

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



**MODELAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**  
**(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), EMITIDOS POR**  
**LADRILLERAS ARTESANALES MEDIANTE EL SOFTWARE**  
**AERMOD, EN EL DISTRITO JULIACA, PERÚ**

**Bach. Robinson Chaiña Sucasaca**

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

**ASESOR:**

**Dr. José Luis Pineda Tapia**



**JULIACA - PERÚ**  
**2025**

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



**MODELAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS  
(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), EMITIDOS POR  
LADRILLERAS ARTESANALES MEDIANTE EL SOFTWARE  
AERMOD, EN EL DISTRITO JULIACA, PERÚ**

Bach. Robinson Chaiña Sucasaca

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor:

Dr. José Luis Pineda Tapia

Juliaca, 2025

Chaiña, R. (2025) *Modelamiento de los contaminantes atmosféricos (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), emitidos por ladrilleras artesanales mediante el software AERMOD, en el distrito Juliaca, Perú (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Juliaca

**Autor:** Robinson Chaiña Sucasaca

**Título:** Modelamiento de los contaminantes atmosféricos (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), emitidos por ladrilleras artesanales mediante el software AERMOD, en el distrito Juliaca, Perú

**Publicación:** Juliaca, 2025

**Descripción:** Cantidad de páginas (139pp)

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

**Código:** 01-000058-01/CH515

**Nota:** Incluye bibliografía

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

**Palabras clave:**

AERMOD, contaminación, concentración, dispersión, ladrilleras artesanales y modelamiento.

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

**“MODELAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES  
ATMOSFÉRICOS (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),  
EMITIDOS POR LADRILLERAS ARTESANALES MEDIANTE EL  
SOFTWARE AERMOD, EN EL DISTRITO JULIACA, PERÚ”**

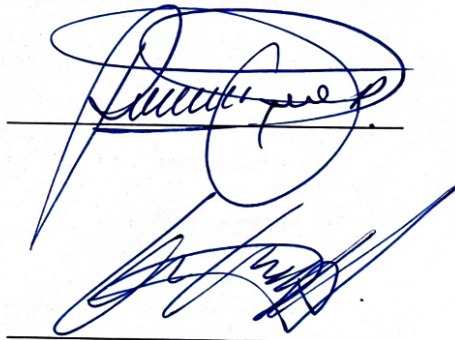
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL  
Y FORESTAL**

**Presentada por:**

Bach. Robinson Chaiña Sucasaca

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

Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo  
PRESIDENTE DE JURADO



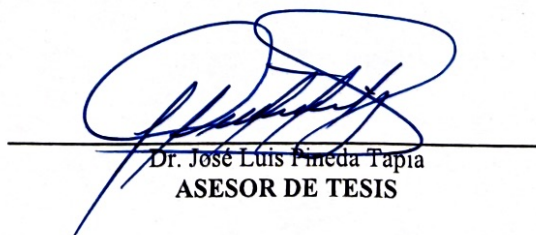
M.Sc. Godofredo Huanca Chambi  
JURADO (Secretario)

2° MIEMBRO

M.Sc. Jael Calla Calla  
JURADO (Vocal)




3° MIEMBRO



Dr. José Luis Pineda Tapia  
ASESOR DE TESIS

# ROBINSON CHAIÑA SUCASACA

## MODELAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM10, PM2.5, SO2, NO2, CO, O3 y H2S), EMITIDOS POR LADRI...

 Universidad Nacional de Juliaca

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:499406370

142 páginas

Fecha de entrega

16 sep 2025, 10:01 a.m. GMT-5

30.820 palabras

Fecha de descarga

16 sep 2025, 10:07 a.m. GMT-5

162.181 caracteres

Nombre del archivo

ROBINSON CHAIÑA SUCASACA TESIS OFICIAL.pdf

Tamaño del archivo

9.6 MB






## 14% 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

- 11%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.



DR. JOSÉ LUIS PINEDA TAPIA

## **DEDICATORIA**

*A Dios por brindarme vida y salud, por darme paciencia y constancia para lograr mis objetivos.*

*A mí amada Magui, por su amor y apoyo incondicional, que día a día me motivó en este proceso.*

*A mi madre Leonarda, por brindarme su apoyo en este proceso. A mi padre Julio Néstor que desde el cielo me bendice y por enseñarme que en la vida debo aprender a salir solo adelante.*

*A mis hermanos y hermanas, por apoyarme y guiarme en mi proceso de formación.*

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Nacional de Juliaca, por recibirme en sus aulas y contribuir en mi formación profesional, además de financiar mi proyecto de Tesis.*

*A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, en especial al grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas GICA, por compartirme bases y conocimientos científicos.*

*Al Dr. José Luis Pineda Tapia, asesor de tesis, por su orientación, paciencia, revisión y apoyo intelectual constante.*

*A los miembros del jurado de tesis, Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo, M.Sc. Godofredo Huanca Chambi y M.Sc. Jael Calla Calla por su paciencia, orientación y revisión de la presente tesis.*

*A los docentes de la escuela profesional por con todos sus conocimientos y experiencias compartidas durante mi formación profesional. Finalmente, a mi familia, amigos, compañeros, quienes me brindaron su apoyo en la realización de la tesis.*

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág</b>
<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>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ACRÓNIMOS Y SIMBOLOGÍA</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>15</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>15</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	15
1.2. Pregunta de investigación.....	16
1.2.1. Pregunta general .....	16
1.2.2. Preguntas específicas .....	16
1.3. Objetivos .....	16
1.3.1. Objetivo general .....	16
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
1.4. Justificación.....	17
1.4.1. Tecnológico .....	17
1.4.2. Social .....	17
1.4.3. Ambiental .....	17
1.4.4. Económico .....	18
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>19</b>
<b>REVISION DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>

2.1. Antecedentes .....	19
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	20
2.1.3. Antecedentes regionales .....	22
2.2. Marco conceptual .....	23
2.2.1. Contaminación atmosférica .....	23
2.2.2. Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios .....	23
2.2.3. Contaminantes atmosféricos generados por la industria ladrillero.....	23
2.2.4. Contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud humana .....	24
2.2.5. Dispersión de contaminantes .....	25
2.2.6. Estabilidad atmosférica y su influencia en la dispersion .....	25
2.2.7. Modelos de dispersión de contaminantes .....	27
2.2.8. Inventario de emisiones atmosféricas.....	29
2.2.9. Clasificación de fuentes.....	30
2.2.10. Industria de fabricacion de ladrillos artesanales.....	31
2.2.11. Meteorología.....	31
2.2.12. Geografía .....	31
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>32</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1  Ámbito de estudio .....	32
3.2  Tipo y nivel de investigación .....	33
3.3  Metodología.....	33
3.4  Población y muestra .....	34
3.4.1 Población .....	34
3.4.2 Muestra.....	34
3.5  Materiales y equipos.....	35
3.5.1  Materiales .....	35

3.5.2	Equipos .....	35
3.5.3	Softwares .....	35
3.6	Estimación 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 emitidas por las ladrilleras artesanales. ....	36
3.6.1	Geolocalización de hornos ladrilleros .....	36
3.6.2	Medición de las concentraciones de emisión .....	37
3.7	Estimación del aporte 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 emitidas por las ladrilleras artesanales. ....	40
3.7.1	Inventario de emisiones atmosféricas.....	40
3.7.2	Estimación del aporte de las emisiones atmosféricas.....	41
3.8	Predicción de la distribución geográfica 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 emitidas por ladrilleras artesanales. ....	43
3.8.1	Procesamiento de la data meteorológica .....	43
3.8.2	Configuración del modelo .....	43
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>45</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>45</b>
4.1.	Estimación 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 emitidas por las ladrilleras artesanales. ....	45
4.1.1.	Geolocalización de hornos.....	45
4.1.2.	Medición de gases de emisión.....	46
4.2.	Estimación del aporte 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 emitidas por las ladrilleras artesanales .....	49
4.2.1.	Inventario de emisiones atmosféricas.....	49
4.2.2.	Estimación del aporte de las emisiones atmosféricas.....	52
4.3.	Predicción de la distribución geográfica 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 emitidas por ladrilleras artesanales. ....	58
4.3.1.	Condiciones meteorológicas.....	58
4.3.2.	Dispersión de los contaminantes .....	63

