el punto UNAJ 03 presenta una distribución más uniforme de los vientos en distintas direcciones, reflejando una mayor variabilidad en su comportamiento. Finalmente, el punto UNAJ 04 evidencia nuevamente una concentración de los vientos hacia un sector principal, con menor frecuencia en las demás direcciones.

**Tabla 6**

*Valores de correlación de contaminantes atmosféricos con velocidad y dirección del viento*

| Estación<br>de<br>monitoreo | Parámetro Vs.   |                  |                   |                 |                 |       |                |                  |
|-----------------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------|----------------|------------------|
|                             |                 | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2.5</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> | CO    | O <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> S |
| UNAJ 01                     | Dir. del viento | -0,18            | 0,10              | -0,32           | 0,12            | -0,24 | -0,25          | -0,37            |
|                             | Vel. del viento | 0,15             | -0,13             | 0,40            | -0,08           | 0,15  | 0,36           | 0,45             |
| UNAJ 02                     | Dir. del viento | -0,13            | 0,07              | -0,38           | 0,25            | -0,35 | -0,4           | -0,39            |
|                             | Vel. del viento | 0,16             | -0,15             | 0,35            | -0,25           | 0,1   | 0,52           | 0,42             |
| UNAJ 03                     | Dir. del viento | -0,3             | -0,35             | 0,13            | -0,09           | -0,2  | 0,09           | 0,07             |
|                             | Vel. del viento | -0,02            | -0,16             | 0,29            | -0,05           | -0,13 | 0,42           | 0,28             |
| UNAJ 04                     | Dir. del viento | -0,35            | -0,11             | -0,09           | 0,31            | -0,07 | -0,59          | -0,29            |
|                             | Vel. del viento | 0,12             | -0,1              | 0,16            | -0,06           | -0,07 | 0,65           | 0,31             |

*Nota.* Los valores presentados en la tabla fueron obtenidos a partir de los coeficientes de correlación representados en los mapas de calor incluidos en el ANEXO VII, los cuales se derivan del análisis de los datos originales del estudio, elaboración propia.

La Tabla 6 presenta los coeficientes de correlación lineal entre los contaminantes atmosféricos evaluados en el presente trabajo. y las variables meteorológicas dirección del viento y velocidad del viento, para cuatro estaciones de monitoreo identificadas como UNAJ 01, UNAJ 02, UNAJ 03 Y UNAJ 04. La estructura corresponde a una tabla

de doble entrada, donde: las filas representan cada estación de monitoreo y, dentro de estas, las dos variables meteorológicas evaluadas (dirección y velocidad del viento). Las columnas corresponden a los contaminantes atmosféricos analizados.

Los valores numéricos representan coeficientes de correlación, cuyos valores oscilan entre “-1” y “1”, indicando la fuerza y el sentido de la relación lineal entre las variables. Los coeficientes cercanos a “0” indican relaciones débiles o inexistentes, mientras que la presencia de valores positivos se interpreta como una asociación de carácter directo, mientras que los valores negativos corresponden a una asociación inversa.

Los resultados mostraron que las variables meteorológicas influyeron en las concentraciones de contaminantes, aunque con relaciones de intensidad baja a moderada. Esto es especialmente relevante considerando las características climáticas y geográficas particulares de Juliaca, ubicada a más de 3 800 metros sobre el nivel del mar y con condiciones atmosféricas que pueden afectar la dispersión y acumulación de contaminantes.

### **Influencia de la dirección del viento**

La dirección del viento presentó predominantemente correlaciones negativas con los contaminantes evaluados. Esto sugiere que las corrientes de aire con ciertas orientaciones en Juliaca favorecieron la dispersión de contaminantes, contribuyendo a la reducción de sus concentraciones en las estaciones de monitoreo.

Las correlaciones negativas más significativas se registraron entre la dirección del viento y: O<sub>3</sub> en la estación UNAJ 04 ( $r = -0,59$ ), H<sub>2</sub>S en todas las estaciones ( $r$  entre  $-0,29$  y  $-0,39$ ), lo que indica que la orientación del viento respecto a las fuentes emisoras en Juliaca es un factor clave en la dinámica de la contaminación atmosférica local.

### **Influencia de la velocidad del viento**

La velocidad del viento mostró un comportamiento variable según el contaminante: Correlaciones positivas moderadas entre velocidad del viento y O<sub>3</sub> (UNAJ 04:  $r = 0,65$ ; UNAJ 02:  $r = 0,52$ ) sugieren que, en Juliaca, mayores velocidades del viento facilitaron el transporte y posible formación del ozono troposférico. Para SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, las correlaciones positivas bajas a moderadas reflejan el transporte potencial de estos contaminantes desde fuentes cercanas, muy probablemente vinculadas a actividades

industriales o de transporte propias de la zona. Las correlaciones débiles o negativas entre velocidad del viento y material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) indican que el viento contribuyó a la dispersión y disminución de partículas suspendidas en el aire, lo cual es importante para la calidad del aire en esta ciudad.

### **Variabilidad entre estaciones**

Un factor importante en la dispersión de contaminantes es la velocidad y la dirección del viento. Según los datos del monitoreo de campo, la dirección del viento cambia a lo largo del día, lo que influye en cómo se mueven los contaminantes y en las zonas donde se concentran (Trejo, 2023). Las diferencias entre estaciones reflejan la heterogeneidad espacial en Juliaca, relacionada con la ubicación de fuentes contaminantes, la topografía y las condiciones locales de circulación atmosférica. Destaca la estación UNAJ 04, que mostró las correlaciones más altas entre velocidad del viento y  $O_3$ , sugiriendo un área con mayor influencia de transporte atmosférico de contaminantes.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Durante el periodo de monitoreo se registraron variaciones en las concentraciones de los contaminantes evaluados. Para el material particulado  $PM_{10}$ , la concentración máxima fue de  $162,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , registrada durante el mes de julio en la estación de monitoreo UNAJ 03. En el caso del ozono ( $O_3$ ), la concentración máxima alcanzó  $121,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y se registró en el mes de diciembre en la estación UNAJ 01. Respecto a los demás contaminantes monitoreados, las concentraciones máximas registradas durante el periodo de evaluación fueron de  $22,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{2.5}$ ,  $62,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $SO_2$ ,  $101,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $NO_2$ ,  $1717,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para CO y  $72,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $H_2S$ . Estos resultados describen los valores máximos observados para cada uno de los parámetros evaluados en las estaciones de monitoreo durante el periodo de estudio.

Los resultados del INCA para las concentraciones de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO,  $O_3$  y  $H_2S$  en la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca evidenciaron comportamientos diferenciados según el contaminante evaluado. En el caso del  $PM_{10}$ , predominó una calidad del aire clasificada como “buena”, registrándose únicamente 19 días con calidad de aire “moderada” durante los cinco meses de monitoreo. De manera similar, las concentraciones de  $PM_{2.5}$  mostraron una calidad del aire “buena” en la mayor parte del período evaluado; sin embargo, durante el mes de julio, en la estación UNAJ 03, la mayoría de los días fueron clasificados con calidad de aire “moderada”. Respecto al  $SO_2$ , este contaminante presentó una calidad del aire clasificada como “mala” durante todo el período de evaluación. Este comportamiento resulta particular, ya que, si bien el INCA lo categoriza como una calidad del aire “mala”, las concentraciones registradas se mantuvieron por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aire durante todo el período de monitoreo. Por su parte, el  $O_3$  registró predominantemente una calidad del aire “moderada”, identificándose además tres eventos clasificados como de calidad de aire “mala”. Finalmente, las concentraciones de  $NO_2$ , CO, y  $H_2S$  mantuvieron una calidad del aire “buena” durante todos los días monitoreados.

La relación de las concentraciones de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO,  $O_3$  y  $H_2S$  (evaluados en cuatro puntos de monitoreo) y velocidad y dirección del viento presentaron unas

relaciones negativas. Dentro de las más significativas se encuentra  $O_3 = -0,59$  y para el  $PM_{10}$ :  $r = -0,18; -0,13; -0,3; -0,35$ ) lo que significa que, cuando el viento sopla con mayor intensidad, las concentraciones de estos contaminantes disminuyen. De manera similar, las concentraciones de dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) también presento relaciones negativas ( $NO_2$ :  $r = -0,08; -0,25; -0,05; -0,06$ ) y el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) también mostraron correlaciones negativas con la velocidad y dirección del viento ( $NO_2$ :  $r = -0,81$ ;  $SO_2$ :  $r = -0,61$ ), evidenciando que los aspectos de velocidad y dirección del viento contribuyen a la propagación de los compuestos presentes en la atmosfera.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda evaluar la calidad del aire los meses de mayor producción ladrillera los cuales estarían vinculados al incremento de la actividad constructiva con lo que se podría realizar mediciones más precisas a nivel horario y de forma similar con otras actividades industriales que sean de interés en futuras investigaciones.
- Se recomienda realizar análisis en periodos cortos de tal manera que se pueda realizar un mejor análisis de datos a nivel horario y diario para una mejor visualización del comportamiento de los contaminantes atmosféricos.
- Se recomienda a las Instituciones educativas de nivel universitario realizar convenios con otras instituciones, y realizar las renovaciones correspondientes de éstas, cuando haya cambios de Gobierno o Gestión, de tal manera que se pueda trabajar de forma articulada colaborando con aspectos logísticos para una mejor obtención de datos.
- Se recomienda realizar la comparación de los hallazgos de las concentraciones de los contaminantes preferentemente con los establecido con las normas internacionales, debido a que no hay concordancia entre los parámetros del ECA aire y los valores del INCA, esto en caso se desee determinar los índices de calidad de aire.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, E. (2022). *Efecto de cenizas producto de ladrilleras artesanales en la capacidad portante de suelos cohesivos en el distrito de Juliaca - Puno 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/108298>
- Alfaro, R., Paredes, R., Laqui, W., Alfaro, V., & Belizari, G. (2025). Contamination of Urban Sediment by Harmful Heavy Metals in High Vehicular Traffic Zones of Juliaca, Peru. *Environment and Ecology Research*, 13(3), 358–370. <https://doi.org/10.13189/eer.2025.130305>
- Ali, R., & Zulfikar, A. (2021). Impact of Air Pollution Generated by Brick on the Pulmonary Health of Workers. *J Health Pollut.* 2021 Aug 17;11(31):210906. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-11.31.210906>
- Aniyikaiye, T. E., Piketh, S. J., & Edokpayi, J. N. (2023). Quantification of ambient PM<sub>2.5</sub> concentrations adjacent to informal brick kilns in the Vhembe District using low-cost sensors. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49884-7>
- Apaza, E., & Salazar, E. (2025). *Calidad de aire y su relación con la actividad ladrillera en la comunidad campesina de Sucso Aucaylle, Distrito de San Gerónimo, Cusco 2023-2024* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/items/069b4101-e800-45f1-9c93-6a619f559d4a>
- Barrazueta, S. G., Guerra, J., Horna, B., Chávez, A., & Morales, J. (2022). Construcción de un prototipo de supervisión y alerta de control químico de emisiones de gases contaminantes dentro de vehículos con sistema de combustión. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i1.657>
- Berumen, A., Pérez, F., Díaz, F., Márquez, L., & Flores, R. (2020). Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. *Salud Publica de Mexico*, 63(1), 100–108. <https://doi.org/10.21149/11282>
- Boldo, E., & Querol, X. (2014). New European policies for air pollution control: A step forward in improving public health? *Gaceta Sanitaria*, 28(4), 263–266. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.04.003>

- Bousiotis, D., Alconcel, L. N. S., Beddows, D. C. S., Harrison, R. M., & Pope, F. D. (2023). Monitoring and apportioning sources of indoor air quality using low-cost particulate matter sensors. *Environment International*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107907>
- Cabrera, C., Urrutia, I., & Jiménez, C. A. (2021). SEPAR's Year: Air Quality. SEPAR Statement on Climate Change. En *Archivos de Bronconeumología* (Vol. 57, Número 5, pp. 313–314). Elsevier Doyma. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2021.03.003>
- Cahuayme, F. (2022). *Niveles de contaminación ambiental generado por los gases de chimeneas de las industrias en la calidad del aire, Panamericana Sur, San Andrés, Pisco, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/c16dd9b5-ca44-42c5-9996-34ac65dacb28>
- Carrasco, R., Vigil, S. V., Valiente, Y. M., & González, D. G. (2023). Contaminación urbano ambiental y espacio público del centro de Piura, Perú: Revisión sistemática. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 171–183. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i16.2542>
- Chaves, K. D., Sibaja, J. P., & Pérez, E. (2021). Monitoreo de la concentración de SO<sub>2</sub> en el aire y características físicoquímicas del agua de lluvia en el Volcán Irazú. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i4.5113>
- Chen, F., Zhang, W., Mfarrej, M. F. B., Saleem, M. H., Khan, K. A., Ma, J., Raposo, A., & Han, H. (2024). Breathing in danger: Understanding the multifaceted impact of air pollution on health impacts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116532>
- Chen, R., Zhang, T., Guo, Y., Wang, J., Wei, J., & Yu, Q. (2021). Recent advances in simultaneous removal of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> from exhaust gases: Removal process, mechanism and kinetics. En *Chemical Engineering Journal* (Vol. 420). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127588>
- Clofent, D., Culebras, M., Loor, K., & Cruz, M. J. (2021). Environmental Pollution and Lung Cancer: The Carcinogenic Power of the Air We Breathe. En *Archivos de Bronconeumología* (Vol. 57, Número 5, pp. 317–318). Elsevier Doyma. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2020.05.031>

- Coasaca, M. F., Maldonado, H. J., Gonzales, K. N., Torres, F. G., & Troncoso, O. P. (2023). Optimización de la solución absorbente del contaminante gaseoso ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) empleando polisacáridos ulvan. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 89(2). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v89i2.430>
- Connolly, R. E., Yu, Q., Wang, Z., Chen, Y. H., Liu, J. Z., Collier-Oxandale, A., Papapostolou, V., Polidori, A., & Zhu, Y. (2022). Long-term evaluation of a low-cost air sensor network for monitoring indoor and outdoor air quality at the community scale. *Science of the Total Environment*, 807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150797>
- Cordero, E., Pinto, A., Fuentes, D. C., Verónica, J., & Chambi, M. (2018). Efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población del distrito N°3 Vinto-Oruro. En *ACTA NOVA* (Vol. 8). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10072461>
- Criollo, C., Assar, R., Cáceres, D., & Préndez, M. (2016). *Arbolado urbano, calidad del aire y afecciones respiratorias en seis comunas de la provincia de Santiago, Chile*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482016000200003>
- Dalens, Z., & Macedo, T. (2022). *Evaluación de la calidad del aire por emisiones de CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> generado por la industria ladrillera en Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV\\_b052a6215fa22513cb34164cd36a7e72/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_b052a6215fa22513cb34164cd36a7e72/Details)
- Delgado, A., & Rojas, O. (2015). Construcción de un sistema de bajo costo para el uso y evaluación de sensores semiconductores para gases. *Educacion Química*, 26(4), 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.001>
- Donzelli, G., & Suarez, M. (2024). Tropospheric Ozone: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. En *Atmosphere* (Vol. 15, Número 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/atmos15070779>
- Echevarria, O. V. (2023). *Impacto ambiental del sistema de producción ladrillera artesanal de Acobamba - Huancavelica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/c4157997-1722-4ce5-9034-ed918c93b49b>