<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>71</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
4.4. Conclusiones .....	71
4.5. Recomendaciones .....	72
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> <i>Contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud humana</i> .....	24
<b>Tabla 2</b> <i>Clases de estabilidad de Pasquill y condiciones climáticas.</i> .....	25
<b>Tabla 3</b> <i>Estabilidad atmosférica, gradiente de temperatura y evolución de penachos.</i> 26	
<b>Tabla 4</b> <i>Ecuaciones del modelo de difusión gaussiano</i> .....	28
<b>Tabla 5</b> <i>Límites de la zona de estudio</i> .....	32
<b>Tabla 6</b> <i>Softwares necesarios para la realización de la investigación.</i> .....	35
<b>Tabla 7</b> <i>Puntos de medición de gases en fuente</i> .....	38
<b>Tabla 8</b> <i>Alcance del inventario de emisiones atmosféricas.</i> .....	41
<b>Tabla 9</b> <i>Concentración del CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> de las emisiones directas</i> .....	46
<b>Tabla 10</b> <i>Variables físicas de emisión</i> .....	48
<b>Tabla 11</b> <i>Dimensiones de un horno artesanal</i> .....	49
<b>Tabla 12</b> <i>Dimensiones de la corona del horno</i> .....	49
<b>Tabla 13</b> <i>Cantidad de combustible utilizado</i> .....	50
<b>Tabla 14</b> <i>Tasas de emisión 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</i> .....	52
<b>Tabla 15</b> <i>Concentraciones estimadas 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</i> .....	53
<b>Tabla 16</b> <i>Precipitación mensual (mm)</i> .....	58
<b>Tabla 17</b> <i>Temperatura promedio mensual</i> .....	59
<b>Tabla 18</b> <i>Humedad Relativa mensual (%)</i> .....	60
<b>Tabla 19</b> <i>Cobertura nubosa (decimas)</i> .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> <i>Esquema de una pluma gaussiana</i> .....	27
<b>Figura 2</b> <i>Área de estudio en vista satelital</i> .....	32
<b>Figura 3</b> <i>Estructura del modelado con software AERMOD</i> .....	33
<b>Figura 4</b> <i>(a) Puntos de medición (b) Mediciones en In - situ, con el TESTO 350.</i> .....	39
<b>Figura 5</b> <i>Estructura del sistema de modelo de dispersión de contaminantes AERMOD</i>	44
<b>Figura 6</b> <i>Mapa de geolocalización de hornos ladrilleros</i> .....	45
<b>Figura 7</b> <i>Tiempo de cocción de los ladrillos</i> .....	50
<b>Figura 8</b> <i>Variabilidad de la precipitación</i> .....	58
<b>Figura 9</b> <i>Variabilidad Promedio Mensual de temperatura</i> .....	59
<b>Figura 10</b> <i>Variabilidad mensual de la humedad relativa</i> .....	60
<b>Figura 11</b> <i>Variabilidad de la cobertura de nubes</i> .....	61
<b>Figura 12</b> <i>Rosa de vientos Juliaca.</i> .....	62
<b>Figura 13</b> <i>Frecuencia de velocidades</i> .....	62
<b>Figura 14</b> <i>Mapa de dispersión de <math>PM_{10}</math>.</i> .....	63
<b>Figura 15</b> <i>Mapa de dispersión de <math>PM_{2.5}</math></i> .....	64
<b>Figura 16</b> <i>Mapa de dispersión <math>SO_2</math>.</i> .....	65
<b>Figura 17</b> <i>Mapa de dispersión <math>NO_2</math></i> .....	66
<b>Figura 18</b> <i>Mapa dispersión <math>CO</math></i> .....	68
<b>Figura 19</b> <i>Mapa de dispersión <math>O_3</math>.</i> .....	69
<b>Figura 20</b> <i>Mapa de dispersión <math>H_2S</math>.</i> .....	70

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1:</b> Ficha técnica de geolocalización .....	85
<b>ANEXO 2:</b> Formato de encuestas .....	86
<b>ANEXO 3:</b> Corrección de resultados y unidades .....	87
<b>ANEXO 4:</b> Procedimiento del modelamiento .....	93
<b>ANEXO 5:</b> Geolocalización de hornos ladrilleros.....	113
<b>ANEXO 6:</b> Selección de puntos para la aplicación de encuesta.....	121
<b>ANEXO 7:</b> Tickets reportadas por el TESTO 350 .....	123
<b>ANEXO 8:</b> Procesamiento de encuestas .....	127
<b>ANEXO 9:</b> Panel Fotográfico .....	129
<b>ANEXO 10:</b> Certificado de calibración del analizador de gases TESTO 350 .....	133
<b>ANEXO 11:</b> Licencia de software AERMOD View .....	136
<b>ANEXO 12:</b> Licencia de software Arcgis Pro.....	137
<b>ANEXO 13:</b> Financiamiento de tesis.....	138

## ACRÓNIMOS Y SIMBOLOGÍA

AERMOD	:	Modelo Regulador de Protección Ambiental
AERMET	:	Procesador de Meteorología de AERMOD
AERMAP	:	Procesador de Terreno de AERMOD
EPA	:	Agencia de Protección Ambiental
USEPA	:	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
UTM	:	Universal Transverse Mercator
GPS	:	Sistema de Posicionamiento Global
SIG	:	Sistema de Información Geográfica
PM	:	Material Particulado
PM <sub>10</sub>	:	Material Particulado de tamaño mayor o menor 10 micras
PM <sub>2.5</sub>	:	Material Particulado de tamaño mayor o menor 2.5 micras
COV	:	Compuestos Organicos Volátiles
CO	:	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	:	Dióxido de Carbono
SO <sub>2</sub>	:	Dióxido de Azufre
SO <sub>3</sub>	:	Trióxido de Azufre
NO <sub>x</sub>	:	Óxidos de Nitrógeno
NO <sub>2</sub>	:	Monóxido de Nitrógeno
O <sub>3</sub>	:	Ozono
H <sub>2</sub> S	:	Sulfuro de Hidrogeno
LMP	:	Límites Máximos Permisible
ECA	:	Estándares de Calidad Ambiental
MINAM	:	Ministerio del Ambiente
OMS	:	Organización Mundial de Salud
ONU	:	Organización de Naciones Unidas
PRODUCE	:	Ministerio de la Producción
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

## RESUMEN

La actividad de las ladrilleras artesanales en la ciudad de Juliaca representa una fuente importante de emisión de contaminantes atmosféricos, lo que incide negativamente en la calidad del aire y en la salud pública. Por ello, la presente investigación, tiene como objetivo principal, modelar la dispersión de contaminantes 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, emitidas por las ladrilleras artesanales aplicando el software AERMOD. La metodología se basa en el modelo de dispersión gaussiano, que consta principios físicos y matemáticos, ejecutado mediante el software AERMOD recomendado por la EPA de los EE. UU. Partiendo desde la geolocalización de hornos de ladrillos, medición de los gases contaminantes en fuente, así como la estimación de tasas de emisión calculados a partir de factores de emisión y mediciones directas. Por último, la modelización de contaminantes atmosféricos. Los resultados muestran que existe 312 hornos ladrilleros en la zona de estudio, además las mediciones en fuente reportaron concentraciones de 11679.87 mg/m<sup>3</sup>N (CO), 141.49 mg/m<sup>3</sup>N (NO<sub>x</sub>), y 236.67 mg/m<sup>3</sup>N (SO<sub>2</sub>). Donde, el CO resultó ser el contaminante más abundante que superó en un 85% el Límite Máximo Permitido (LMP). Respecto, al aporte de contaminantes, estas alcanzaron una concentración máxima de 562 ug/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>), 110 ug/m<sup>3</sup> (PM<sub>2.5</sub>), 272 ug/m<sup>3</sup> (SO<sub>2</sub>), 172 ug/m<sup>3</sup> (NO<sub>2</sub>), 33216 ug/m<sup>3</sup> (CO), 17.6 (O<sub>3</sub>) ug/m<sup>3</sup> y 79.9 ug/m<sup>3</sup> (H<sub>2</sub>S), en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), el NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, se encuentran dentro del umbral permitido. Además, el modelamiento evidenció una dispersión de contaminantes predominantes hacia el sureste, con concentraciones máximas localizadas en esa dirección, específicamente en las coordenadas 373056.32 m E y 8280729.89 m N. En conclusión, el CO es uno de los contaminantes con mayor aporte significativo en zonas de ladrillera, y el modelamiento de la dispersión de los contaminantes es influenciado significativamente por las condiciones meteorológicas, siguiendo una trayectoria en dirección al viento, así como la topografía propia de la zona de estudio.

### **Palabras clave:**

AERMOD, contaminación, concentración, dispersión, ladrilleras artesanales y modelamiento.

## ABSTRACT

The activity of artisanal brick kilns in the city of Juliaca represents a significant source of air pollutant emissions, which negatively affects air quality and public health. Therefore, the main objective of this research is to model the dispersion 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, pollutants emitted by artisanal brick kilns using AERMOD software. The methodology is based on the Gaussian dispersion model, which consists of physical and mathematical principles, executed using the AERMOD software recommended by the US EPA. Starting from the geolocation of brick kilns, measurement of pollutant gases at source, as well as the estimation of emission rates calculated from emission factors and direct measurements. Finally, the modelling of atmospheric pollutants. The results show that there are 312 brick kilns in the study area, and measurements at source reported concentrations of 111679.87 mg/m<sup>3</sup>N (CO), 141.49 mg/m<sup>3</sup>N (NO<sub>x</sub>), and 236.67 mg/m<sup>3</sup>N (SO<sub>2</sub>). CO was found to be the most abundant pollutant, exceeding the Maximum Permissible Limit (MPL) by 85%. With regard to the contribution of pollutants, these reached a maximum concentration of 562 ug/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>), 110 ug/m<sup>3</sup> (PM<sub>2.5</sub>), 272 ug/m<sup>3</sup> (SO<sub>2</sub>), 172 ug/m<sup>3</sup> (NO<sub>2</sub>), 33216 ug/m<sup>3</sup> (CO), 17.6 (O<sub>3</sub>) ug/m<sup>3</sup> and 79.9 ug/m<sup>3</sup> (H<sub>2</sub>S), compared to the Environmental Quality Standards (ECA), el NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S are within the permitted threshold. In addition, the modelling showed a dispersion of predominant pollutants towards the southeast, with maximum concentrations located in that direction, specifically at coordinates 373056.32 m E and 8280729.89 m N. In conclusion, CO is one of the pollutants with the most significant contribution in brick-making areas, and the modelling of pollutant dispersion is significantly influenced by meteorological conditions, following a trajectory in the direction of the wind, as well as the topography of the study area.