- Frederickson, L., Russell, H., Raasch, S., Zhang, Z., Schmidt, J., Johnson, M., & Hertel, O. (2024). Urban vertical air pollution gradient and dynamics investigated with low-cost sensors and large-eddy simulations. *Atmospheric Environment*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120162>
- Galloza, D., & Ponce, L. (2022). *Contaminación por partículas PM10 y su relación con la temperatura y la humedad relativa en la ciudad de Trujillo, La libertad 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/5de06650-d5c1-499e-9418-e36de10f396c/content>
- Gattelli, S. (2022). *Cuantificación de emisiones de monóxido de carbono (CO), material particulado (PM10) y ruido asociado al sistema productivo de dos empresas ladrilleras de Pucallpa*.
- Giordano, M., Malings, C., Pandis, S., Presto, A., McNeill, V., Westervelt, D., Beekmann, M., & Subramanian, R. (2021). From low-cost sensors to high-quality data: A summary of challenges and best practices for effectively calibrating low-cost particulate matter mass sensors. *Journal of Aerosol Science*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105833>
- Gutiérrez, A., Ferrero, A., Estarlich, M., Esplugues, A., Iñiguez, C., & Ballester, F. (2018). Exposure to nitrogen dioxide and respiratory health at 2 years in the INMA-Valencia cohort. *Gaceta Sanitaria*, 32(6), 507–512. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.05.012>
- Hayward, I., Martin, N. A., Ferracci, V., Kazemimanesh, M., & Kumar, P. (2024). Low-Cost Air Quality Sensors: Biases, Corrections and Challenges in Their Comparability. En *Atmosphere* (Vol. 15, Número 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/atmos15121523>
- Hilly, J. J., Singh, K. R., Jagals, P., Mani, F. S., Turagabeci, A., Ashworth, M., Matak, M., Morawska, L., Knibbs, L. D., Stuetz, R. M., & Dansie, A. P. (2024). Review of scientific research on air quality and environmental health risk and impact for PICTS. En *Science of the Total Environment* (Vol. 942). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173628>
- Huancapaza, N. (2026). *Evaluación de impactos ambientales en la obra “Ampliación mejoramiento de los servicios de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Juliaca -*

*Puno*”, ejecutado por la empresa COVANOR - 2025 [Tesis de Pregrado, Universidad Privada San Carlos]. Repositorio institucional

Ionescu, G. L., & Ionescu, G. (2023). Atmospheric pollutant dispersion modeling methods. *JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING SCIENCES*, 13(26).  
<https://doi.org/10.2023/Revised>

Justo, J. (2021). *Evaluación de la calidad del aire según los niveles de concentración de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> en puntos críticos de la ciudad de Juliaca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. <https://repositorio.unaj.edu.pe/items/d98d067a-26d3-4b06-b338-451967c11172>

Karagulian, F., Barbieri, M., Kotsev, A., Spinelle, L., Gerboles, M., Lagler, F., Redon, N., Crunaire, S., & Borowiak, A. (2019). Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. En *Atmosphere* (Vol. 10, Número 9). MDPI AG.  
<https://doi.org/10.3390/atmos10090506>

Lechuga, W. (2022). *Determinación de gases contaminantes y de efecto invernadero del sector ladrillero artesanal de Piñipampa - Cusco -Año 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal].  
<https://repositorio.unfv.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3d9ecae8-0a56-4f6d-9943-bb2404a094cd/content>

Licla, L. (2021). Evaluación de la Calidad de Aire en el Proyecto de Explotación Cantera Camucha, distrito de Morococha, provincia de Yauli, Junín. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 245–251. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21777>

Liu, H. Y., Schneider, P., Haugen, R., & Vogt, M. (2019). Performance assessment of a low-cost PM 2.5 sensor for a near four-month period in Oslo, Norway. *Atmosphere*, 10(2).  
<https://doi.org/10.3390/atmos10020041>

Liu, S., Cai, X., Song, Y., Zhang, H., Yan, Y., & Wang, X. (2025). Climatic features of wind field and their impact on local air quality in Taiyuan Basin. *Science of the Total Environment*, 979. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179491>

- 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. En *Universidad del Pacífico Centro de Investigación* (pp. 1–17). <https://repositorio.up.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/3f0ddee4-1576-44b1-a06e-a798312d55cc/content>
- Mamani Mamani, E. A., Flores Flores, R. A., Vargas Ramos, Y. A., Valle Terrazas, R., Ponce Quispe, L., & Quispe Mamani, J. C. (2026). Calidad del aire en la ciudad de Juliaca, Perú: análisis del PM<sub>10</sub> y su relación con variables meteorológicas. *Revista Alfa*, 10(28), 454–475. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.445>
- MINAM. (2014). *Informe nacional de la calidad del aire 2013-2014*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- MINAM. (2015). *Glosario de términos, sitios contaminados*. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>
- MINAM. (2019). *Protocolo nacional de monitoreo de calidad del aire*. [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/protocolo\\_monitoreo\\_aire.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/protocolo_monitoreo_aire.pdf)
- MINAM. (2021). *Informe Nacional sobre el estado del ambiente 2014 - 2019*. <http://repositoriodigital.minam.gob.pe/xmlui/handle/123456789/722>
- Munir, S., Mayfield, M., Coca, D., Jubb, S. A., & Osammor, O. (2019). Analysing the performance of low-cost air quality sensors, their drivers, relative benefits and calibration in cities - a case study in Sheffield. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7231-8>
- Nicolaou, L., Sylvies, F., Veloso, I., Lord, K., Chandyo, R. K., Sharma, A. K., Shrestha, L. P., Parker, D. L., Thygeson, S. M., DeCarlo, P. F., Ramachandran, G., & Checkley, W. (2024). Brick kiln pollution and its impact on health: A systematic review and meta-analysis. En *Environmental Research* (Vol. 257). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119220>

- Okorn, K., & Iraci, L. T. (2024). An overview of outdoor low-cost gas-phase air quality sensor deployments: current efforts, trends, and limitations. En *Atmospheric Measurement Techniques* (Vol. 17, Número 21, pp. 6425–6457). Copernicus Publications. <https://doi.org/10.5194/amt-17-6425-2024>
- Ortega, J. A., Tellerías, L., Ferrís, J., Boldo, E., Campillo, F., van den Hazel, P., Cortes, S., Ramis, R., Gaioli, M., Monroy, R., Farias, C., Borrás, M., Yohannessen, K., García, M., Cárceles, A., Jaimes, D. C., Cordero, M., López, F., & Claudio, L. (2019). Threats, challenges and opportunities for paediatric environmental health in Europe, Latin America and the Caribbean. *Anales de Pediatría*, 90(2), 124.e1-124.e11. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2018.11.015>
- Oscartegui, A. (2020). *Análisis de las concentraciones de PM10 en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate - provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2115/1/T026\\_47047329\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2115/1/T026_47047329_T.pdf)
- Perevochtchikova, M. (2009). la situación actual del sistema de monitoreo ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En *ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS Y URBANOS* (Vol. 24, Número 72). <https://www.scielo.org.mx/pdf/educm/v24n3/2448-6515-educm-24-03-513.pdf>
- Pérez, B., Aparicio Rodrigo, M., Redondas, D., Sabariego, K., & Barbero, M. del M. (2025). Descripción de la calidad del aire y características ambientales en aulas de primaria de la Comunidad de Madrid. *Anales de Pediatría*, 503792. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2025.503792>
- Pérez, H., Lunagómez, M., & Acosta, L. (2010). *Análisis de partículas suspendidas totales(PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792010000200003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792010000200003)
- Phalen, R. F. (2004). The Particulate Air Pollution Controversy. *Nonlinearity in Biology, Toxicology, Medicine*, 2(4). <https://doi.org/10.1080/15401420490900245>
- Quispe, K. (2023). *Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado menor a 10 micras, metales y metaloides en las zonas de alto tránsito vehicular - Juliaca*

- [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca].  
<https://repositorio.unaj.edu.pe/items/b91c5407-1f12-4843-ad22-96e359eca388>
- Ramos, S., Vázquez, J. C., Serrano, M., Masera, O., & Ruiz, V. (2026). Participatory innovation for sustainable artisanal brick production in Mexico: A case study. *Sustainable Futures*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2026.101697>
- Rojas, J. P., & Medina, E. A. (2022). Pronóstico de las concentraciones de material particulado en el aire (PM10) utilizando redes neuronales artificiales: Caso estudio en el distrito de Ate, Lima. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(3). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.402>
- Rubio, J., Hernández, A., Ávila, J., Stein, M., & Meléndez, A. (2016). Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes Neuronales. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.006>
- Sá, J. P., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Sousa, S. I. V. (2022). Application of the low-cost sensing technology for indoor air quality monitoring: A review. En *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 28). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102551>
- Santillán, G., Santillán, J., Caichug, D., Orozco, J., Rivera, M., & Dávalos, G. (2024). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del Cantón Chambo. *Tesla Revista Científica*, 4(1), e322. <https://doi.org/10.55204/trc.v4i1.e322>
- Scagliotti, A., & Jorge, G. (2021). Characterization of low-cost particulate matter sensor. *Revista Tecnología y Ciencia*, (42), 96–111. <https://doi.org/10.33414/rtyc.42.96-111.2021>
- Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Shabbir, M., Saeed, T., Saleem, A., Bhave, P., Bergin, M., & Khokhar, M. F. (2025a). A paradigm shift: Low-cost sensors for effective air quality monitoring and management in developing countries. *Environment International*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109521>

- Shabbir, M., Saeed, T., Saleem, A., Bhawe, P., Bergin, M., & Khokhar, M. F. (2025b). A paradigm shift: Low-cost sensors for effective air quality monitoring and management in developing countries. *Environment International*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109521>
- Sharma, R., Razakamanantsoa, A., Kumar, A., Thajudeen, T., & Jullien, A. (2025). Performance and applicability of low-cost PM sensors to assess global pollution variability through machine learning techniques. *Atmospheric Environment: X*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2025.100331>
- Silva, V. A., Zaze, E. G., Bastos, P. A., Bastos, P. A., Devecchi, F. P., & Kolichieski, M. B. (2023). Urban Pollutant Dispersion on a Turbulent Fluid Model. *Trends in Computational and Applied Mathematics*, 24(4), 617–633. <https://doi.org/10.5540/tcam.2023.024.04.00617>
- Sorensen, S. B., & Kristensen, K. (2024). Low-cost sensor-based investigation of CO<sub>2</sub> and volatile organic compounds in classrooms: Exploring dynamics, ventilation effects and perceived air quality relations. *Building and Environment*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111369>
- Subhanullah, M., Ullah, S., Javed, M. F., Ullah, R., Akbar, T. A., Ullah, W., Baig, S. A., Aziz, M., Mohamed, A., & Sajjad, R. U. (2022). Assessment and Impacts of Air Pollution from Brick Kilns on Public Health in Northern Pakistan. *Atmosphere*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/atmos13081231>
- Sunyer, J., & Rivas, I. (2022). Air pollution and health, 20 years later. *Medicina Clinica*, 159(7), 334–335. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2022.04.006>
- Supo, J., Quenaya, G., & Yanque, A. (2024). *Aplicación de sensores de bajo costo para monitorear la contaminación del aire (CO<sub>2</sub>, CO, y PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) en cuatro Colegios del Distrito de San Miguel, Puno- Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/fa41bd52-baf8-48d7-9341-8eff97efb5b9>
- Trejo, T. M. (2023). *Dispersión de contaminantes mediante el uso del modelo Gaussiano en la zona de vulnerabilidad en el sector industrial Ica, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/e636b8f5-fc61-4013-9b3e-49b6ae86734b>

- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2016). Outdoor air pollution respiratory health effects in children. *Revista Medica Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>
- Ulloa, J., Alvarez, D., Peña, A., & Suarez, L. (2022). Sensores de bajo costo en la caracterización de partículas finas (PM2.5) de una ciudad altoandina. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(3), 199–207. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.468>
- Univio, A. (2017). *Diagnóstico sobre la incidencia de la actividad ladrillera en el territorio, a partir de sus impactos ambientales, en Sogamoso - Colombia*.
- Valdes, H., Vilches, J., Felmer, G., Hurtado, M., & Figueroa, J. (2020). Artisan brick kilns: State of the art and future trends. En *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Número 18). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12187724>
- Vallejo, D., Muñoz García, A., Chaverra Zuleta, E., Correa Casas, J., Londoño, L. F., & Bustamante Rúa, O. (2024). Development of an IoT architecture for environmental monitoring: integrating open source technologies with application projection in the mining sector. *DYNA (Colombia)*, 91(231), 163–168. <https://doi.org/10.15446/dyna.v91n231.112093>
- Vera, V., & Quispe, E. (2023). Modelamiento de la dispersión de PM10 de las ladrilleras del Distrito de San Gerónimo Cusco. *Revista Boliviana de Química*, 40(5). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.5.2>
- Vidal, O., & Pérez, A. (2018). Estimation of Dilution of Atmospheric Contaminants from a Paper Factory Using the AERMOD Model Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos por una Industria Papelera Mediante el Modelo AERMOD. *Revista Ingeniería*, 23(1), 31–47. <https://doi.org/10.14483/23448393.12262>
- Williams, R., Conner, T., Clements, A., Foltescu, V., Nthusi, V., Jabbour, J., Nash, D., Rice, J., Kaufman, A., Rourk, A., & Srivastava, M. (2017). *Performance Evaluation of the United Nations Environment Programme Air Quality Monitoring Unit*. [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?dirEntryId=336950&Lab=NERL](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=336950&Lab=NERL)

Zhu, X., Qiu, H., Wang, L., Duan, Z., Yu, H., Deng, R., Zhang, Y., & Zhou, L. (2019). Risks of hospital admissions from a spectrum of causes associated with particulate matter pollution. *Science of the Total Environment*, 656, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.240>

## **ANEXOS**

## ANEXO I. Matriz de Operacionalización de variables

**Tabla 7**

*Operacionalización de variables*

| Tipo de variable | Variable                                | Dimensiones                                            | Indicadores                                     | Índice            |
|------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|
| Independiente    | Presencia de contaminantes atmosféricos | Factor meteorológico                                   | Velocidad del viento                            | m/s               |
|                  |                                         |                                                        | Dirección del viento                            | (°)               |
|                  |                                         | Concentraciones de PM10, PM2.5, SO2, NO2, CO, O3 y H2S | Material particulado grueso (PM <sub>10</sub> ) | µg/m <sup>3</sup> |
|                  |                                         |                                                        | Material particulado fino (PM <sub>2.5</sub> )  | µg/m <sup>3</sup> |
|                  |                                         |                                                        | Monóxido de Carbono (CO)                        | ppb               |
|                  |                                         |                                                        | Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )         | ppb               |
|                  |                                         |                                                        | Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )            | ppb               |
|                  |                                         |                                                        | Ozono (O <sub>3</sub> )                         | ppb               |
|                  |                                         |                                                        | Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)         | ppb               |
| Dependiente      | Calidad del aire                        | Distribución espacial de las concentraciones           | Valores INCA                                    | Calificación INCA |

*Nota.* La abreviatura INCA hace referencia al índice de calidad del aire.

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO II. Estándares de Calidad del aire (ECA)

**Figura 19**

*Estándares de calidad para aire*

| Parámetros                                                                   | Periodo  | Valor<br>[µg/m³] | Criterios de evaluación                          | Método de análisis <sup>[1]</sup>                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )                                     | Anual    | 2                | Media aritmética anual                           | Cromatografía de gases                                                                                                                                                                                                |
| Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )                                         | 24 horas | 250              | NE más de 7 veces al año                         | Fluorescencia ultravioleta<br>(Método automático)                                                                                                                                                                     |
| Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )                                      | 1 hora   | 200              | NE más de 24 veces al año                        | Quimioluminiscencia (Método<br>automático)                                                                                                                                                                            |
|                                                                              | Anual    | 100              | Media aritmética anual                           |                                                                                                                                                                                                                       |
| Material Particulado con diámetro<br>menor a 2,5 micras (PM <sub>2.5</sub> ) | 24 horas | 50               | NE más de 7 veces al año                         | Separación inercial/filtración<br>(Gravimetría)                                                                                                                                                                       |
|                                                                              | Anual    | 25               | Media aritmética anual                           |                                                                                                                                                                                                                       |
| Material Particulado con diámetro<br>menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )   | 24 horas | 100              | NE más de 7 veces al año                         | Separación inercial/filtración<br>(Gravimetría)                                                                                                                                                                       |
|                                                                              | Anual    | 50               | Media aritmética anual                           |                                                                                                                                                                                                                       |
| Mercurio Gaseoso Total<br>(Hg) <sup>[2]</sup>                                | 24 horas | 2                | No exceder                                       | Espectrometría de absorción<br>atómica de vapor frío (CVAAS)<br>o<br>Espectrometría de fluorescencia<br>atómica de vapor frío (CVAFS)<br>o<br>Espectrometría de absorción<br>atómica Zeeman.<br>(Métodos automáticos) |
| Monóxido de Carbono (CO)                                                     | 1 hora   | 30000            | NE más de 1 vez al año                           | Infrarrojo no dispersivo (NDIR)<br>(Método automático)                                                                                                                                                                |
|                                                                              | 8 horas  | 10000            | Media aritmética móvil                           |                                                                                                                                                                                                                       |
| Ozono (O <sub>3</sub> )                                                      | 8 horas  | 100              | Máxima media diaria<br>NE más de 24 veces al año | Fotometría de absorción<br>ultravioleta (Método automático)                                                                                                                                                           |
| Plomo (Pb) en PM <sub>10</sub>                                               | Mensual  | 1,5              | NE más de 4 veces al año                         | Método para PM <sub>10</sub><br>(Espectrofotometría de<br>absorción atómica)                                                                                                                                          |
|                                                                              | Anual    | 0,5              | Media aritmética de los valores<br>mensuales     |                                                                                                                                                                                                                       |
| Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)                                      | 24 horas | 150              | Media aritmética                                 | Fluorescencia ultravioleta<br>(Método automático)                                                                                                                                                                     |

Nota: Extraído del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM

Fuente: (MINAM, 2017)

### ANEXO III. Índices de Calidad del Aire

**Figura 20**

*Cálculos de INCA.*

*Cálculo de la calidad del aire para Material particulado*

| <b>Material particulado (PM10) promedio 24 horas</b> |                                                        |                                                    |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Intervalo del INCA</b>                            | <b>Intervalo de concentraciones (µg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Ecuación</b>                                    |
| 0 – 50                                               | 0 – 75                                                 | $I(\text{PM10}) = [\text{PM10}] * \frac{100}{150}$ |
| 51 – 100                                             | 76 – 150                                               |                                                    |
| 101 – 167                                            | 151 – 250                                              |                                                    |
| > 167                                                | > 250                                                  |                                                    |

*Cálculo de la calidad del aire para Dióxido de azufre*

| <b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) promedio 24 horas</b> |                                                        |                                                   |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>Intervalo del INCA</b>                                   | <b>Intervalo de concentraciones (µg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Ecuación</b>                                   |
| 0 – 50                                                      | 0 – 10                                                 | $I(\text{SO}_2) = [\text{SO}_2] * \frac{100}{20}$ |
| 51 – 100                                                    | 11 – 20                                                |                                                   |
| 101 – 625                                                   | 21 – 500                                               |                                                   |
| > 625                                                       | > 500                                                  |                                                   |

*Cálculo de la calidad del aire para Monóxido de carbono*

| <b>Monóxido de carbono (CO) promedio 8 horas</b> |                                                        |                                                  |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Intervalo del INCA</b>                        | <b>Intervalo de concentraciones (µg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Ecuación</b>                                  |
| 0 – 50                                           | 0 – 5049                                               | $I(\text{CO}) = [\text{CO}] * \frac{100}{10000}$ |
| 51 – 100                                         | 5050 – 10049                                           |                                                  |
| 101 – 150                                        | 10050 – 15049                                          |                                                  |
| > 150                                            | > 15050                                                |                                                  |

*Cálculo de la calidad del aire para Sulfuro de hidrógeno*

| <b>Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) promedio 24 horas</b> |                                                        |                                                                  |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Intervalo del INCA</b>                                      | <b>Intervalo de concentraciones (µg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Ecuación</b>                                                  |
| 0 – 50                                                         | 0 – 75                                                 | $I(\text{H}_2\text{S}) = [\text{H}_2\text{S}] * \frac{100}{150}$ |
| 51 – 100                                                       | 76 – 150                                               |                                                                  |
| 101 – 1000                                                     | 151 – 1500                                             |                                                                  |
| > 1000                                                         | > 1500                                                 |                                                                  |

*Cálculo de la calidad del aire para Material particulado*

| <b>Material particulado (PM2.5) promedio 24 horas</b> |                                             |                                        |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Intervalo del INCA</b>                             | <b>Intervalo de concentraciones (µg/m3)</b> | <b>Ecuación</b>                        |
| 0 – 50                                                | 0 – 12.5                                    | $I (PM2.5) = [PM2.5] * \frac{100}{25}$ |
| 51 – 100                                              | 12.6 – 25                                   |                                        |
| 101 – 500                                             | 25.1 – 125                                  |                                        |
| > 500                                                 | > 125                                       |                                        |

*Cálculo de la calidad del aire para Ozono*

| <b>Ozono (O3) promedio 8 horas</b> |                                             |                                    |
|------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Intervalo del INCA</b>          | <b>Intervalo de concentraciones (µg/m3)</b> | <b>Ecuación</b>                    |
| 0 – 50                             | 0 – 60                                      | $I (O3) = C[O3] * \frac{100}{120}$ |
| 51 – 100                           | 61 – 120                                    |                                    |
| 101 – 175                          | 121 – 210                                   |                                    |
| > 175                              | > 210                                       |                                    |

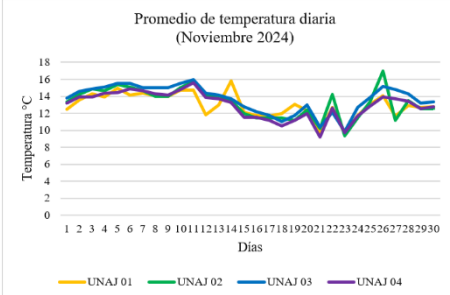
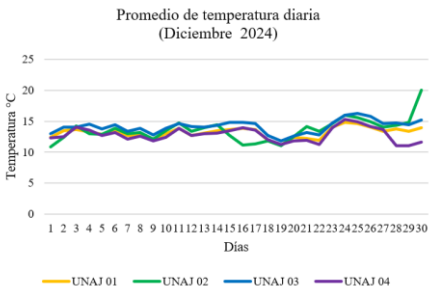
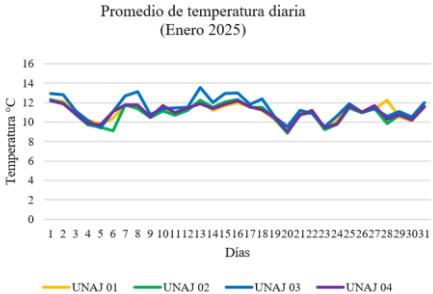
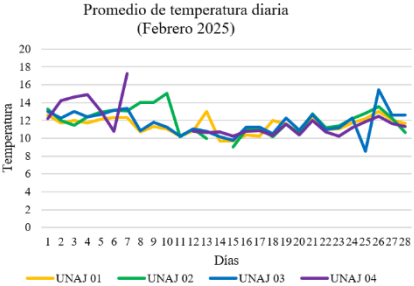
*Cálculo de la calidad del aire para Dióxido de nitrógeno*

| <b>Dióxido de nitrógeno (NO2) promedio 1 horas</b> |                                             |                                     |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Intervalo del INCA</b>                          | <b>Intervalo de concentraciones (µg/m3)</b> | <b>Ecuación</b>                     |
| 0 – 50                                             | 0 – 100                                     | $I (NO2) = [NO2] * \frac{100}{200}$ |
| 51 – 100                                           | 101 – 200                                   |                                     |
| 101 – 150                                          | 201 – 300                                   |                                     |
| > 150                                              | >300                                        |                                     |

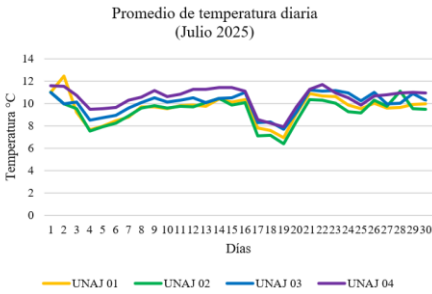
*Nota:* Extraído de la Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM.

Fuente: (MINAM, 2016)

ANEXO IV. Promedios diarios de temperatura por cada punto de monitoreo

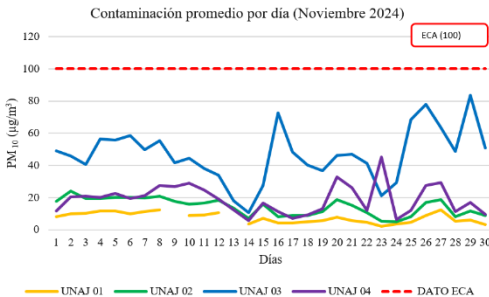
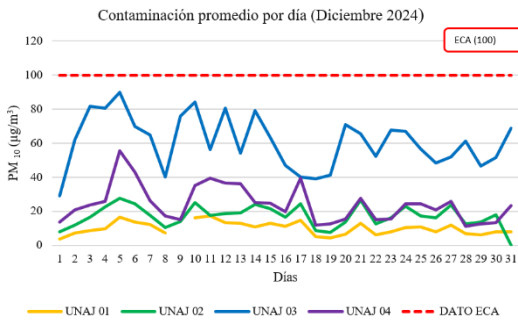
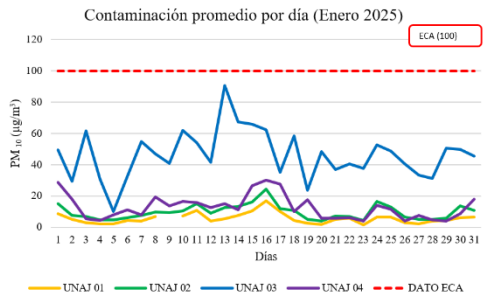
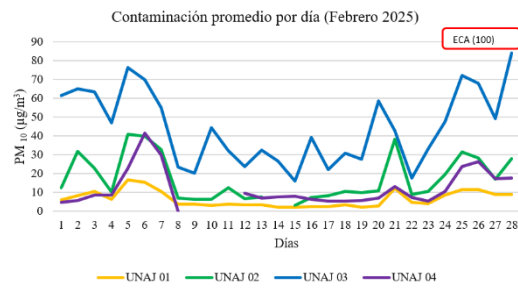
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Promedio de temperatura diaria del mes de noviembre del 2024.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p><i>Promedio de temperatura diaria del mes de diciembre del 2024.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <p>Durante el proceso de monitoreo, de forma paralela, se realizó la medición diaria de la temperatura en los cuatro puntos de monitoreo, por lo que en las siguientes graficas se representan los promedios diarios de temperatura registrados.</p>                                                                                                                                                                                                                 | <p>En la Figura se presenta gráficamente los promedios diarios de temperatura registrado durante el mes de diciembre del 2024, en el que se registra que el día más cálido fue el 25 de diciembre, alcanzándose una temperatura de 16.2°C, y el día más frío fue el 19 de diciembre en el cual se alcanzó una temperatura de 10.9°C, las horas con mayor temperatura corresponden a las horas comprendidas entre las 12:00 y 1:00 pm.</p>                                            |
| <p><i>Promedio de temperatura diaria del mes de enero del 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p><i>Promedio de temperatura diaria del mes de febrero del 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p>En la Figura se presenta gráficamente los promedios diarios de temperatura registrado durante el mes de enero de 2025, en la que el promedio máximo registrado corresponde al día 13 de enero donde la temperatura promedio fue de 13.5 °C, y el promedio mínimo registrado corresponde al día 20 de enero donde se registró una temperatura promedio diario de 8.8°C, las horas con mayor temperatura registradas se encuentran entre las 1:00 pm y 3:00 pm.</p> | <p>En la Figura se presenta gráficamente los promedios diarios de temperatura registrado durante el mes de febrero de 2025, en la que el promedio máximo registrado corresponde al día 07 de febrero, día en el que se alcanzó una temperatura promedio máxima de 17.2°C, y el promedio mínimo registrado corresponde al día 25 de febrero, donde se registró una temperatura promedio diario de 8.2°C, las horas con mayor temperatura se encuentran entre las 12:00 y 2:00 pm.</p> |