### **Keywords:**

AERMOD, pollution, concentration, dispersion, artisanal brick kilns, and modelling.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema a nivel mundial, y es uno de los principales riesgos para la salud pública y medio ambiente, según los datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) muestran que casi toda la población mundial (el 99%) respira un aire que supera los límites recomendados el cual contiene altos niveles de contaminantes. Además, estos datos indican que la exposición es más elevada en los países de medianos y bajos ingresos. La Organización de Naciones Unidas (ONU) indicó que todo ello se traduciría en el aumento de las principales causas de enfermedad y muerte, por ejemplo, enfermedad isquémica, accidente cerebrovascular, diabetes y cáncer.

En los países de Latinoamérica, la contaminación del aire exterior es uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la sociedad, puesto que es uno de los aspectos más nocivos para la salud humana, el Perú es uno de los países de Sudamérica que tiene la más baja calidad de aire de acuerdo con el estudio World Air Quality Report of - 2021. Además, los problemas de calidad del aire se deben a las ciudades que tienen un crecimiento rápido, desordenado y caótico, generando una serie de emisiones, causando un gran impacto en los habitantes y medio ambiente (Bustíos, 2013).

La contaminación del aire en la ciudad de Juliaca es una de las problemáticas de mayor interés para la población, uno de los más resaltantes es la actividad de la producción de ladrillos de forma artesanal, debido a su gran influencia producto de la quema de combustibles sólidos y fósiles (PRODUCE, 2010). El cual contribuye al cambio climático y en consecuencia la contaminación del aire, además de ser un riesgo para la salud humana, causando significativamente enfermedades respiratorias como la carga de morbilidad por problemas cerebrovasculares, cánceres de pulmón, asma, neumopatías crónicas y agudas, (OMS, 2021).

La fabricación de ladrillos de forma artesanal, cuyo proceso productivo va desde la extracción de materia prima, moldeado, secado, quemado o cocido y comercialización, genera grandes cantidades de contaminantes atmosféricos durante sus operaciones, que incluyen partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a 10 micras ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) dióxido de azufre ( $SO_2$ ), trióxido de azufre ( $SO_3$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metales, compuestos orgánicos totales

(COT), metano, etano, compuestos orgánicos volátiles (COV) y entre otros (EPA 42, 1999).

En ese contexto, se ha visto necesario realizar estudios de modelación matemática con la finalidad de identificar impactos ambientales que esta actividad genera sobre el medio ambiente y la salud (Suclupe, 2018). Por ello, la presente investigación, tiene como objetivo, modelar la dispersión de contaminantes 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, emitidas por las ladrilleras artesanales aplicando el software AERMOD. Este, es uno de los modelos recomendados por la “Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos” (USEPA) para determinar la dispersión de contaminantes por fuentes emisoras, así como simular la distribución espacial, logrando identificar puntos de mayor concentración de acuerdo con la variables geográficas y meteorológicas que presenta el área de estudio, en este caso la zona ladrillera ubicada en la salida Arequipa de la ciudad de Juliaca, del departamento de Puno – Perú.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

En el mundo, la actividad de fabricación de ladrillos de forma artesanal es uno de los importantes contribuyentes a la contaminación del aire, debido a su gran influencia por la quema de combustibles sólidos y fósiles (Nicolaou et al., 2024). La concentración y dispersión de contaminantes generados por este sector tales como el; Material Particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y otros, son emitidas directamente por los hornos ladrilleros a cielo abierto y se transportan en la atmosfera generando un impacto negativo, con consecuencias que van desde problemas de salud hasta alteraciones de los ecosistemas (Brooks et al., 2025).

En el Perú, las ladrilleras artesanales son catalogadas como uno de los principales focos de emisión de gases contaminantes, cuyo proceso productivo va desde la extracción de materia prima, moldeado, secado, quemado y cocido, generan un impacto significativo en la calidad del aire (Vera y Quispe, 2023). La cocción de ladrillos en hornos artesanales a cielo abierto es foco principal de las emisiones producto de la combustión incompleta, los cuales se dispersan sin ningún tipo de control a la atmosfera causando efectos nocivos en la salud, se ha comprobado que la exposición a partículas y gases provenientes del sector ladrillero, implica principalmente en enfermedades pulmonares con efectos agudos como tos, disnea, asma, bronquitis, neumoconiosis y problemas cardiovasculares (Rodríguez et al., 2020).

En la ciudad de Juliaca, la dispersión de contaminantes emitidas por los hornos ladrilleros a cielo abierto, genera una preocupación alarmante en la población (Calsin, 2019). Debido a la formación del smog fotoquímico, deterioro de visibilidad, inversión térmica, deposiciones ácidas húmedas y problemas a la salud pública, ya que esta actividad se desarrolla bajo un esquema de atraso tecnológico a través de procesos precarios (Bhat y Gaga, 2022). Evidentemente la quema de combustibles como el aserrín, estiércol, neumáticos y otros, generan gases y partículas contaminantes, la dispersión de estas podría estar afectando directamente a las personas que se encuentran en las vecindades y localidades aledañas (Abedin et al., 2020; Chen et al., 2017). Para agravar esta problemática, muchos hornos de ladrillos operan en el sector informal, con

escasa o nula regulación por parte de los gobiernos locales (OEFA, 2018). A pesar de la contribución del sector ladrillero a la contaminación atmosférica y a las enfermedades respiratorias generadas, aún se desconoce la concentración y dispersión de contaminantes, así como el área mayor afectación en la ciudad de Juliaca, lo que resalta la necesidad de realizar estudios investigación de esta naturaleza.

## **1.2. Pregunta de investigación**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Como es la dispersión de los contaminantes atmosféricos 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, emitidas por las ladrilleras artesanales, aplicando el software AERMOD en el distrito de Juliaca, Perú?.

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuál es la 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 emitidos por las ladrilleras artesanales en Juliaca, Perú?.
- ¿Cuál es el aporte de contaminantes 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 emitidos las ladrilleras artesanales al distrito de Juliaca, Perú?.
- ¿Cómo es la distribución espacial 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, emitidas por la producción de ladrillos artesanales en Juliaca, Perú?.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Modelar la dispersión de contaminantes atmosféricos 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, emitidas por las ladrilleras artesanales aplicando el software AERMOD en el distrito de Juliaca, Perú.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Estimar 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 emitidas por las ladrilleras artesanales en el distrito de Juliaca, Perú.
- Estimar el aporte 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 emitidas por las ladrilleras artesanales en el distrito de Juliaca, Perú.
- Predecir la distribución geográfica 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 emitidas por ladrilleras artesanales en el distrito de Juliaca, Perú

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Tecnológico**

La presente investigación aportará al conocimiento científico existente y servirá como fundamento para estudios futuros en la materia, además permitirá conocer la concentración y dispersión de contaminantes emitidos por el sector ladrillero, así como el enorme impacto en la salud asociado con la contaminación atmosférica (Nicolaou et al., 2024). El modelo de dispersión gaussiana basado en principios físicos y matemáticos, procesada a través del software AERMOD, ayudará a identificar áreas de alta contaminación, predecir fenómenos y diseñar estrategias de mitigación para abordar un problema creciente y preocupante en la región (Turtos Carbonell et al., 2010). La proliferación de estas ladrilleras y su uso de combustibles sólidos, han generado un aumento significativo en la emisión de contaminantes como 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, lo que plantea graves riesgos para la salud pública local (Gibson y Satish, 2013). Finalmente, la realización de investigaciones orientadas a la determinación de la concentración y la dispersión de contaminantes atmosféricos desempeña un papel fundamental en la gestión de la calidad del aire (Afzali et al., 2017).

### **1.4.2. Social**

Los principales beneficiarios de esta investigación son los habitantes de Juliaca, cuyo resultado servirá de conocimiento y base científica para saber cual es la calidad de aire y como se dispersa en la zona de estudio, asimismo, las autoridades locales responsables de la gestión ambiental y la salud pública se beneficiarán al contar con base de datos y evidencia científica para tomar decisiones políticas a favor de la población y medio ambiente (Khan et al., 2024). La comprensión de la magnitud y la dispersión de estos contaminantes es crucial para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y políticas ambientales que protejan la salud de la población y mejoren la calidad del aire (Matias Falcon, 2021). Los resultados obtenidos servirán como referencia para el diseño de políticas públicas dirigidas a abordar la contaminación atmosférica no solo en Juliaca, sino también en otras áreas urbanas similares en Perú y en todo el mundo.

### **1.4.3. Ambiental**

La presente investigación proporcionará la primera información documentada de dispersión de contaminantes emitidos por ladrilleras artesanales en el lugar conocido como “Salida Arequipa”, denominada zona ladrillera de la ciudad de Juliaca. La

aplicación del modelamiento proporcionará potencialmente información completa del área de estudio, respecto a los monitoreos presenciales ya que son limitados por el costo (SENAMHI, 2021). Además, servirá de base sólida para la implementación de medidas de control de la contaminación y la promoción de prácticas industriales más sostenibles en la producción de ladrillos (Jayadipraja et al., 2020). Finalmente, contribuirá al desarrollo de tecnologías y enfoques innovadores para reducir las emisiones de las ladrilleras y mejorar la calidad del aire en entornos urbanos industriales.