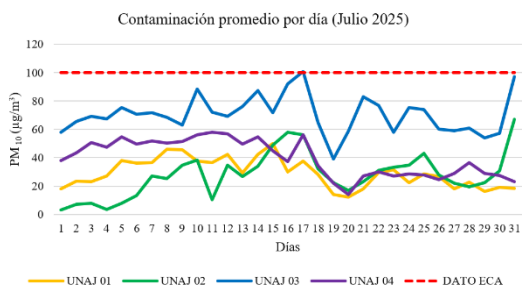
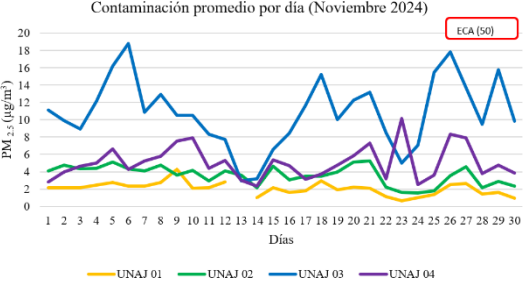
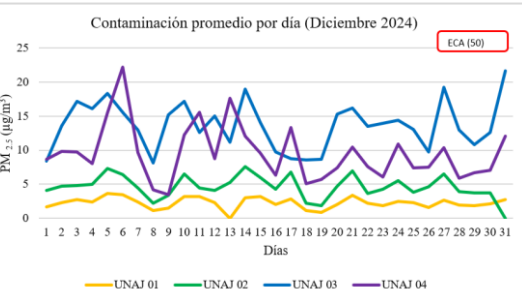
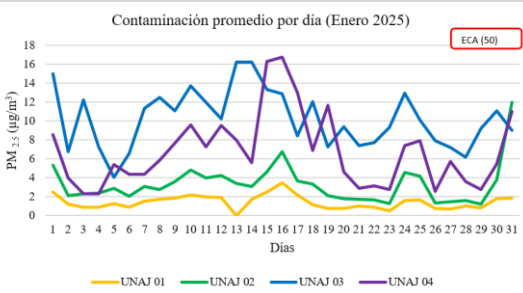
*Promedio de temperatura diaria del mes de  
Julio del 2025.*

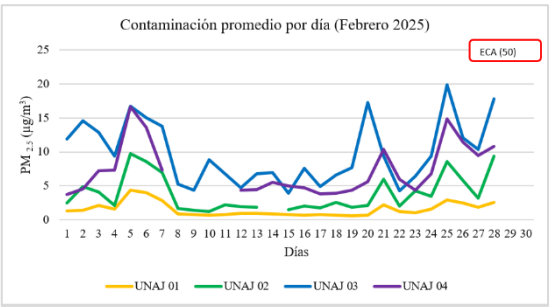
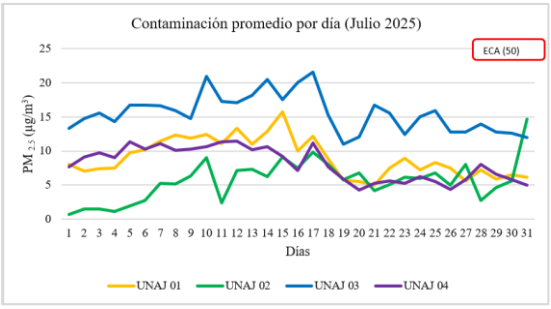
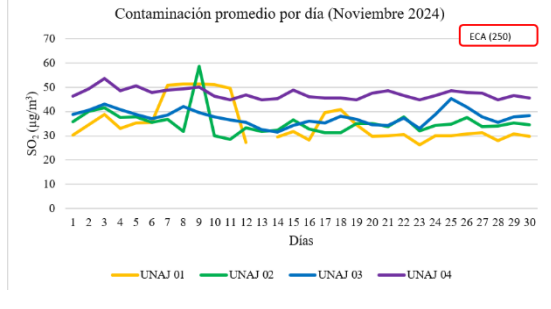
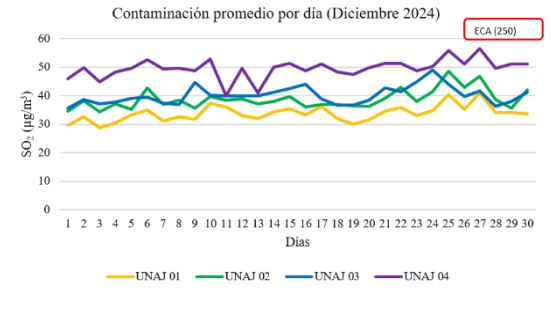


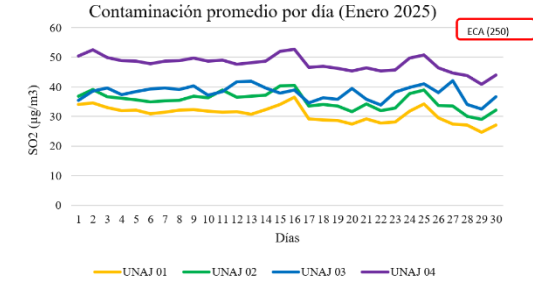
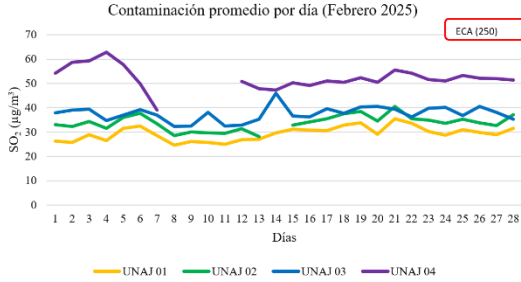
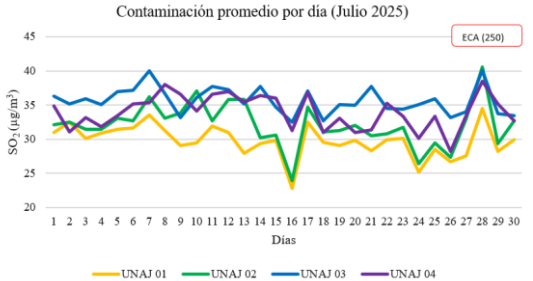
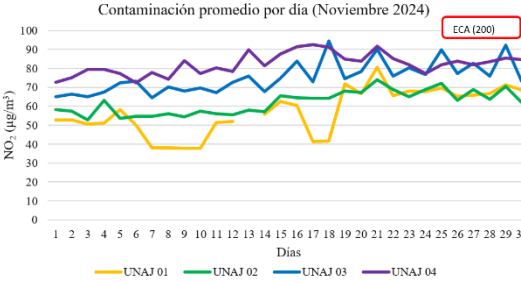
En la Figura se presenta gráficamente los promedios diarios de temperatura registrado durante el mes de febrero de 2025, en la que el promedio máximo registrado corresponde al día 02 de Julio del 2025, día en el que se alcanzó una temperatura promedio máxima de 12.6°C, y el promedio mínimo registrado corresponde al día 17 de julio, donde se registró una temperatura promedio diario de 6.4°C, las horas con mayor temperatura se encuentran entre las 12:00 y 2:00 pm.

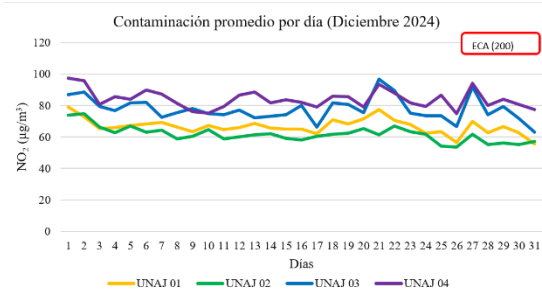
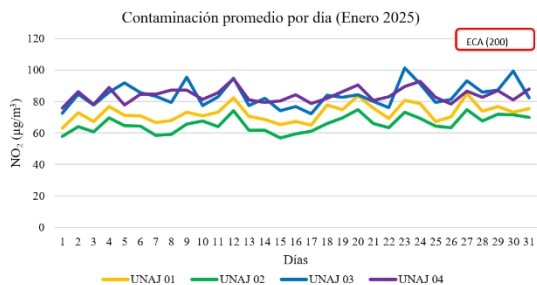
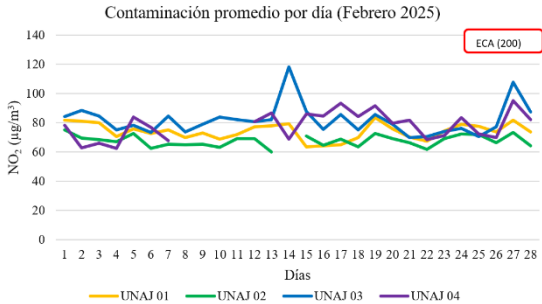
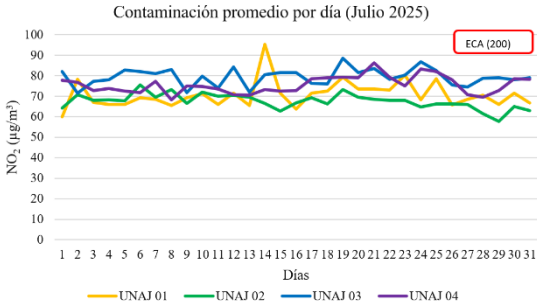
## ANEXO V. Niveles de concentración diarios de $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ , $SO_2$ , $NO_2$ , $CO$ , $O_3$ y $H_2S$ .

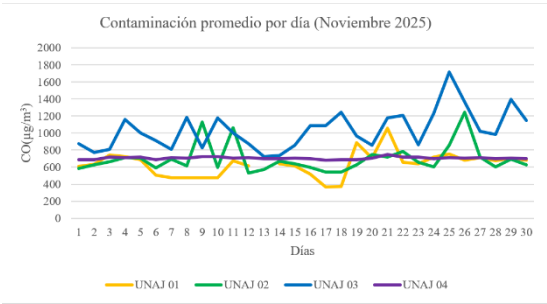
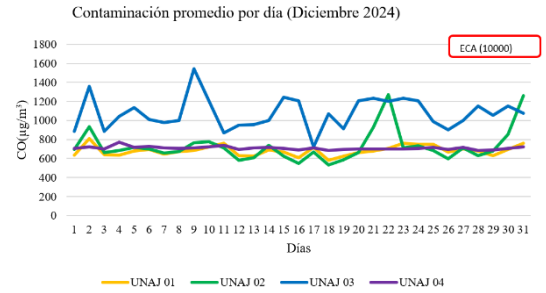
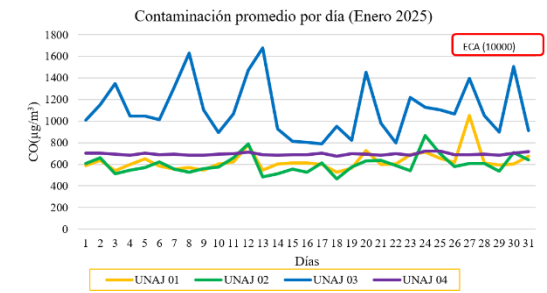
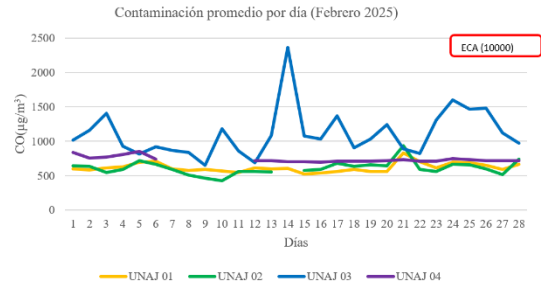
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p style="text-align: center;"><b>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{10}</math>) -mes de noviembre 2024.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p style="text-align: center;"><b>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{10}</math>) -mes de diciembre 2024.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{10}</math>, obtenidos a través del monitoreo realizado durante el mes de noviembre. Se observa que el punto de monitoreo UNAJ 03, ubicado en la Avenida Circunvalación, registra los niveles más altos de concentración de <math>PM_{10}</math> en dicho periodo. El valor promedio diario más elevado se alcanzó el 29 de noviembre, con un registro de <math>83.67 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Durante este día, se identificaron valores de concentración particularmente altos entre las 18:00 y 21:00 horas, con valores que oscilaron entre <math>207.3 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> y <math>287.7 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Asimismo, se registró un valor significativo a las 13:00 horas, con una concentración de <math>119 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</p>                                                                                      | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{10}</math> registrados en los diferentes puntos de monitoreo durante el mes de diciembre de 2024. Se observa que el punto UNAJ 03, ubicado en la Avenida Circunvalación, reportó las concentraciones más altas de <math>PM_{10}</math> en dicho mes. El valor promedio diario más elevado se registró el 5 de diciembre, alcanzando los <math>89.80 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Durante ese día, los picos más altos de concentración se observaron en dos franjas horarias: entre las 19:00 y 21:00 horas, con valores que oscilaron entre <math>101.6 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> y <math>139.8 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>; y entre las 4:00 y 6:00 horas, con registros comprendidos entre <math>136.4 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> y <math>197.2 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</p> |
| <p style="text-align: center;"><b>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{10}</math>) - mes de enero 2025.</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p style="text-align: center;"><b>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{10}</math>) -mes de febrero 2025</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{10}</math> registrados en los puntos de monitoreo evaluados en esta investigación, correspondientes al mes de enero de 2025. Se observa que el punto UNAJ 03, ubicado en la Avenida Circunvalación, registró los valores más altos de <math>PM_{10}</math> durante dicho mes. El valor promedio diario más elevado se reportó el 13 de enero de 2025 en el punto UNAJ 03, con una concentración de <math>90.63 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>. En ese mismo día, se identificaron picos de concentración significativos en dos franjas horarias: entre las 17:00 y 20:00 horas, con valores entre <math>119.4 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> y <math>157.1 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, y durante la mañana, entre las 4:00 y 7:00 horas, con registros que oscilaron entre <math>120.2 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> y <math>174.3 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</p> | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{10}</math> registrados en los puntos de monitoreo considerados en esta investigación, correspondientes al mes de febrero de 2025. Se destaca que el punto UNAJ 03, ubicado en la Avenida Circunvalación, presentó las concentraciones más elevadas de <math>PM_{10}</math> durante dicho periodo. El valor promedio diario más alto se registró el 28 de febrero de 2025 en el punto UNAJ 03, alcanzando una concentración de <math>84.06 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Ese mismo día se identificaron picos significativos en la franja horaria comprendida entre las 5:00 y 6:00 horas, con valores que oscilaron entre <math>128.09 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> y <math>211.82 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</p>                                                                          |

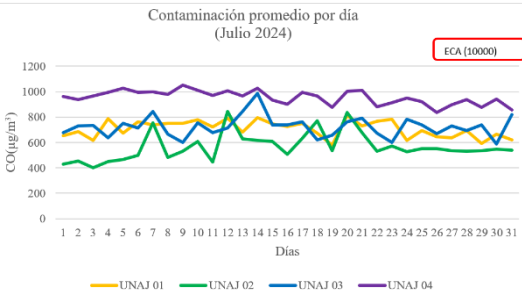
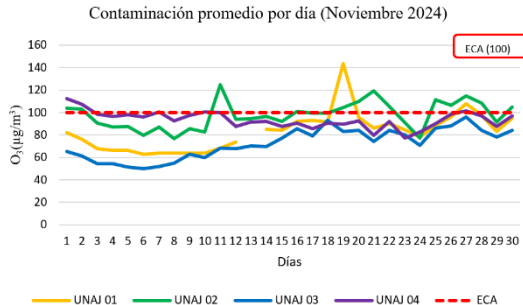
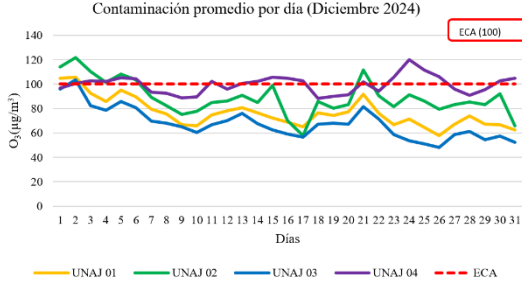
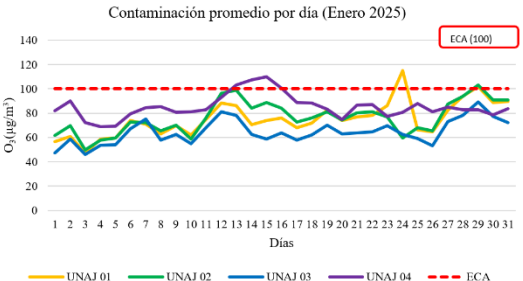
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{10}</math>)-mes de julio 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><i>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{2.5}</math>) -mes de noviembre 2024.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{10}</math> registrados en los puntos de monitoreo considerados en esta investigación, correspondientes al mes de julio de 2025. Se destaca que el punto UNAJ 03, ubicado en la Avenida Circunvalación, registró las concentraciones más elevadas de <math>PM_{10}</math> durante dicho periodo, superando los estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos. El valor promedio diario más alto se reportó el 17 de julio de 2025 en el punto UNAJ 03, con una concentración de <math>100.64 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>. En ese mismo día, se identificaron picos de concentración significativos entre las 6:00 y 10:00 horas, con valores que oscilaron entre <math>124.51 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> y <math>202.53 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>.</p>  | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{2.5}</math> de los cuatro puntos de monitoreo, data obtenida durante el mes de noviembre de 2025 en la que se aprecia que en el punto UNAJ 03 (Avenida Circunvalación) se registra los mayores valores de material particulado <math>PM_{2.5}</math> durante el mes de noviembre, habiéndose registrado como dato más alto promedio diario <math>18.80 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> de material particulado el día 06 de noviembre de 2024 en el punto UNAJ 03, así mismo durante el mes de noviembre se visualiza que se ha sobrepasado los estándares de calidad ambiental para aire, registraron datos mayores a los establecidos por el ECA el 05 de noviembre <math>16.19 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, el 18 de noviembre <math>15.20 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, el 25 de noviembre <math>15.44 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, el 26 de noviembre <math>17.80 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, el 29 de noviembre <math>15.77 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> respectivamente.</p> |
| <p><i>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{2.5}</math>) - mes de diciembre 2024</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><i>Concentraciones de Material Particulado (<math>PM_{2.5}</math>) - mes de enero 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{2.5}</math> correspondiente a los cuatro puntos de monitoreo, data obtenida durante el mes de diciembre de 2024 en la que se aprecia que en el punto UNAJ 04 (Salida Arequipa) se registra los mayores valores de material particulado <math>PM_{2.5}</math> durante el mes de diciembre, habiéndose registrado como dato más alto promedio diario <math>22.27 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> de material particulado el día 06 de diciembre de 2024 en el punto UNAJ 04, por otro lado, en el punto UNAJ 03 se tiene como registro mas alto el dato obtenido el 31 de diciembre con <math>21.66 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, así mismo, se apreció que en varios días del mes de diciembre se ha sobrepasado los estándares de Calidad Ambiental (ECA - Aire).</p> | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado <math>PM_{2.5}</math> correspondiente a los cuatro puntos de monitoreo, data obtenida durante el mes de enero de 2025 , en la que se aprecia que en el punto UNAJ 04 (Salida Arequipa) se registra los mayores valores de material particulado <math>PM_{2.5}</math> habiéndose registrado como dato más alto promedio diario <math>16.76 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> de material particulado el día 16 de enero en el punto UNAJ 04, por otro lado, en el punto UNAJ 03 se tiene como registro mas alto el dato obtenido el 14 de enero con <math>16.23 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>, así mismo, se apreció que en varios días del mes de diciembre se ha sobrepasado los estándares de Calidad Ambiental (ECA - Aire).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                      |

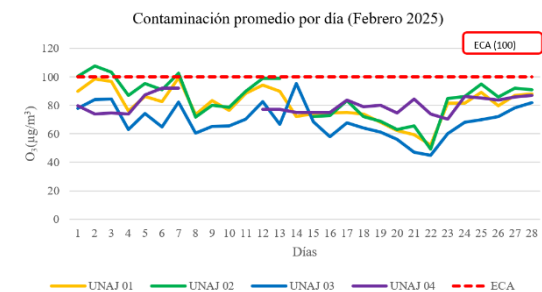
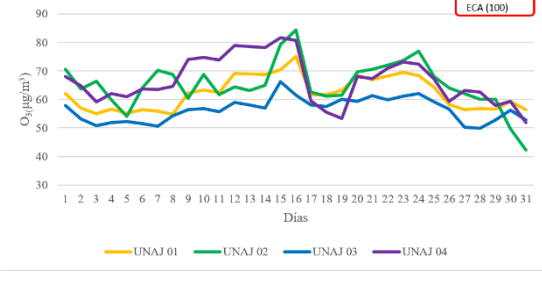
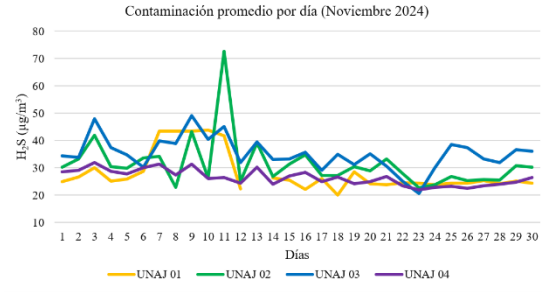
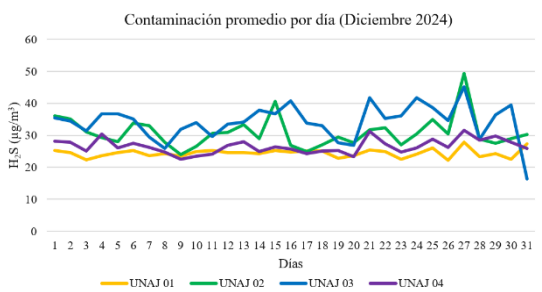
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de Material Particulado (PM<sub>2.5</sub>) - mes de febrero 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><i>Concentraciones de Material Particulado (PM<sub>2.5</sub>) - mes de julio 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado PM<sub>2.5</sub> registrados en los cuatro puntos de monitoreo durante el mes de febrero de 2025. Se observa que, en general, los promedios diarios no superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA). Sin embargo, el punto UNAJ 03 muestra las concentraciones más elevadas, registrando un promedio diario máximo de 19.83 µg/m<sup>3</sup> el día 25 de febrero. Ese mismo día, las mediciones más altas se reportaron entre las 5:00 a.m. y 6:00 a.m., alcanzando picos de 119.32 µg/m<sup>3</sup> y 128.62 µg/m<sup>3</sup>.</p> | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al material particulado PM<sub>2.5</sub> monitoreados durante el mes de julio de 2025. Se observa que, en ninguno de los puntos evaluados, se supera el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para calidad del aire. El punto de monitoreo UNAJ 03 registra las concentraciones más altas de PM<sub>2.5</sub>, mientras que UNAJ 02 presenta los valores más bajos. En UNAJ 03, el pico más elevado se registra el día 17 de julio, destacando un incremento entre las 7:00 a.m. y 9:00 a.m., cuando los valores oscilaron entre 38.81 µg/m<sup>3</sup> y 53.01 µg/m<sup>3</sup>.</p> |
| <p><i>Concentraciones de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) - mes de noviembre 2024.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p><i>Concentraciones de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) – mes de diciembre 2024.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>En la figura se muestra los registros del contaminante atmosférico SO<sub>2</sub> obtenidas en las estaciones de monitoreo durante el mes de noviembre de 2024. Se observa que, a lo largo de todo el periodo, ninguna de las estaciones superó el valor límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA – Aire) para este contaminante. No obstante, la estación UNAJ 02 reportó la concentración más alta del mes, con un valor de 58.75 µg/m<sup>3</sup> registrado el día 09 de noviembre.</p>                                                                                                                                                      | <p>En la figura se muestra los registros del contaminante atmosférico SO<sub>2</sub> obtenidas en las estaciones de monitoreo durante el mes de diciembre de 2024. Se observa que, a lo largo de todo el periodo, ninguna de las estaciones superó el valor límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) para este contaminante. No obstante, la estación UNAJ 04 reportó la concentración más alta del mes, con un valor de 56.45 µg/m<sup>3</sup> registrado el día 26 de diciembre.</p>                                                                                                                                                                           |