#### **1.4.4. Económico**

El uso del modelo AERMOD resulta económicamente viable para la realización de evaluaciones de calidad del aire debido a varias razones. En primer lugar, se trata de un software de avalado por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, Además, AERMOD permite simular múltiples escenarios de dispersión de contaminantes atmosféricos a partir de datos meteorológicos y características de las fuentes emisoras, reduciendo la necesidad de campañas extensas de monitoreo en campo, que suelen ser “**costosas**” en tiempo y recursos. Su capacidad de integrar distintos tipos de fuente (puntual, de área y de volumen), así como su compatibilidad con sistemas de información geográfica (SIG), lo convierten en una herramienta flexible y eficiente.

## CAPÍTULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Zarate (2023) usó del modelo AERMOD para la estimación de la dispersión de material particulado (PM) proveniente de la industria ladrillera de la Zona Metropolitana de Oaxaca – México, siguiendo la metodología estipulada en configuración del modelo AERMOD. El modelo se utilizó para llevar a cabo cálculos de las emisiones hacia el aire de sustancias contaminantes procedentes de la actividad industrial de fabricación de ladrillos, donde los resultados de mostraron una distribución espacial de 165 hornos ladrilleros, asimismo los hornos estudiados fueron distribuidos sistemáticamente en todos los sectores de la zona, el modelo AERMOD estimó concentraciones de material particulado (PM) que varían desde los  $4.83 \times 10^{-12} \text{ kg/m}^3$  como valor mínimo hasta  $1.10 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$  como valor máximo promedio, además se observó una dispersión que se extendía por encima de los 2 km desde la fuente en dirección noroeste.

Omidvarborna et al. (2020) llevó a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar la contribución de material particulado proveniente de dos industrias de hierro, utilizando como referencia una planta de hierro bien conocida, en este estudio, se empleó el modelo AERMOD para investigar la presencia de partículas de hierro fino ( $\text{PM}_{2.5}$  - con un diámetro aerodinámico menor a  $2,5 \mu\text{m}$ ) y partículas de hierro de tamaño superior al  $\text{PM}_{2.5}$  en la atmósfera. Los resultados indicaron que el  $\text{PM}_{2.5}$  constituye la fracción principal del material particulado de hierro en el aire, y se observó una concentración más alta de hierro ( $1.34 \mu\text{g/m}^3$ ) en las proximidades de las dos industrias de hierro. Además, se encontró una concordancia general entre las concentraciones medidas y las predichas por el modelo, lo que sugiere una buena capacidad del modelo para representar la distribución del material particulado de hierro en la atmósfera (Carr et al., 2011).

Jayadipraja et al. (2020) llevó a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar la contribución de material particulado proveniente de dos industrias de hierro, utilizando como referencia una planta de hierro bien conocida, en este estudio, se empleó el modelo AERMOD para investigar la presencia de partículas de hierro fino ( $\text{PM}_{2.5}$  - con un diámetro aerodinámico menor a  $2,5 \mu\text{m}$ ) y partículas de hierro de tamaño superior al

PM<sub>2.5</sub> en la atmósfera, así mismo, los resultados indicaron que el PM<sub>2.5</sub> constituye la fracción principal del material particulado de hierro en el aire, y se observó una concentración más alta de hierro (1.34 ug/m<sup>3</sup>) en las proximidades de las dos industrias de hierro. Además, se encontró una concordancia general entre las concentraciones medidas y las predichas por el modelo, lo que sugiere una buena capacidad del modelo para representar la distribución del material particulado de hierro en la atmósfera.

Vidal y Pérez (2018) realizaron una evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos generados por una caldera en una empresa de papel en el Valle del Cauca, utilizando el software AERMOD, durante este estudio, se modeló la dispersión de los contaminantes y se observó que el impacto en las poblaciones cercanas era bajo, cumpliendo con los límites establecidos por las regulaciones ambientales. Sin embargo, se identificaron limitaciones en el modelo en cuanto a la simulación de transformaciones químicas de los contaminantes. por lo tanto, sugiere la evaluación de otros modelos comparativos que puedan abordar estas limitaciones y proporcionar una representación más precisa de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la región.

Afzali et al. (2017) estimó las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) emitido por múltiples fuentes industriales en el área industrial de Pasir Gudang, Johor, Malasia, para ello, se empleó el modelo AERMOD en conjunto con el modelo WRF (Weather Research and Forecasting) para prever las variaciones espaciales del contaminante, durante el estudio, se evaluó las variables meteorológicas simuladas por el modelo WRF, las cuales fueron comparadas con los datos observados, demostrando una concordancia satisfactoria entre las concentraciones pronosticadas y las observadas, así mismo, observaron que las concentraciones máximas de SO<sub>2</sub> variaban en función de la estabilidad de la capa límite, la elevación y la distancia a las fuentes industriales (Krzyzanowski, 2011).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Vera y Quispe (2023) realizaron el modelamiento de material particulado (PM<sub>10</sub>) producida por el sector ladrillero del distrito San Jeronimo, del departamento del Cusco, utilizando el software AERMOD, para ello utilizaron la data meteorologia adquirida de la empresa española METEOSIM. Además realizaron la medición de parametros y valores In-Situ, como son la dimensión del horno, velocidad de salida del penacho, temperatura de salida de los gases, consumo de combustible, tiempo de

cocción y uso de materia prima. Posteriormente, lo procesaron en el software AERMOD. Los resultados mostraron una concentración máxima de  $133.12 \text{ ug/m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  sobrepasando los ECAs. Finalmente, este valor fue validado con los resultados del OEFA, concluyéndose que existe una relación directa entre la dispersión de los contaminantes y los parámetros de velocidad y dirección del viento.

Huaynatis (2021) realizó el modelamiento de la dispersión de gases en zonas de ladrillera utilizando el software AERMOD versión 8.9 y su relación con los parámetros meteorológicos del Centro Poblado Santa María de Huachipa. Para ello, utilizaron la data meteorológica del SENAMHI, considerando 3 parámetros como son la temperatura, dirección y velocidad del viento para procesarlo en el software AERMET, seguidamente realizó la medición de emisiones atmosféricas en 3 estaciones para chimeneas de la industria ladrillera, donde obtuvo datos de variables físicas y concentraciones de gases. Así también se identificó las características topográficas del área para finalmente modelarlo en el software AERMOD, los resultados mostraron concentraciones máximas de  $708,30 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{SO}_2$ ),  $1120,21 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{CO}$ ), y  $255,74 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{NO}_2$ ). Concluyéndose en la existencia de la relación de variables topográficas y meteorológicas.

Lizarraga et al. (2019) realizó la estimación de la dispersión de partículas finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ) emitidas por establecimientos de pollerías en el área metropolitana de Huancayo, esta investigación se llevó a cabo mediante el uso del modelo AERMOD, se determinó que el punto de mayor concentración de ( $\text{PM}_{2.5}$ ) no se encontraba en el centro de las pollerías, sino en el distrito de Chilca, donde existe una mayor actividad económica y vientos estables. Como recomendación, sugieren el uso continuo del modelo AERMOD debido a su eficacia para modelar contaminantes atmosféricos. Los datos obtenidos del inventario de emisiones y las mediciones de campo validaron el rendimiento del modelo AERMOD en este contexto de estudio.

Espinoza (2018) analizó la dispersión de contaminantes atmosféricos, como  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{PM}_{10}$ , emitidos por la central térmica Ventanilla de Enel Generación Perú S.A.A. Los resultados mostraron una concentración de  $58.16 \text{ mg/Nm}^3$  de  $\text{NO}_x$ ,  $19,28 \text{ mg/m}^3\text{N}$  de  $\text{CO}$ ,  $3,66 \text{ mg/m}^3\text{N}$  de  $\text{SO}_2$  y  $4,84 \text{ mg/m}^3\text{N}$  de  $\text{PM}_{10}$ . A través de la simulación utilizando el modelo AERMOD, se determinó que los niveles de concentración de estos contaminantes emitidos por la chimenea TG-34 de la central térmica de Ventanilla, no

superaban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el (D.S 003-2017-MINAM).

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Marroquin (2024) determinó la dispersión de material particulado ( $PM_{10}$ ) en un desvío provisional, aplicando el modelo AERMOD en el centro poblado de Kunurana Alto, Melgar, Puno. La finalidad de la investigación fue establecer la distribución de partículas finas ( $PM_{10}$ ). Para ello, utilizó la información meteorológica obtenida de la empresa española METEOSIM y las tasas de emisión fueron calculadas según ecuaciones del factor de emisión de la AP-42 para vías no pavimentadas, posteriormente el modelo fue ajustado para contener en el periodo de octubre a diciembre del 2023, con una duración de evaluación de 24 horas, con un rango de elección del octavo valor más alto para luego ser comparados con el ECA para aire. Los resultados mostraron una estimación de  $191.41 \text{ ug/m}^3$  ( $PM_{10}$ ), excediendo el valor estandarizado. Finalmente se comparó este valor con concentraciones que recibieron tratamiento de riego lluvioso, reportándose concentraciones bajas.

Calsin (2019) determinó los agentes contaminantes en la calidad ambiental del aire generados por la combustión o quema de las ladrilleras artesanales en la comunidad campesina de Esquen Tariachi de la ciudad de Juliaca, la metodología, implicó en tomar 3 tres puntos de monitoreo o muestras de acuerdo con el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire” distribuidos en el área de estudio utilizando un tren de muestreo y rotámetro – DWYER modelo RMA-13. Los resultados mostraron para dióxido de azufre ( $SO_2$ ) concentraciones de 13.48, 14.24 y  $14.10 \text{ ug/m}^3$ , para dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) 3.57, 5.73 Y  $4.63 \text{ ug/m}^3$  y para monóxido de carbono (CO), 622.41, 732.54 y  $633.14 \text{ ug/m}^3$  respectivamente, los cuales se encuentran muy por debajo de los Estándares de la Calidad Ambiental determinados en el D.S. 003-2017-MINAM.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Contaminación atmosférica**

Los contaminantes atmosféricos son sustancias presentes en la atmósfera que, en determinadas cantidades y tiempos, pueden afectar la vida de los seres vivos (Wark y Warner 1994). Según normas nacionales e internacionales, se ha denominado a un grupo de especies químicas como “contaminantes atmosféricos criterio” debido a que estas son utilizadas como criterio para evaluar la calidad del aire (Ramiro et al., 2015) Para evaluar la calidad del aire, se consideran como contaminantes atmosféricos criterio ciertas especies químicas, de acuerdo con normas nacionales e internacionales, siendo en Perú, los contaminantes criterio incluyen monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), hidrógeno sulfurado (H<sub>2</sub>S) y material particulado (PM) (SENAMHI, 2011).

### **2.2.2. Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios**

Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera, entre ellos se encuentran el monóxido de carbono (CO), el plomo (Pb), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC), material particulado (MP), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones. Por otro lado, los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Son importantes contaminantes secundarios el ácido sulfúrico, (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) que se forma por la oxidación del SO<sub>2</sub>, el dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>, que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el ozono, (O<sub>3</sub>), que se forma a partir del oxígeno O<sub>2</sub> (Reyes, 2025).

### **2.2.3. Contaminantes atmosféricos generados por la industria ladrillero.**

Los principales contaminantes reportados por el sector ladrillero se relacionan con monóxido de carbono (CO), de material particulado menor a 2.5 y 10 micrómetros (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>), metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), bifenilos policlorados (BPC), dioxinas, entre otras. (Galvis, 2017).

## 2.2.4. Contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud humana

Es la presencia sustancias toxicas en el aire que pueden ser perjudiciales y tienen efectos adversos significativos en la salud humana, asociadas a las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer al pulmón (Ver tabla 1).

**Tabla 1**

*Contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud humana*

<b>Contaminante</b>	<b>Síntomas</b>	<b>Efectos</b>
Material Particulado (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> )	Apnea, ataques de asma, irritación de ojos, nariz y garganta, tos y opresión del pecho	Respiratorios, cardiovasculares, estrés oxidativo e inflamación
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Disnea, tos, flema, irritación de los ojos y garganta, cansancio y falta de aire	Respiratorios, asma y aumentando la susceptibilidad a infecciones
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Irritación de nariz, ojos y garganta	Respiratorios y resistencia pulmonar
Monóxido de carbono (CO)	Dolor de cabeza, somnolencia, mareos, visión borrosa, náuseas, esfuerzo y falta de aliento	Sistema nervioso central y cardiacos; reducción de capacidad de transferir oxígeno
Ozono (O <sub>3</sub> )	Dolor de garganta, tos, opresión en el pecho y dificultad para respirar	Irritación respiratoria, asma
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S)	irritación leve de ojos, nariz y garganta	Daño neurológico, edema pulmonar, perdida de conocimiento y muerte
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	Efectos en la piel, irritación de la nariz y pulmones, depresión y fatiga	Cardiopatías, daño al hígado, afectación del desarrollo del sistema nervioso

*Nota.* Extraído del trabajo científico de Rodríguez et al. (2020)

### 2.2.5. Dispersión de contaminantes

La dispersión de contaminantes se refiere a la difusión y movimiento de sustancias contaminantes en la atmósfera, una vez que los contaminantes se vierten a la atmósfera tiene lugar su dispersión. Influye en forma decisiva en los niveles de inmisión y por lo tanto en el grado de contaminación a que se ven sometidos los componentes de la biosfera. En la atmósfera se producen reacciones fotoquímicas, generación de radicales libres y agentes oxidantes que van a contribuir en la formación de ozono (O<sub>3</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en presencia de óxidos de nitrógeno como así también la formación de ácido sulfúrico y ácido nítrico que contribuyen a la lluvia ácida (Reyes, 2025).

### 2.2.6. Estabilidad atmosférica y su influencia en la dispersión

La estabilidad atmosférica está asociada con la comparación entre el gradiente de temperatura seca adiabática y el gradiente de temperatura ambiental. En situaciones adiabáticas, un volumen de aire ascendente con temperatura moderada se comporta de manera similar a un globo, expandiéndose hasta que su densidad se iguala con la del aire circundante (Park et al. 2009), las condiciones meteorológicas que no se conozcan pueden ser deducidas a partir de las condiciones climáticas y la velocidad del viento medida a una altura de 10 metros, como se muestra en la tabla 2 (Pasquill, 1961).

**Tabla 2**

*Clases de estabilidad de Pasquill y condiciones climáticas.*




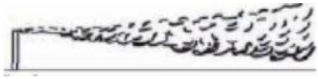


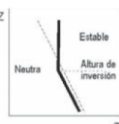

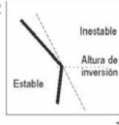

Viento (m/s)	Insolación fuerte	Insolación moderada	Insolación débil	Nubosidad nocturna inferior a 4/8	Nubosidad nocturna superior a 4/8
<2	A	A,B	B	-	-
2 - 3	A,B	B	C	E	F
3 - 5	B	B,C	C	D	E
5 - 6	C	C,D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

*Nota.* A (Muy estable), B (Inestable), C (Ligeramente inestable), D (Neutra), E (Ligera estabilidad) y F (Estable) (Pasquill, 1961)

Las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes de emisión son afectadas por la estabilidad atmosférica y el gradiente de temperatura, lo que resulta en la formación de diferentes patrones de dispersión como penachos looping, coning, fanning, fumigating y lofting (Gallego et al., 2012). Estos tipos de penachos se encuentran descritos en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Estabilidad atmosférica, gradiente de temperatura y evolución de penachos.*

Atmósfera	Gradiente térmico	Gráfico del gradiente térmico	Tipo de penacho
Inestable	$\left(\frac{-dT}{dz}\right) > \Gamma$		 Penacho serpenteante (looping) con vientos ligeros
Neutra	$\left(\frac{-dT}{dz}\right) = \Gamma$		 Penacho cónico (coning) en ausencia de vientos
Estable	$\left(\frac{-dT}{dz}\right) << \Gamma$		 Penacho tubular (fanning) en ausencia de viento
Inversión térmica:			
inestable o neutra abajo, inversión encima	$\left(\frac{-dT}{dz}\right) < \Gamma$ $\left(\frac{-dT}{dz}\right) = \Gamma$		 Penacho fumigante (fumigating)
Inversión térmica:			
inversión abajo, inestable encima	$\left(\frac{-dT}{dz}\right) > \Gamma$ $\left(\frac{-dT}{dz}\right) < \Gamma$		 Penacho antifumigante (lofting)

-----: Gradiente de temperatura adiabático ( $\Gamma$ )

-----: Gradiente de temperatura existente

*Nota.* Tipos de penacho influenciados por la estabilidad atmosférica y el gradiente de temperatura (Gallego et al., 2012)