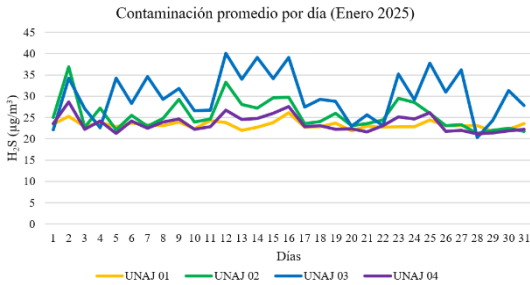
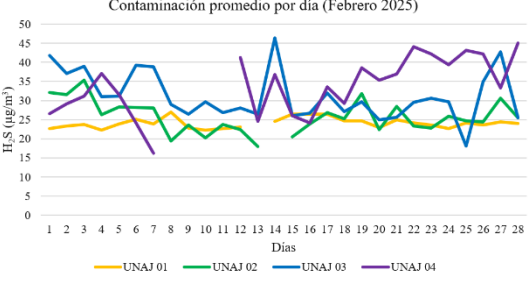
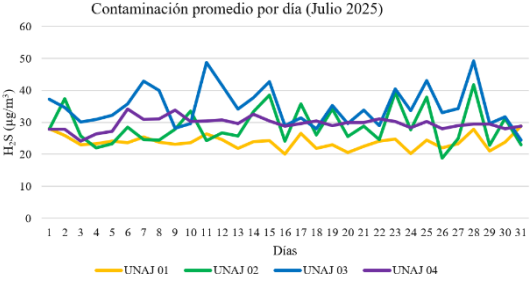
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) – mes de enero 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p><i>Concentraciones de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) – mes de febrero 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>La figura se visualiza las concentraciones diarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) obtenidas en las estaciones de monitoreo durante enero de 2025. A lo largo del periodo analizado, ninguna estación sobrepasó el valor límite establecido por el ECA - Aire para este contaminante. No obstante, la estación UNAJ 02 presentó la mayor concentración del mes, alcanzando 52.66 µg/m<sup>3</sup> el día 26 de diciembre.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>En la figura se muestra los registros del contaminante atmosférico SO<sub>2</sub> monitoreado durante el mes de enero del 2025, en el que de acuerdo a los datos registrados se tiene al punto UNAJ 04 como el punto donde se registraron los mayores promedios diarios de SO<sub>2</sub>, el día 04 de febrero se registra el pico más alto con 62.89 µg/m<sup>3</sup>, en el que se observa un incremento a partir del avance de las horas, observándose como el valor más bajo a las 4:00 am e incrementando el valor hasta su pico más alto registrado a las 19:00 horas.</p>                                                                                                                                                                                         |
| <p><i>Concentraciones de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) – mes de julio 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p><i>Concentraciones de Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) – mes de noviembre 2024</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>En la figura se muestra los registros del contaminante atmosférico SO<sub>2</sub>, en el que los datos hallados se mantienen por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) establecido para este contaminante. Sin embargo, se evidencian variaciones significativas entre las estaciones de monitoreo, lo que sugiere una influencia localizada de fuentes emisoras. Los valores máximos registrados por estación fueron los siguientes: UNAJ 01 con 34.52 µg/m<sup>3</sup>, UNAJ 02 con 40.56 µg/m<sup>3</sup>, UNAJ 03 con 40.10 µg/m<sup>3</sup> y UNAJ 04 con 38.50 µg/m<sup>3</sup>. Se destaca el comportamiento de UNAJ 02, donde se registraron los picos más elevados durante el intervalo horario de 16:00 a 20:00 horas, alcanzando concentraciones que oscilaron entre 65.83 µg/m<sup>3</sup> y 66.06 µg/m<sup>3</sup>.</p> | <p>En la figura se muestran los valores de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) consignadas por la red de estaciones de monitoreo durante el mes de noviembre de 2024. Los datos indican que ninguna de las estaciones excedió los umbrales normativos fijados por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) para este contaminante. No obstante, se resalta que la estación UNAJ 03 presentó el valor más elevado del mes, con una concentración de 94.49 µg/m<sup>3</sup>, registrada el día 18. Este pico horario podría estar asociado a un incremento en la actividad vehicular o a condiciones meteorológicas desfavorables para la dispersión de contaminantes, factores típicamente relacionados con episodios elevados de NO<sub>2</sub> en zonas urbanas.</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) – mes de diciembre 2024.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p><i>Concentraciones de Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) – mes de enero 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>La figura proporciona una visualización de los datos relativos a dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) recolectado a través de la red de estaciones de monitoreo durante el mes de diciembre de 2024. Los datos indican que ninguna de las estaciones superó los valores regulados por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) para este contaminante. No obstante, se resalta que la estación UNAJ 04 presentó el valor más elevado del mes, con una concentración de 97.28 µg/m<sup>3</sup>, registrada el día 01, valor registrado a las 17 horas del día.</p>       | <p>En la figura se presentan la data obtenida durante el mes de enero de 2025 de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Los datos indican que ninguna de las estaciones superó los valores límite establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA – Aire) para este contaminante. No obstante, se resalta que la estación UNAJ 03 presentó el valor más elevado del mes, con una concentración de 101.37 µg/m<sup>3</sup>, registrada el día 23 de enero a las 20:00 horas.</p>      |
| <p><i>Concentraciones de Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) – mes de febrero 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p><i>Concentraciones de Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) – mes de julio 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>En la figura se representan los niveles de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) obtenidas de las estaciones de monitoreo a lo largo del mes de febrero de 2025. La información recopilada señala que los niveles medidos en todas las estaciones permanecieron por debajo de los límites definidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) para este contaminante. No obstante, se resalta que la estación UNAJ 03 presentó el valor más elevado del mes, con una concentración de 118.50 µg/m<sup>3</sup>, registrada el día 14 de febrero a las 17:00 horas.</p> | <p>En la figura se presentan los valores de concentración del contaminante dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) registrados en las estaciones de monitoreo durante el periodo evaluado. Se observa que ninguno de los puntos de medición supera los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) para este parámetro. Cabe destacar que la estación UNAJ 01 registró la concentración máxima entre todos los puntos, con un valor de 95.22 µg/m<sup>3</sup>.</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de monóxido de carbono (CO) – mes de noviembre 2024</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><i>Concentraciones de Monóxido de carbono (CO) – mes de diciembre 2024</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  <p>Contaminación promedio por día (Noviembre 2025)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  <p>Contaminación promedio por día (Diciembre 2024)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro monóxido de carbono (CO). Se observa que las concentraciones registradas se mantienen muy por debajo de los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA - Aire), lo que indica una baja presencia de este gas en la atmósfera durante el periodo evaluado. No obstante, se identifican ligeras variaciones entre los puntos de monitoreo, destacando la estación UNAJ 03, donde se registró la concentración máxima de 1717.70 µg/m³ el 25 de noviembre a las 22:00 horas.</p>                         | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro monóxido de carbono (CO). Se observa que las concentraciones registradas se mantienen muy por debajo de los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire), lo que indica una baja presencia de este gas en la atmósfera durante el periodo evaluado. No obstante, se identifican ligeras variaciones entre los puntos de monitoreo, destacando la estación UNAJ 03, donde se registró la concentración máxima de 1542.08 µg/m³ el 09 de diciembre a las 21:00 horas.</p>                                                  |
| <p><i>Concentración de Monóxido de carbono (CO) – mes de enero 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p><i>Concentraciones de Monóxido de carbono (CO) – mes de febrero 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|  <p>Contaminación promedio por día (Enero 2025)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  <p>Contaminación promedio por día (Febrero 2025)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro monóxido de carbono (CO). Se observa que las concentraciones registradas se mantienen muy por debajo de los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire), lo que indica una baja presencia de este gas en la atmósfera durante el periodo evaluado. No obstante, se identifican ligeras variaciones entre los puntos de monitoreo, destacando la estación UNAJ 03, donde se registró la concentración máxima de 1673.10 µg/m³ el 13 de enero en la media aritmética móvil de las 10:00 horas.</p> | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro monóxido de carbono (CO). Se observa que las concentraciones registradas se mantienen muy por debajo de los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire), lo que indica una baja presencia de este gas en la atmósfera durante el periodo evaluado. No obstante, se identifican ligeras variaciones entre los puntos de monitoreo, destacando la estación UNAJ 03, donde se registró la concentración máxima de 2363.46 µg/m³ el 14 de febrero, dato que corresponde a la media aritmética móvil de las 21:00 horas.</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de Monóxido de carbono (CO) – mes de julio 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p><i>Concentraciones de ozono (O<sub>3</sub>) – mes de noviembre 2024.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>En la figura se representa gráficamente las concentraciones de monóxido de carbono (CO) captadas en las estaciones de monitoreo durante el periodo estudiado (Julio del 2025). Los datos reflejan que todos los valores permanecieron dentro de los umbrales máximos definidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) para este contaminante. Asimismo, se observa que los niveles registrados se mantienen en rangos bajos, sin evidenciar episodios críticos ni concentraciones que representen riesgo significativo para la salud en el corto plazo. Este comportamiento sugiere una baja influencia de fuentes emisoras relevantes de CO.</p>                                                            | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro ozono (O<sub>3</sub>). Se observa que, en varios casos, las concentraciones registradas superan los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire), evidenciando episodios de incremento significativo de este contaminante. El valor más alto del periodo se registró en las estaciones UNAJ 01 y UNAJ 02 el 11 de noviembre de 2025, alcanzando una concentración de 124.79 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo UNAJ 01.</p>                                                                                                                                        |
| <p><i>Concentraciones de ozono (O<sub>3</sub>) – mes de diciembre 2024</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p><i>Concentraciones de ozono (O<sub>3</sub>) – mes de enero 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro ozono (O<sub>3</sub>). Se observa que, en la mayoría de los casos, las concentraciones registradas superan los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire), evidenciando episodios de incremento significativo de este contaminante. El valor más alto del periodo se registró en las estaciones UNAJ 01 y UNAJ 02. El 02 de diciembre de 2025 se registró una concentración de 121.72 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo UNAJ 02, así mismo se observa que en varios días los datos se sobrepasó el Estándar de calidad del Aire para este parámetro.</p> | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro ozono (O<sub>3</sub>) evaluado durante el mes de enero de 2025. Se observa que, en varios casos, las concentraciones registradas superan los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire) tanto en los puntos de monitoreo UNAJ 01, UNAJ 02 y UNAJ 04, evidenciando episodios de incremento significativo de este contaminante. El valor más alto del periodo se registró en las estaciones UNAJ 01 el 24 de enero de 2025, alcanzando una concentración de 115.03 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo UNAJ 01, en la media aritmética móvil de las 7:00 horas.</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de ozono (O<sub>3</sub>) – mes de febrero 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><i>Concentraciones de ozono (O<sub>3</sub>) – mes de julio 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro ozono (O<sub>3</sub>). Se observa que, en varios casos, las concentraciones registradas superan los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire), evidenciando episodios de incremento significativo de este contaminante. El valor más alto del periodo se registró en las estaciones UNAJ 02 el 02 de febrero de 2025, alcanzando una concentración de 107.74 µg/m<sup>3</sup>, dato que corresponde a la media aritmética de las 21:00 horas.</p> | <p>En la figura se detallan los hallazgos recopilados del monitoreo de calidad del aire correspondientes al parámetro ozono (O<sub>3</sub>). Se observa que, si bien ninguna de las concentraciones supera los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA-Aire), se registran niveles relativamente elevados en determinados días y estaciones. El valor máximo fue registrado en la estación UNAJ 02 el día 16 de julio, con una concentración de 84.32 µg/m<sup>3</sup>, lo cual, aunque dentro del rango permitido, representa un nivel significativo de ozono.</p> |
| <p><i>Concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) – mes de noviembre 2024</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><i>Concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) – mes de diciembre 2024</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>En la figura se presentan los valores de concentración de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) registrados en las estaciones de monitoreo durante el mes de noviembre del 2024. Se observa que ninguna de las mediciones supera el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire) establecido para este contaminante, cuyo valor de referencia es de 150 µg/m<sup>3</sup>. Además, los niveles registrados se mantienen muy por debajo del umbral normativo, lo que indica una baja presencia de fuentes emisoras significativas de H<sub>2</sub>S durante el periodo evaluado.</p>                          | <p>En la figura se muestran las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) obtenidas en las estaciones de monitoreo correspondientes al mes de diciembre de 2024. Los resultados evidencian que ninguna de las mediciones supera el valor límite establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA - Aire), fijado en 150 µg/m<sup>3</sup> para este contaminante. Las concentraciones reportadas se mantienen considerablemente por debajo de dicho umbral, lo que sugiere una escasa emisión de compuestos sulfurosos en la zona durante el periodo analizado.</p>     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) – mes de enero 2025</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><i>Concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) – mes de febrero 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>Durante diciembre de 2024, las estaciones de monitoreo registraron niveles de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) que no exceden el valor referencial del ECA-Aire (150 µg/m<sup>3</sup>). En general, las concentraciones observadas son bajas y se mantienen muy por debajo del límite normativo, lo que indica que las fuentes emisoras de este contaminante tuvieron una influencia mínima o nula en la calidad del aire durante el mes evaluado.</p>                                                                                                       | <p>Las mediciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) realizadas en diciembre de 2024 muestran valores inferiores al límite establecido por el ECA-Aire (150 µg/m<sup>3</sup>). La baja concentración registrada en todas las estaciones refleja una reducida presencia de emisiones de H<sub>2</sub>S en el área de estudio durante dicho periodo.</p> |
| <p><i>Concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) – mes de julio 2025.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p>En la figura se presentan los valores de concentración de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) registrados en las estaciones de monitoreo durante el mes de julio. Se observa que ninguna de las mediciones supera el Estándar de Calidad Ambiental (ECA-Aire) establecido para este contaminante, cuyo valor de referencia es de 150 µg/m<sup>3</sup>. Además, los niveles registrados se mantienen muy por debajo del umbral normativo, lo que indica una baja presencia de fuentes emisoras significativas de H<sub>2</sub>S durante el periodo evaluado.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

**ANEXO VI.** *Valores máximos registrados durante el monitoreo de calidad de aire.*

**Tabla 1**

Matriz mensual de material particulado PM<sub>10</sub> en estaciones de monitoreo

| Mes                 | Estación | Parámetros evaluados                  |                              |                            |
|---------------------|----------|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                     |          | PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) |                              |                            |
|                     |          | Máx.<br>(µg/m <sup>3</sup> )          | Min.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Prom. (µg/m <sup>3</sup> ) |
| Noviembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 12.44                                 | 02.03                        | 07.46                      |
|                     | UNAJ 02  | 23.91                                 | 04.86                        | 14.36                      |
|                     | UNAJ 03  | 83.67                                 | 10.67                        | 46.70                      |
|                     | UNAJ 04  | 45.02                                 | 05.73                        | 18.93                      |
| Diciembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 17.32                                 | 03.49                        | 09.69                      |
|                     | UNAJ 02  | 39.80                                 | 07.41                        | 18.30                      |
|                     | UNAJ 03  | 89.80                                 | 28.98                        | 60.83                      |
|                     | UNAJ 04  | 55.46                                 | 11.32                        | 25.08                      |
| Enero<br>(2025)     | UNAJ 01  | 16.72                                 | 01.46                        | 05.41                      |
|                     | UNAJ 02  | 24.23                                 | 04.06                        | 09.63                      |
|                     | UNAJ 03  | 90.63                                 | 10.24                        | 46.21                      |
|                     | UNAJ 04  | 30.21                                 | 03.83                        | 12.67                      |
| Febrero<br>(2025)   | UNAJ 01  | 16.54                                 | 02.06                        | 06.79                      |
|                     | UNAJ 02  | 40.90                                 | 03.14                        | 17.40                      |
|                     | UNAJ 03  | 84.06                                 | 15.89                        | 44.67                      |

|        |         |        |       |       |
|--------|---------|--------|-------|-------|
|        | UNAJ 04 | 41.53  | 04.71 | 12.70 |
|        | UNAJ 01 | 49.95  | 12.30 | 29.18 |
| Julio  | UNAJ 02 | 84.25  | 03.31 | 28.39 |
| (2025) | UNAJ 03 | 162.56 | 39.16 | 72.54 |
|        | UNAJ 04 | 57.83  | 14.11 | 39.69 |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2**

Matriz mensual de material particulado PM<sub>2.5</sub> en estaciones de monitoreo

| Mes       | Estación | Parámetros evaluados      |              |               |
|-----------|----------|---------------------------|--------------|---------------|
|           |          | PM <sub>2.5</sub> (µg/m³) |              |               |
|           |          | Máx. (µg/m³)              | Min. (µg/m³) | Prom. (µg/m³) |
|           | UNAJ 01  | 4.30                      | 0.65         | 2.05          |
| Noviembre | UNAJ 02  | 5.25                      | 1.56         | 3.60          |
| (2024)    | UNAJ 03  | 18.80                     | 2.49         | 10.80         |
|           | UNAJ 04  | 10.13                     | 2.34         | 5.05          |
|           | UNAJ 01  | 3.67                      | 0.88         | 2.27          |
| Diciembre | UNAJ 02  | 13.55                     | 1.86         | 5.05          |
| (2024)    | UNAJ 03  | 21.66                     | 8.11         | 13.66         |
|           | UNAJ 04  | 22.24                     | 3.49         | 9.90          |
|           | UNAJ 01  | 3.47                      | 0.47         | 1.47          |
| Enero     | UNAJ 02  | 6.78                      | 1.23         | 3.04          |
| (2025)    | UNAJ 03  | 16.23                     | 4.03         | 10.22         |
|           | UNAJ 04  | 16.76                     | 2.29         | 6.86          |
|           | UNAJ 01  | 4.37                      | 0.57         | 1.62          |
| Febrero   | UNAJ 02  | 9.76                      | 1.27         | 3.84          |
| (2025)    | UNAJ 03  | 19.83                     | 3.94         | 9.84          |
|           | UNAJ 04  | 16.66                     | 3.75         | 7.36          |
|           | UNAJ 01  | 15.77                     | 4.99         | 9.04          |

|                 |         |       |       |       |
|-----------------|---------|-------|-------|-------|
| Julio<br>(2025) | UNAJ 02 | 14.63 | 0.72  | 5.62  |
|                 | UNAJ 03 | 21.56 | 11.00 | 15.57 |
|                 | UNAJ 04 | 11.48 | 4.30  | 8.12  |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3**