### 2.2.7. Modelos de dispersión de contaminantes

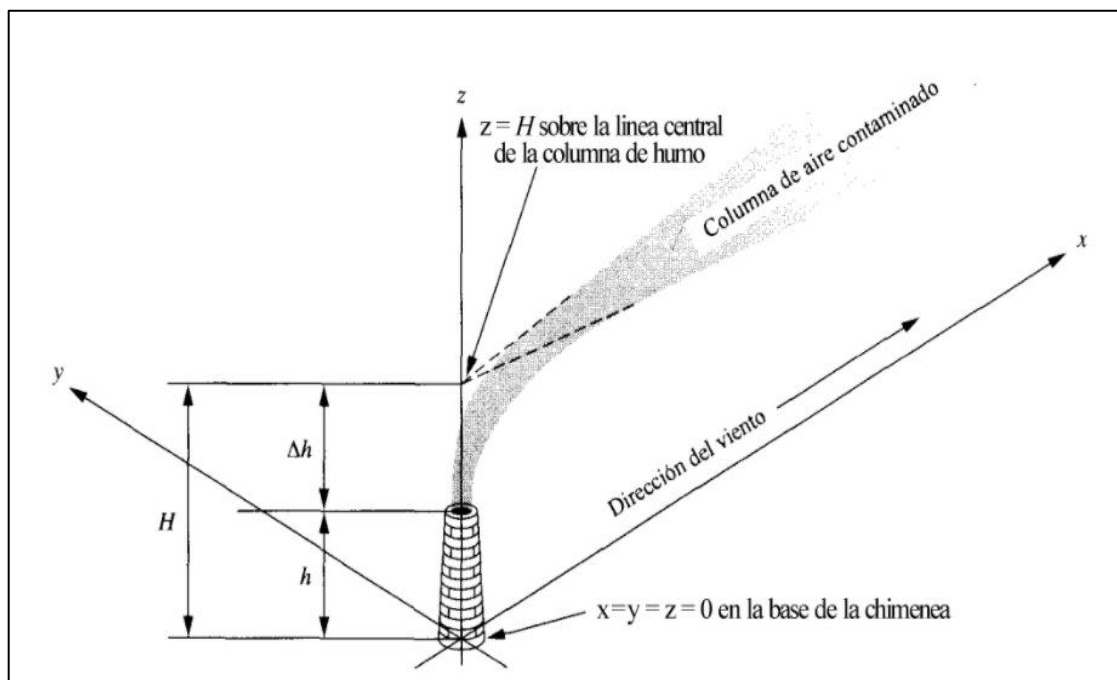
Los modelos de dispersión, son métodos para calcular la concentración de contaminantes a nivel del suelo y a diversas distancias de la fuente. En la elaboración de modelos se usan representaciones matemáticas de los factores que afectan la dispersión de contaminantes. Las computadoras, mediante modelos, facilitan la representación de los complejos sistemas que determinan el transporte y dispersión de los contaminantes del aire (Laura, 2022).

#### a) Modelo gaussiano

El modelo de dispersión gaussiano es empleado para simular la propagación tridimensional de una pluma de contaminantes bajo condiciones estables tanto de emisiones como meteorológicas (SEA, 2018). Las concentraciones son calculadas utilizando una distribución gaussiana, la cual se determina considerando la dirección del viento que resulta de estas condiciones (Nevers, 1998).

**Figura 1**

*Esquema de una pluma gaussiana*



*Nota.* Extraído del trabajo científico de Nevers, (1998)

Según Gallego et al. (2012) se utiliza una ecuación específica dependiendo del tipo de fuente, ya sea puntual instantánea, puntual continua o lineal. Estas ecuaciones están descritas en detalle en la Tabla 4.

**Tabla 4***Ecuaciones del modelo de difusión gaussiano*

Tipo de fuente	Ecuación de la concentración
Fuente puntual instantánea	$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)$
	A nivel del suelo
	$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left[ \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$
	A nivel del suelo y en la línea central de la dispersión
	$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z}$
Fuente puntual continua	A la altura efectiva de la chimenea ( $H_e$ ) (considerando la reflexión al nivel del suelo)
	$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left[ \exp\left(-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$
	$C(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left[ \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$
	$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$
	A la altura efectiva de la chimenea ( $H_e$ ) (sin considerar la reflexión al nivel del suelo)
	$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[ \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left[ \exp\left(-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$
Fuente lineal	$C(x, 0) = \frac{2q}{(2\pi)^{1/2} u \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e}{\sigma_z}\right)^2\right]$

Donde:

- Q es el caudal de la emisión g.s<sup>-1</sup>.
- x,y,z, son las coordenadas en metros, siendo x la dirección del viento.
- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ , son las desviaciones típicas de la distribución de contaminante (longitudinal, transversal y vertical) en metros.
- u es la velocidad del viento en m.s<sup>-1</sup>.
- t es el tiempo de viaje del contaminante, segundos.
- $C(x,y,z,t)$  es la concentración del contaminantes en un punto dado.

*Nota.* Extraído de trabajo científico de Gallego et al. (2012).

## b) Modelo de dispersión gaussiana AERMOD

El modelo de dispersión gaussiano de estado estable, propuesto por (Cimorelli et al., 2005), es una herramienta valiosa para prever cómo se esparcen los contaminantes en una variedad de escenarios, incluyendo entornos rurales y urbanos, terrenos simples y complicados, así como en presencia de múltiples fuentes de emisiones. El modelo se fundamenta en la distribución gaussiana de la concentración de contaminantes tanto en dirección vertical como horizontal (Kesarkar et al., 2007). En relación al sistema de modelado, incluye los programas principales AERMOD, AERMET y AERMAP. AERMET es responsable de calcular los parámetros de la capa límite y suministrar los datos meteorológicos requeridos para AERMOD (Cimorelli, Alan J; Perry, Steven G. et al., 2004).

### 2.2.8. Inventario de emisiones atmosféricas

El inventario de emisiones atmosféricas se refiere a un conjunto de datos organizados por tipo de fuente, que registra las emisiones de contaminantes atmosféricos en una región geográfica específica durante un periodo de tiempo determinado (EPA, 1999). Este registro brinda información detallada acerca del número de fuentes emisoras, los tipos de contaminantes atmosféricos liberados y la cantidad específica de contaminantes emitidos hacia el aire (Gaitán y Cárdenas 2017), un inventario de emisiones atmosféricas se expresado como:

$$IEA = \sum_{i=1}^n E_{j,t} \quad (1)$$

$$IEA = \sum_{i=1}^n (FE_{j,t} \times FA_{i,t}) \quad (2)$$

#### Donde:

- IEA: Inventario de emisiones atmosféricas para la sustancia o mezcla de sustancias (j) en el periodo de tiempo (t).
- $E_{j,t}$ : Emisión atmosférica de la sustancia o mezcla de sustancias (j), generada por la actividad (i) en el periodo de tiempo (t).
- n: Número total de actividades a inventariar.

- FE<sub>j,i</sub>: Factor de emisión de la sustancia o mezcla de sustancias (j) para la actividad (i).
- FA<sub>i,t</sub>: Factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t)

**a) Factor de emisión atmosférica**

El factor de emisión atmosférica describe la relación entre la cantidad de un contaminante emitido y un determinado nivel de actividad, y se representa como la cantidad de contaminante liberado por cada unidad de medida, ya sea peso, volumen, distancia o duración de la actividad (Gaitán y Cárdenas 2017).

**b) Tasa de emisión**

La tasa de emisión, en términos generales, se refiere a la cantidad de un contaminante que se libera al medio ambiente desde una fuente específica, como una fábrica o un vehículo, por unidad de tiempo o por unidad de actividad (Gaitán y Cárdenas 2017).

**2.2.9. Clasificación de fuentes**

La clasificación de fuentes que liberan contaminantes a la atmósfera se agrupan en 3 categorías principales:

**a) Fuentes fijas**

Son aquellas fuentes de emisión situadas en un espacio físico determinado, identificable y estacionario. La fuente fija puntual es implementada en las operaciones unitarias de las actividades extractivas, productivas y/o de servicios, para la descarga de emisiones a la atmósfera a través de ducto(s) o chimenea(s). (MINAM, 2021).

**b) Fuentes de área**

Las fuentes de área representan aquellas que son demasiado numerosas y dispersas como para poder ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales. Las fuentes de área representan un porcentaje significativo de las emisiones de contaminantes, por lo que siempre deben incluirse en un inventario de emisiones para asegurar que éste se encuentre completo (MINAM, 2021).

**c) Fuentes móviles**

Las fuentes móviles de emisión están constituidas por los vehículos automotores que incluyen automóviles, camiones y autobuses diseñados para circular en la vía pública

debido a la magnitud de sus emisiones y las consideraciones especiales requeridas para estimar su volumen, los vehículos automotores se manejan separadamente de otras fuentes de área (MINAM, 2021).

#### **2.2.10. Industria de fabricación de ladrillos artesanales**

Son instalaciones de fábrica de unidades de albañelería que operan a través de hornos empleados para el quemado o cocción de los ladrillos, son artesanales del tipo escocés o de fuego directo en cuyo interior el combustible está en contacto directo con los ladrillos crudos (MINAM, 2021).

##### **a) Proceso de fabricación de ladrillos**

La fabricación de ladrillos y productos de arcilla estructural implica la extracción, molienda, cribado y mezcla de las materias primas, seguida de la conformación, corte o moldeado, secado, cocción, enfriamiento, almacenamiento y envío del producto final (MINAM, 2021).

##### **b) Horno ladrillero**

Un horno ladrillero es una estructura permanente de ladrillos con una serie de orificios por los que entra el combustible. Los gases calientes procedentes del combustible se elevan primero sobre los ladrillos, descienden a través de ellos por conductos subterráneos y salen del horno hacia la atmósfera (MINAM, 2021).

#### **2.2.11. Meteorología**

La meteorología es el estudio de la atmósfera y sus movimientos a escalas temporales cortas. Comúnmente conocida como “tiempo atmosférico”, se centra en las variables atmosféricas relacionadas con las condiciones actuales o futuras. Diversos elementos meteorológicos describen la atmósfera, como la temperatura, la humedad, la cantidad y el tipo de precipitación, la dirección e intensidad del viento, la presión atmosférica y la nubosidad (Coleman y Law, 2015).

#### **2.2.12. Geografía**

La geografía se define como el estudio que describe y analiza la variación espacial y temporal de los fenómenos sobre la superficie de la Tierra, incorporando perspectivas de una amplia gama de materias de las ciencias sociales y naturales (Harrison, 2009).

# CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

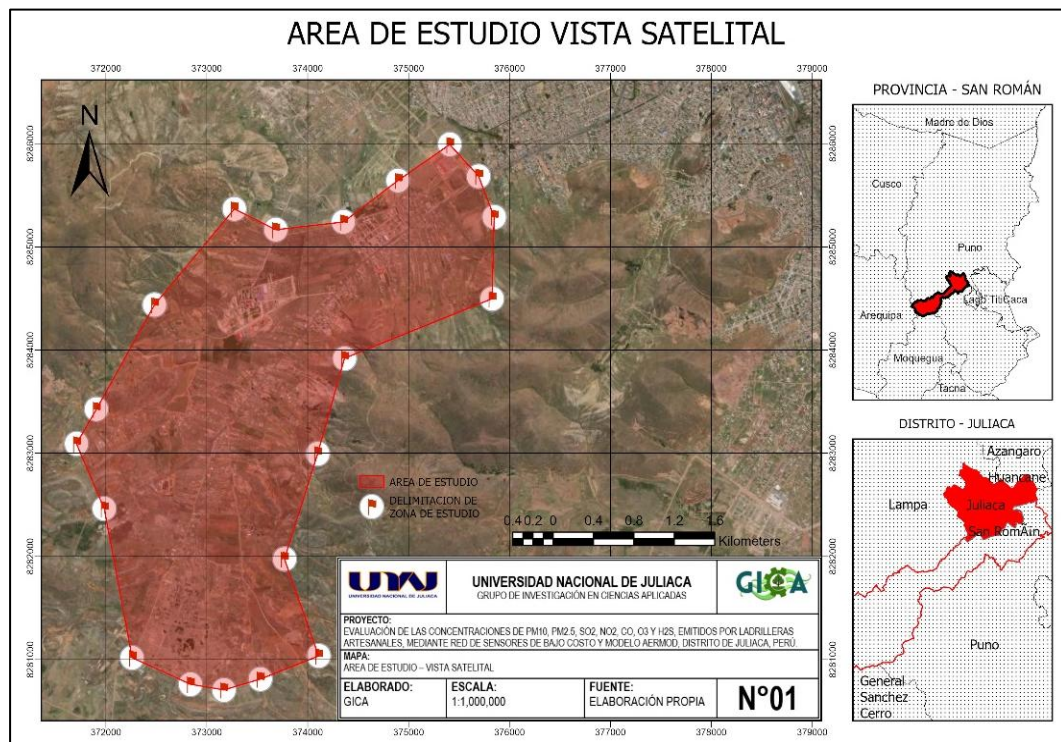
### 3.1 **Ámbito de estudio**

La presente investigación se desarrolló dentro de los límites políticos y geográficos del distrito de Juliaca, ubicado en la provincia de San Román, departamento de Puno, en el sur del Perú. Específicamente, en el lugar conocido como “Salida Arequipa”, denominada zona ladrillera de la ciudad de Juliaca, en las coordenadas UTM 8283753.86 m Norte y 373562.93 m Este, a una altitud de 3,824 metros sobre el nivel del mar, situado en los límites geográficos:

**Tabla 5**  
*Límites de la zona de estudio*

Orientación	Descripción
Norte	Se ubica el campus universitario – la Capilla, de la Universidad Nacional de Juliaca
Sur	Se ubica el sector Yocará – Cambraca de la ciudad de Juliaca
Este	Se ubica la Plaza de Armas de la ciudad de Juliaca
Oeste	Se ubica el campus universitario, de la Universidad Peruana Unión

**Figura 2**  
*Área de estudio en vista satelital*



### 3.2 Tipo y nivel de investigación

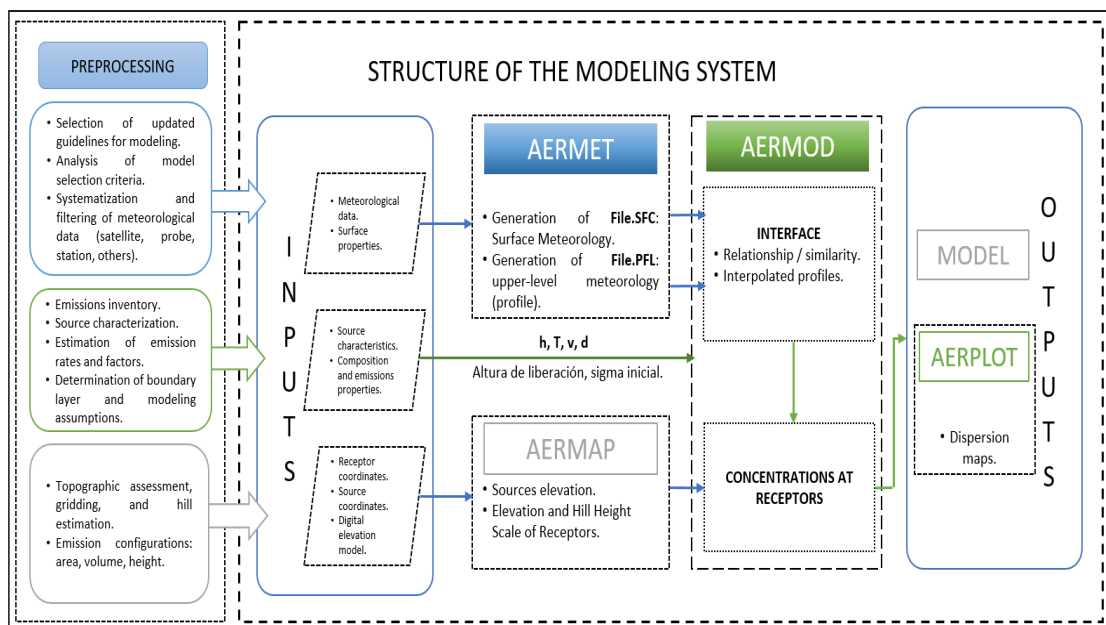
La presente investigación es de tipo aplicado y se basa en un diseño de investigación transversal no experimental con un enfoque cuantitativo.

### 3.3 Metodología

La presente investigación se desarrolló de en base al modelo de dispersión “gaussiana” el cual se consta de principios físicos y matemáticos, que asume una dispersión de pluma o penacho de humo, a fin de predecir la distribución probabilística de las concentraciones causadas por una fuente determinada y su dispersión condicionada por las variables meteorológicas y geográficas. El proceso se llevó a cabo mediante software AERMOD, que modela dispersión gaussiana (EPA, 2024). Donde se ingresó datos de entrada de meteorología y topografía, así como las dimensiones de la estructura de los hornos ladrilleros, variables físicas de temperatura y velocidad de salida de gases, tasas de emisión calculados a partir del uso de factores de emisión y mediciones directas In-Situ, posteriormente se procesó en el software y finalmente se realizó el análisis de resultados (Vera y Quispe, 2023). Es preciso mencionar que este software es validado y recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

**Figura 3**

*Estructura del modelado con software AERMOD*



*Nota. Elaboración Propia*

### 3.4 Población y muestra

#### 3.4.1 Población

La población de estudio abarcó un foco de 312 los hornos ladrilleros artesanales, ubicadas en la zona de la salida Arequipa del distrito de Juliaca, perteneciente a la provincia de San Román, región de Puno.

#### 3.4.2 Muestra

Dadas las particularidades de las ladrilleras artesanales, fue necesario establecer un tamaño muestral representativo para la implementación del instrumento de recolección de datos, con la finalidad de describir adecuadamente la totalidad del universo. Por ello, se aplicó un método de muestreo aleatorio sistemático con un margen de error del 0.5 % y un nivel de confianza del 95% (Fernández, Sánchez, y Largo, 2002).

$$n_o = \frac{Z^2_{(1-\alpha/2)} \times \rho \times q}{\varepsilon^2} \quad (3)$$

Donde:

$n_o$ : Tamaño de muestra

$Z_{(1-\alpha/2)}$ : Valor estadístico de la distribución normal (Z-normal)

$\rho$ : Proporción de variable de interés

$q$ : Complemento de  $\rho$

$\varepsilon$ : Margen de error

Posteriormente, se llevó a cabo la evaluación de las condiciones necesarias para aplicar la regla de decisión.

$\frac{n_o}{N} \geq 0.05$ : Corrección de la muestra preliminar

$\frac{n_o}{N} < 0.05$ : Aceptación de la muestra ( $n_o=n$ )

Por último, se determinó la muestra óptima y, realizando el ajuste necesario.

$$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \quad (4)$$

Al aplicar la fórmula anterior, se determinó que la muestra es de 56 hornos ladrilleros los cuales fueron seleccionados sistemáticamente para el desarrollo de la presente investigación.