Matriz mensual de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

| Mes                 | Estación | Parámetro evaluado                   |                           |                               |
|---------------------|----------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|                     |          | SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) |                           |                               |
|                     |          | Máx.<br>(µg/m <sup>3</sup> )         | Min. (µg/m <sup>3</sup> ) | Prom.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
| Noviembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 51.40                                | 26.17                     | 35.19                         |
|                     | UNAJ 02  | 58.75                                | 28.62                     | 35.41                         |
|                     | UNAJ 03  | 45.42                                | 31.65                     | 37.62                         |
|                     | UNAJ 04  | 53.75                                | 44.75                     | 47.33                         |
| Diciembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 41.04                                | 28.79                     | 33.78                         |
|                     | UNAJ 02  | 48.50                                | 34.40                     | 38.77                         |
|                     | UNAJ 03  | 49.01                                | 35.73                     | 40.15                         |
|                     | UNAJ 04  | 56.45                                | 40.00                     | 49.52                         |
| Enero<br>(2025)     | UNAJ 01  | 36.54                                | 24.69                     | 31.71                         |
|                     | UNAJ 02  | 40.54                                | 29.09                     | 35.27                         |
|                     | UNAJ 03  | 42.01                                | 32.57                     | 37.98                         |
|                     | UNAJ 04  | 52.66                                | 40.82                     | 47.80                         |
| Febrero<br>(2025)   | UNAJ 01  | 35.49                                | 24.54                     | 30.46                         |
|                     | UNAJ 02  | 40.54                                | 28.24                     | 33.79                         |
|                     | UNAJ 03  | 46.00                                | 32.33                     | 37.54                         |
|                     | UNAJ 04  | 62.90                                | 39.09                     | 52.18                         |
| Julio<br>(2025)     | UNAJ 01  | 34.52                                | 22.77                     | 28.83                         |
|                     | UNAJ 02  | 40.53                                | 23.90                     | 31.07                         |
|                     | UNAJ 03  | 40.10                                | 32.53                     | 34.51                         |
|                     | UNAJ 04  | 38.50                                | 28.21                     | 32.90                         |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4**  
Matriz mensual de Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

| Mes                 | Estación | Parámetro evaluado                   |                              |                               |
|---------------------|----------|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                     |          | NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) |                              |                               |
|                     |          | Máx.<br>(µg/m <sup>3</sup> )         | Min.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Prom.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
| Noviembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 80.53                                | 37.90                        | 53.25                         |
|                     | UNAJ 02  | 74.07                                | 52.72                        | 61.98                         |
|                     | UNAJ 03  | 94.49                                | 64.59                        | 75.29                         |
|                     | UNAJ 04  | 92.51                                | 72.31                        | 82.27                         |
| Diciembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 78.91                                | 55.34                        | 66.66                         |
|                     | UNAJ 02  | 74.65                                | 53.69                        | 61.63                         |
|                     | UNAJ 03  | 96.76                                | 63.01                        | 77.59                         |
|                     | UNAJ 04  | 97.28                                | 74.65                        | 83.98                         |
| Enero<br>(2025)     | UNAJ 01  | 84.99                                | 62.97                        | 72.71                         |
|                     | UNAJ 02  | 74.77                                | 56.67                        | 65.63                         |
|                     | UNAJ 03  | 101.37                               | 72.17                        | 83.91                         |
|                     | UNAJ 04  | 94.23                                | 75.74                        | 84.05                         |
| Febrero<br>(2025)   | UNAJ 01  | 83.53                                | 63.8                         | 76.98                         |
|                     | UNAJ 02  | 75.14                                | 60.2                         | 67.79                         |
|                     | UNAJ 03  | 118.5                                | 70.04                        | 81.93                         |
|                     | UNAJ 04  | 95.29                                | 62.48                        | 78.39                         |
| Julio<br>(2025)     | UNAJ 01  | 95.22                                | 60                           | 70.81                         |
|                     | UNAJ 02  | 75.49                                | 57.67                        | 67.62                         |
|                     | UNAJ 03  | 88.69                                | 71.43                        | 79.44                         |
|                     | UNAJ 04  | 86.23                                | 68.32                        | 75.62                         |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5**  
Matriz mensual de Monóxido de carbono (CO)

| Mes                 | Estación | Parámetro evaluado           |                           |                            |
|---------------------|----------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                     |          | CO (mg/m <sup>3</sup> )      |                           |                            |
|                     |          | Máx.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Min. (µg/m <sup>3</sup> ) | Prom. (µg/m <sup>3</sup> ) |
| Noviembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 1056.11                      | 368.53                    | 637.06                     |
|                     | UNAJ 02  | 1245.47                      | 528.07                    | 697.99                     |
|                     | UNAJ 03  | 1717.61                      | 721.34                    | 1034.95                    |
|                     | UNAJ 04  | 745.14                       | 683.83                    | 705.34                     |
| Diciembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 810.99                       | 582.43                    | 682.49                     |
|                     | UNAJ 02  | 1273.3                       | 532.36                    | 728.06                     |
|                     | UNAJ 03  | 1542.08                      | 721.44                    | 1076.69                    |
|                     | UNAJ 04  | 771.76                       | 684.29                    | 708.62                     |
| Enero<br>(2025)     | UNAJ 01  | 1051.95                      | 524.23                    | 627.45                     |
|                     | UNAJ 02  | 863.25                       | 466.60                    | 598.12                     |
|                     | UNAJ 03  | 1676.10                      | 789.68                    | 1108.82                    |
|                     | UNAJ 04  | 722.08                       | 674.7                     | 694.23                     |
| Febrero<br>(2025)   | UNAJ 01  | 826.21                       | 520.3                     | 615.29                     |
|                     | UNAJ 02  | 935.45                       | 421.47                    | 609.74                     |
|                     | UNAJ 03  | 2363.46                      | 650.29                    | 1108.99                    |
|                     | UNAJ 04  | 852.68                       | 691.62                    | 735.48                     |
| Julio<br>(2025)     | UNAJ 01  | 811.99                       | 579.93                    | 707.03                     |
|                     | UNAJ 02  | 843.89                       | 402.95                    | 567.83                     |
|                     | UNAJ 03  | 986.64                       | 587.93                    | 723.38                     |
|                     | UNAJ 04  | 1049.88                      | 837.06                    | 953.7                      |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6**

*Matriz mensual de Ozono (O<sub>3</sub>)*

| Mes | Estación | Parámetro evaluado                  |                              |                            |
|-----|----------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|     |          | O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) |                              |                            |
|     |          | Máx. (µg/m <sup>3</sup> )           | Min.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Prom. (µg/m <sup>3</sup> ) |

|                     |         |        |       |       |
|---------------------|---------|--------|-------|-------|
| Noviembre<br>(2024) | UNAJ 01 | 143.33 | 62.94 | 83.08 |
|                     | UNAJ 02 | 124.79 | 76.57 | 97.65 |
|                     | UNAJ 03 | 96.03  | 49.76 | 72.35 |
|                     | UNAJ 04 | 112.27 | 77.27 | 93.71 |
| Diciembre<br>(2024) | UNAJ 01 | 105.55 | 57.95 | 76.5  |
|                     | UNAJ 02 | 121.77 | 57.98 | 88.93 |
|                     | UNAJ 03 | 103.46 | 48.17 | 67.72 |
|                     | UNAJ 04 | 120.07 | 88.11 | 99.67 |
| Enero<br>(2025)     | UNAJ 01 | 115.03 | 47.16 | 75.21 |
|                     | UNAJ 02 | 103.13 | 49.91 | 76.36 |
|                     | UNAJ 03 | 89.05  | 45.80 | 64.69 |
|                     | UNAJ 04 | 110.04 | 68.98 | 85.11 |
| Febrero<br>(2025)   | UNAJ 01 | 99.38  | 52.10 | 80.5  |
|                     | UNAJ 02 | 107.74 | 49.13 | 84.7  |
|                     | UNAJ 03 | 95.28  | 44.78 | 69.09 |
|                     | UNAJ 04 | 92.00  | 70.17 | 83.74 |
| Julio<br>(2025)     | UNAJ 01 | 75.10  | 54.75 | 62.22 |
|                     | UNAJ 02 | 84.32  | 42.32 | 65.13 |
|                     | UNAJ 03 | 66.23  | 49.92 | 56.45 |
|                     | UNAJ 04 | 81.56  | 51.91 | 66.72 |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8**

Matriz mensual de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)

| Mes                 | Estación | Parámetro evaluado                    |                              |                               |
|---------------------|----------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                     |          | H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> ) |                              |                               |
|                     |          | Máx. (µg/m <sup>3</sup> )             | Min.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Prom.<br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
| Noviembre<br>(2024) | UNAJ 01  | 43.75                                 | 20.02                        | 28.15                         |
|                     | UNAJ 02  | 72.78                                 | 22.71                        | 31.40                         |
|                     | UNAJ 03  | 49.07                                 | 20.58                        | 35.19                         |
|                     | UNAJ 04  | 31.95                                 | 21.83                        | 26.42                         |

|                     |         |       |       |       |
|---------------------|---------|-------|-------|-------|
| Diciembre<br>(2024) | UNAJ 01 | 27.88 | 22.15 | 24.46 |
|                     | UNAJ 02 | 49.34 | 23.89 | 30.86 |
|                     | UNAJ 03 | 45.21 | 16.34 | 34.17 |
|                     | UNAJ 04 | 31.58 | 22.51 | 26.59 |
| Enero<br>(2025)     | UNAJ 01 | 26.09 | 21.73 | 23.25 |
|                     | UNAJ 02 | 36.86 | 21.26 | 25.65 |
|                     | UNAJ 03 | 39.99 | 20.27 | 30.11 |
|                     | UNAJ 04 | 28.67 | 21.08 | 23.57 |
| Febrero<br>(2025)   | UNAJ 01 | 26.93 | 22.24 | 24.08 |
|                     | UNAJ 02 | 35.32 | 17.99 | 25.68 |
|                     | UNAJ 03 | 46.44 | 18.09 | 31.22 |
|                     | UNAJ 04 | 45.05 | 16.23 | 33.82 |
| Julio<br>(2025)     | UNAJ 01 | 28.79 | 20.13 | 23.86 |
|                     | UNAJ 02 | 41.73 | 18.76 | 28.73 |
|                     | UNAJ 03 | 49.23 | 24.46 | 34.89 |
|                     | UNAJ 04 | 34.15 | 24.09 | 29.6  |

Fuente: Elaboración propia

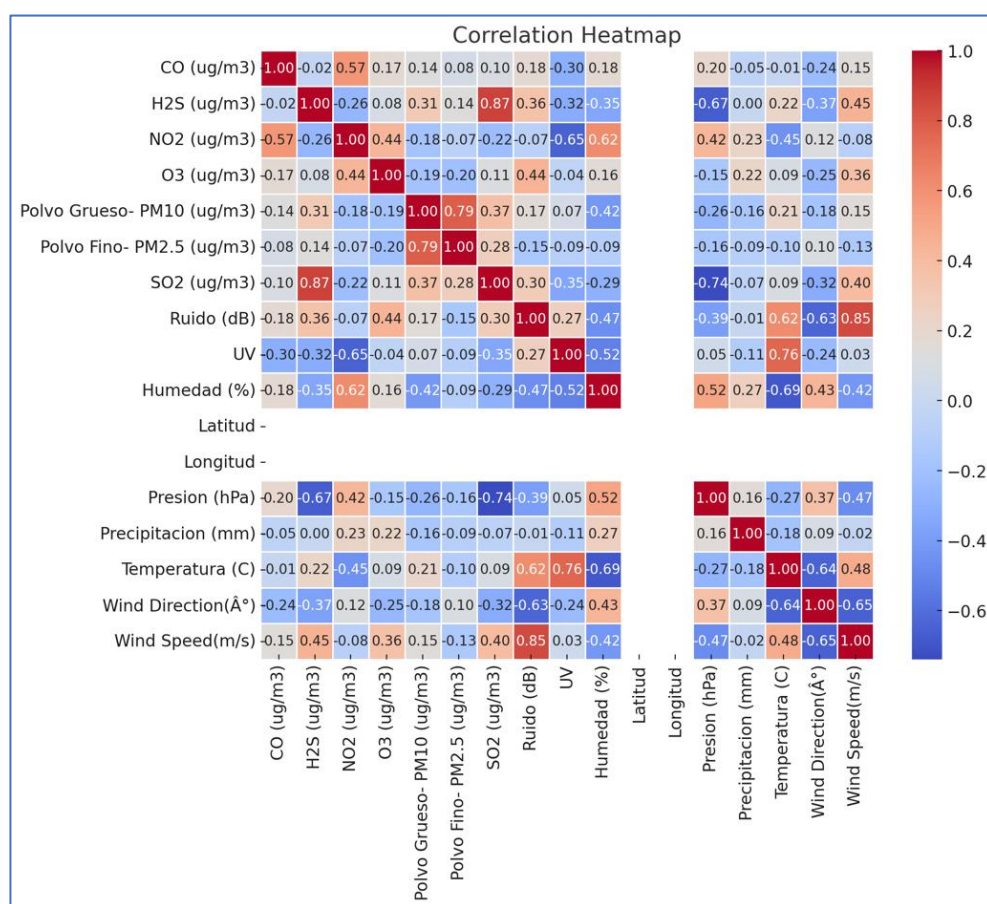
## ANEXO VII. Mapas de correlación de calor de las estaciones de monitoreo UNAJ 01, UNAJ 02, UNAJ 03 y UNAJ 04.

En este anexo se presenta el mapa de calor correspondiente a la matriz de correlación entre contaminantes atmosféricos, variables meteorológicas y factores ambientales analizados en el estudio. El objetivo de esta visualización es mostrar de forma gráfica la intensidad y el sentido de la relación entre las variables consideradas.

Las correlaciones se expresan mediante coeficientes comprendidos entre -1 y 1. Los tonos rojos indican correlaciones positivas, los tonos azules correlaciones negativas, y los colores cercanos al blanco representan correlaciones débiles o nulas.

**Figura 21**

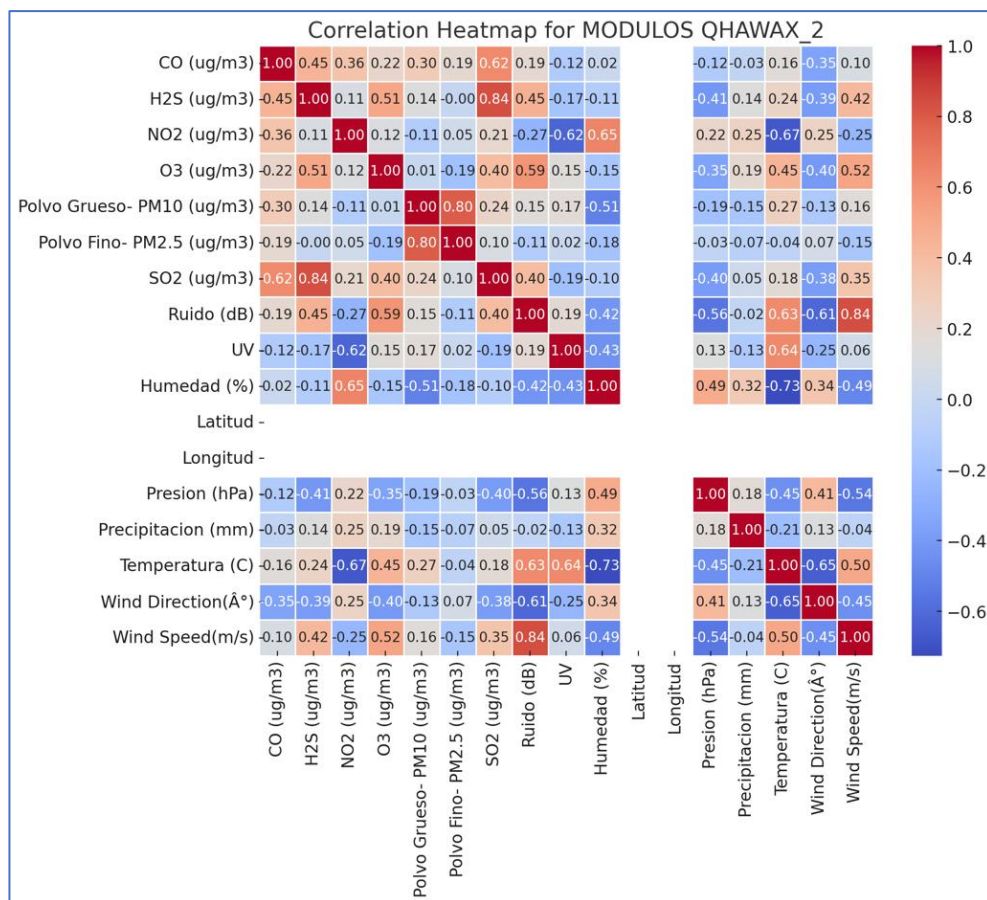
*Mapa de correlación de calor – UNAJ 01*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 22**

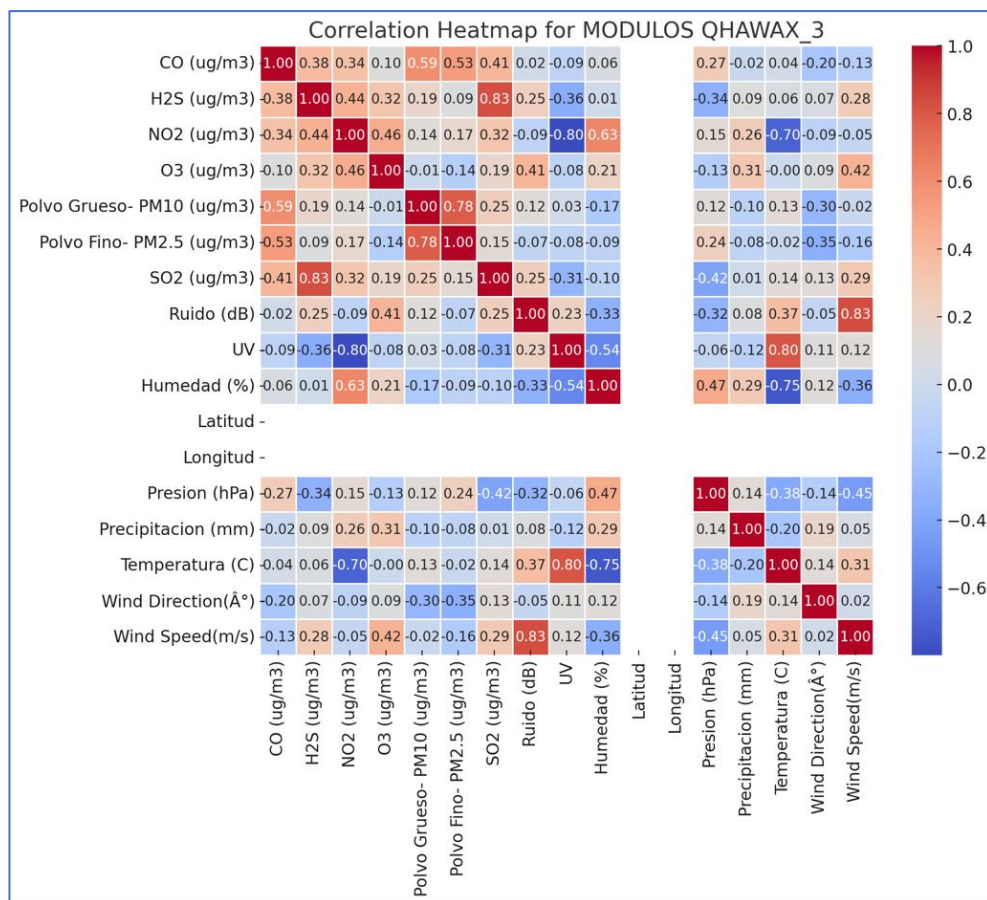
*Mapa de correlación de calor – UNAJ 02*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 23**

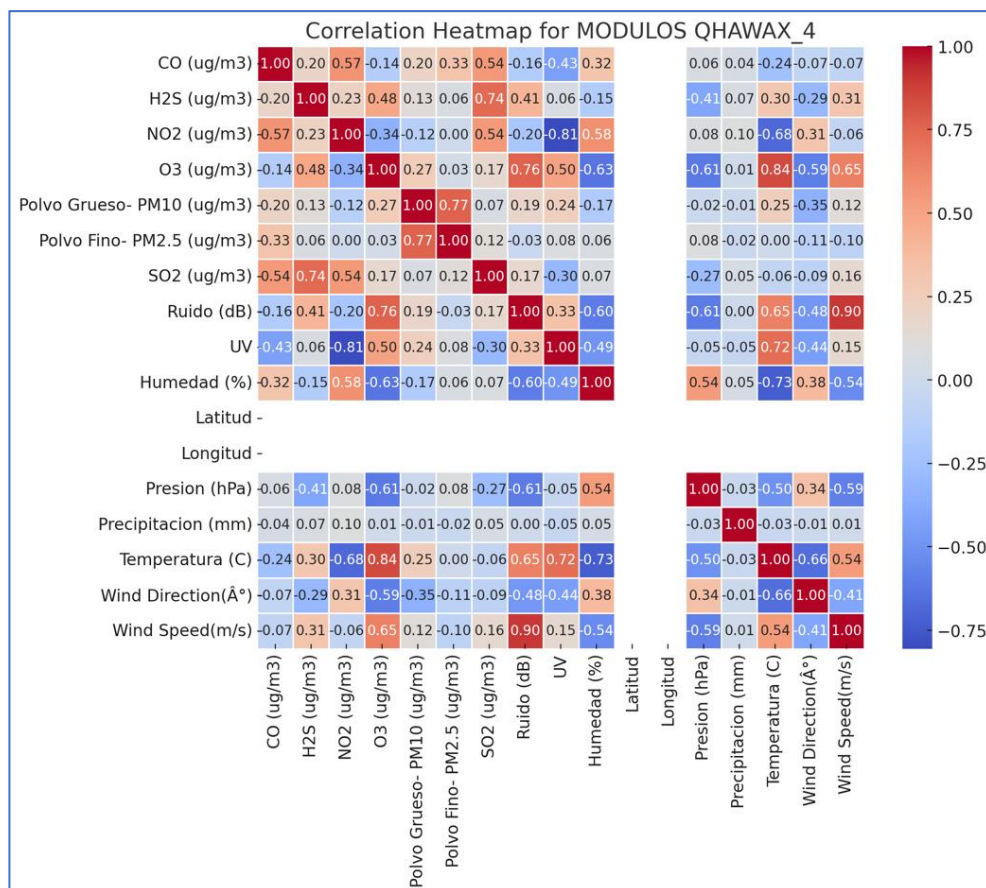
*Mapa de correlación de calor – UNAJ 03*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 24**

*Mapa de correlación de calor – UNAJ 04*

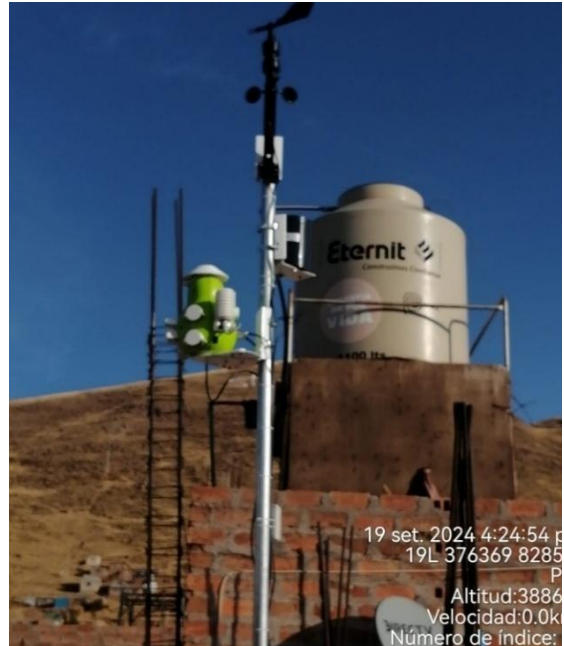


Fuente: Elaboración propia

## ANEXO VIII: *Panel fotográfico*



*Foto 1 Instalación de punto de monitoreo*



*Foto 2 Modulo de calidad del aire*



*Foto 3 Sensor de monitoreo de precipitación.*



*Foto 4 Equipo de monitoreo de velocidad y dirección del viento*



*Foto 5 Equipo de monitoreo de calidad del aire.*



*Foto 6 Instalación de equipo de monitoreo de calidad en aire.*



*Foto 7 Capacitación en operación y mantenimiento de equipos de monitoreo con SBC.*



*Foto 8 Montaje de equipos de monitoreo*

**ANEXO IX: Resolución de Consejo de comisión Organizadora N°606-2023-CCO-UNAJ mediante la cual ha sido financiada la presente investigación.**

COMISIÓN ORGANIZADORA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
"Universidad Pública de Calidad"

"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

**RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE COMISIÓN ORGANIZADORA  
N° 606-2023-CCO-UNAJ**

Juliaca, 15 de setiembre de 2023.

**VISTOS:**

La Carta N° 0060-2023/DITT-VPIN-CO-UNAJ, de fecha 13 de setiembre de 2023; Oficio N° 0108-2023/VPIN-CO-UNAJ, de fecha 13 de setiembre de 2023; el Acuerdo N° 874-2023-SO-CCO-UNAJ de Sesión Ordinaria de Consejo de Comisión Organizadora de fecha 13 de setiembre de 2023; y,

**CONSIDERANDO:**

Que, conforme a lo dispuesto por el Art. 18°, 4to párrafo de la Constitución Política del Estado, cada Universidad es autónoma en su régimen normativo de gobierno, académico, administrativo y económico. Las Universidades se rigen por sus propios estatutos en el marco de la constitución y las leyes;

Que, la Ley Universitaria Ley N° 30220, en su Art. 8°, establece que el Estado reconoce la autonomía Universitaria, la autonomía inherente a las Universidades se ejerce de conformidad con lo establecido en la Constitución, la presente Ley y demás normativa aplicable, ésta autonomía se manifiesta en los siguientes regímenes: Normativo, de Gobierno, Académico, Administrativo y Económico;

Que, el segundo párrafo del Art. 29°, de la norma en marras establece que la Comisión Organizadora tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamento y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que, de acuerdo a la presente Ley le correspondan;

Que, mediante Resolución de Consejo de Comisión Organizadora N°490-2023-CCO-UNAJ, de fecha 10 de agosto de 2023, se aprueba las "BASES DEL X CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE UNAJ 2023", el miso que estipula en su punto 2.8 lo siguiente: "La Comisión de Selección conducirá el Proceso de las postulaciones: admisión, revisión y evaluación por jurados internos y pares externos del más alto nivel designados por la Vicepresidencia de Investigación", asimismo el punto 2.9 estipula lo siguiente: "El consejo de Comisión Organizadora aprobará a través de resolución de Consejo de Comisión Organizadora los resultados del concurso con los Proyectos de Investigación seleccionados que serán publicados en la página web de la UNAJ ([www.unaj.edu.pe](http://www.unaj.edu.pe)). Los resultados son definitivos e inapelables";

Que, mediante Resolución de Consejo de Comisión Organizadora N° 490-2023-CCO-UNAJ, de fecha 10 de agosto de 2023, en su artículo primero se resolvió APROBAR el "PLAN DE TRABAJO PARA EJECUTAR LA FASE DE SELECCIÓN DEL X CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE UNAJ 2023", y en su artículo segundo se resolvió aprobar las "BASES DEL X CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE UNAJ 2023";

Que, mediante Carta N° 0060-2023/DITT-VPIN-CO-UNAJ, de fecha 13 de setiembre de 2023, el Director de Innovación y Transferencia Tecnológica, remite la ratificación de ganadores del "X CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE UNAJ 2023", para el trámite de la resolución respectiva, adjuntando para ello la tabla de los proyectos seleccionados;

Que, mediante Oficio N° 0108-2023/VPIN-CO-UNAJ, de fecha 13 de setiembre de 2023, el Vicepresidente de Investigación de la revisión del expediente solicita la ratificación de resultados del "X CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE UNAJ 2023";

Que, el Pleno del Consejo de Comisión Organizadora de la UNAJ, en su Sesión Ordinaria de fecha 13 de setiembre de 2023, mediante Acuerdo N° 874-2023-SO-CCO-UNAJ, acordó POR UNANIMIDAD: RATIFICAR, los resultados del "X CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE UNAJ 2023";

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18°, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220, Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU modificado mediante Resolución Viceministerial N° 055-2022-MINEDU, modificado mediante Resolución Viceministerial N° 053-2023-MINEDU y el Estatuto de la UNAJ;

**SE RESUELVE:**

**Artículo Primero.- RATIFICAR**, los resultados finales del "X CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DOCENTE UNAJ 2023", conforme se detalla a continuación:

| CÓDIGO | NOMBRE DEL PROYECTO                                                                                                                                                                               | INVESTIGADOR RESPONSABLE                                                           | CONDICIÓN |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| P2     | EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PM10, PM2.5, SO2, NO2, CO, O3 Y H2S, EMITIDOS POR LADRILLERAS ARTESANALES, MEDIANTE RED DE SENSORES DE BAJO COSTO Y MODELO AERMOD, DISTRITO DE JULIACA, PERÚ | Dr. José Luis Pineda Tapia<br>Coordinador del proyecto e Investigador principal    | GANADOR   |
| P6     | BIOPELÍCULAS INTELIGENTES Y ACTIVAS A BASE DE BICOPOLÍMEROS CON EXTRACTOS DE COMPUESTOS BIOACTIVOS REFORZADO CON NANOPARTÍCULAS PARA ENVASES DE ALIMENTOS                                         | Dr. Noe Benjamín Pampa Quispe<br>Coordinador del proyecto e Investigador principal | GANADOR   |

I-115-0020-2023



Página 1 de 2

Av. Nueva Zelandia N°631 – Juliaca, San Román, Puno

[www.unaj.edu.pe](http://www.unaj.edu.pe)

Teléfono N°051-323200

## COMISIÓN ORGANIZADORA

RCCO N° 606-2023-CCO-UNAJ



|    |                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                    |         |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| P7 | EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN CONTEXTO ORGANIZACIONAL Y POR EL SERVICIO DE ENSEÑANZA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA: UN ENFOQUE PARA LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO | M.Sc. Godofredo Huanca Chambi<br>Coordinador del proyecto e Investigador principal | GANADOR |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|

**Artículo Segundo.- ENCARGAR** a Vicepresidencia de Investigación, realice las gestiones correspondientes, para concretar lo aprobado en el artículo primero del presente acto resolutivo.

**Artículo Tercero.- DISPONER** que la Oficina de Tecnologías de la Información, publique el presente acto resolutivo en el portal web de la institución ([www.unaj.edu.pe](http://www.unaj.edu.pe)).

Regístrese, comuníquese y cúmplase.

  
ABG JOSÉ LUIS PACHECO CÁCERES  
SECRETARIO GENERAL

  
DR EDELFRE FLÓRES VELÁSQUEZ  
PRESIDENTE  
COMISIÓN ORGANIZADORA

I-115-0020-2023



DISTRIBUCIÓN  
V.Presid.  
V.Pres. Invest.  
DGA  
COP  
Arch./2023

Enc.

Página 2 de 2