### 3.5 Materiales y equipos

#### 3.5.1 Materiales

- Tableros
- Lapiceros
- Libreta de Campo
- Flexómetro
- Papel Boom

#### 3.5.2 Equipos

- GPS de mano (GARMIN - Montana 700),
- Termómetro infrarrojo (FLIR TG 165)
- Analizador de gases de combustión (TESTO 350)
- Computadora de mesa (Asus Rog Strix, Ryzen 9)
- Cámara Fotográfica (FX 30 SONY)
- Drone (Phamton 4 pro)

#### 3.5.3 Softwares

Para llevar a cabo la investigación, se emplearon los programas mencionados en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Softwares necesarios para la realización de la investigación.*

<b>Software</b>	<b>Categoría de software</b>	<b>Versión</b>
AERMOD View	Modelado de dispersión del aire	12.0.0
AERMET View	Procesador de datos meteorológicos	12.0.0
WRPLO View	Procesador de datos meteorológicos	12.0.0
ArcGIS Pro	Sistemas de información geográfica	3.4.0
Google Earth Pro	Sistemas de información geográfica	7.3.6
Microsoft Excel	Estadística	26

*Nota.* Elaboración Propia

### **3.6 Estimación 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 emitidas por las ladrilleras artesanales.**

#### **3.6.1 Geolocalización de hornos ladrilleros**

El proceso de geolocalización de las ladrilleras artesanales se desarrolló a través de la recolección de datos y recopilación de información existente; georreferenciación de ladrilleras mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG); análisis de datos geospaciales para la identificación de patrones espaciales; elaboración de mapas temáticos y de distribución espacial; y la interpretación de resultados, llevándose a cabo en la ciudad de Juliaca, ubicada en la región de Puno, al sur de Perú. Específicamente, en lugar conocido como “Salida Arequipa”, denominada zona ladrillera de la ciudad, para ello se siguió los siguientes pasos:

##### **a) Recopilación de datos**

La recolección de datos de las ladrilleras artesanales, características y los parámetros más relevantes fueron recopilados a través de fuentes bibliográficas como instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y estudios previos. El criterio de la selección de la zona de estudio se determinó, en referencia al registro de una alta densidad de hornos ladrilleros (PRODUCE y PRAL, 2014). Esta etapa, se llevó a cabo a través de un análisis preliminar en gabinete mediante la recopilación y revisión de información existente, la cual posteriormente fue validada a través de la georreferenciación de cada horno ladrillero utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

##### **b) Trabajo de campo**

El trabajo de campo se llevó a cabo a través de una verificación In-Situ, con el objetivo de validar la información recopilada y obtener datos complementarios sobre la ubicación y características de las ladrilleras artesanales. Esta actividad consistió principalmente en recorridos e inspección visual, toma de puntos de ubicación con el (GPS), sobrevuelo con un dron en la zona de estudio y llenado de ficha técnica de geolocalización (ver ANEXO 1).

##### **c) Digitalización de datos**

Los datos obtenidos en campo fueron digitalizados en formato XLSX del software Excel, principalmente las coordenadas (UTM) ubicadas con el (GPS). La información

recopilada fue procesada y transferida a un Sistema de Información Geográfica (SIG), permitiendo una gestión eficiente de los datos y la identificación de las fuentes de emisión creando mapas temáticos que representan la distribución espacial de las ladrilleras artesanales.

#### **d) Visualización de resultados**

Los resultados del análisis se representaron a través de tablas, mapas y gráficos de manera visual, que facilitó la comprensión de la información recopilada.

### **3.6.2 Medición de las concentraciones de emisión**

#### **a) Identificación de medidas previas**

La medición de los gases emitidos por las ladrilleras artesanales se llevó a cabo considerando los siguientes aspectos: (Vera y Quispe, 2023).

- Accesibilidad a los establecimientos de producción de ladrillos
- Revisión de estudios realizados previamente
- Unidades emisoras representativas
- Confiabilidad y precisión en la medición.

#### **b) Selección de puntos**

La selección de los puntos de muestreo se realizó de manera aleatoria además de considerar ladrilleras artesanales representativas en el área de influencia directa (Silva y Dagoberto, 2011).

#### **c) Cuantificación de puntos**

La cuantificación fue definida de acuerdo con la representatividad del área de estudio abarcando el universo de todas las estructuras emisoras de la zona de estudio considerando 5 puntos de medición (Guerrero, et al., 2017; Junior et al., 2023). Las mediciones, se realizaron en las siguientes coordenadas descritas de la tabla 7, la selección de los puntos se realizó considerando aspectos como; accesibilidad, unidades emisoras representativas y confiables, para obtener datos con mayor precisión en la medición (Vera y Quispe, 2023).

**Tabla 7***Puntos de medición de gases en fuente*

Nº	Categoría de fuente fija	CÓDIGO	Coordenadas UTM	
			DATUM WGS 84 ZONA 19L	
			ESTE	NORTE
1	Ladrillera Artesanal	H33	372487	8281409
2	Ladrillera Artesanal	H74	372697	8282070
3	Ladrillera Artesanal	H81	372764	8282223
4	Ladrillera Artesanal	H175	371979	8283147
5	Ladrillera Artesanal	H232	374859	8284894

*Nota.* Elaboración Propia**d) Equipo de empleado**

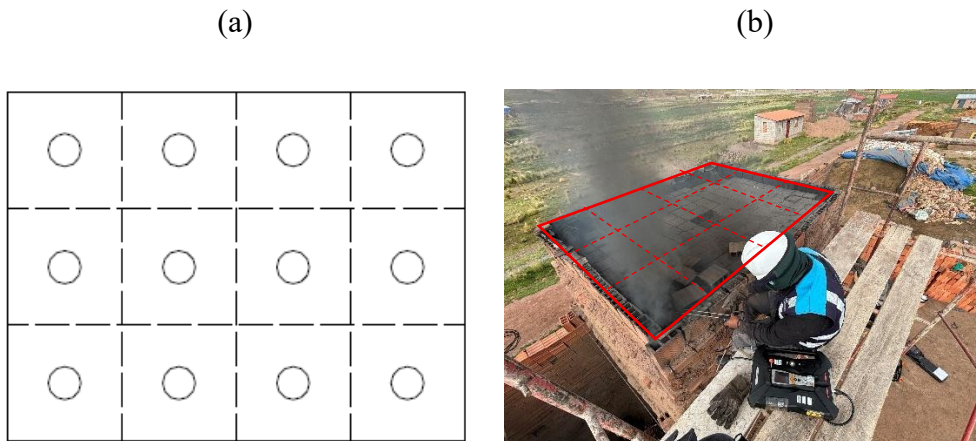
Se empleó un analizador de gases de combustión de marca: TESTO, modelo: 350 el cual se utilizó para medir las concentraciones de los gases emitidos por las ladrilleras artesanales (Neyra, 2019).

**e) Método de medición**

La metodología empleada para el proceso de medición se llevó a cabo en la parte superior del horno ladrillero (ver Figura 3). Dado que el horno no cuenta con una chimenea, se definió una división imaginaria del área en cuadrantes de igual tamaño. Para seleccionar el punto de muestreo, se identificó la zona con mayor liberación de gases, ubicando la sonda en el centroide de dicha área, con 3 repeticiones en intervalos de 15 minutos por punto, simulando así un muestreo isocinético. Respecto al dato de combustible requerida por el testo, se seleccionó la opción “carbón” ya que es el único que guarda relación con los combustibles utilizados en este tipo de hornos ladrilleros. Cabe mencionar que esta metodología también fue aplicada por Gómez et al., (2017) quien simuló un muestreo isocinético empleando un analizador de gases portátil, realizando 3 corridas con 4 mediciones por punto en intervalos de 15 minutos. Por otro lado, Junior et al. (2023) siguió el procedimiento la Norma Técnica Internacional CTM30 de la EPA, y la norma colombiana de emisiones al aire desde fuentes fijas como referencia, simulando un muestreo isocinético con un analizador de gases marca TESTO modelo T360, donde se evaluó la concentración de contaminantes en 8 repeticiones en intervalos de 3 minutos por punto.

#### Figura 4

(a) Puntos de medición (b) Mediciones en In - situ, con el TESTO 350.



#### f) Medición de las variables físicas

El TESTO 350, permitió conocer las principales variables físicas como; velocidad de salida de gases, temperatura, caudal, y porcentaje de oxígeno de los gases contaminantes emitidas por las ladrilleras artesanales. Finalmente estos, fueron cruciales para el modelamiento con el software AERMOD, (Daza G et al., 2018; Martha, 2021).

#### g) Visualización de resultados.

Los resultados de la medición fueron impresos por el TESTO print, en tickets informativos registradas por el TESTO - 350, obteniendo resultados in situ, los cuales fueron digitalizados y analizados mediante tablas comparativos (Quispe, 2019). La comparación se realizó considerando promedios representativos de emisión por cada ladrillera artesanal asumiendo una representatividad de estas (Gibson, Kundu, y Satish 2013).

#### h) Adecuación de unidades

Las unidades de medición fueron convertidas y expresadas en mg/sN aplicando de la ecuación general de los gases ideales y la equivalencia de unidades de ppm a mg/m<sup>3</sup>N, así como la corrección a condiciones normales y un oxígeno del 18% (ver ANEXO 3) (Guerrero, 2017), a fin de realizar el análisis comparativo con el proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Límites Máximos Permisibles para emisiones atmosféricas de las actividades de fabricación de ladrillos (RM 111-2021-MINAM). Es preciso mencionar que esta norma es referencial debido a que es un proyecto de ley en proceso de aprobación y es no es aplicado específicamente para hornos ladrilleros artesanales.

### **3.7 Estimación del aporte 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 emitidas por las ladrilleras artesanales.**

#### **3.7.1 Inventario de emisiones atmosféricas.**

El inventario de emisiones atmosféricas se llevó a cabo principalmente siguiendo la metodología descrita en la guía de la EPA (1999) “Manual para el desarrollo de inventarios de contaminantes de criterio: una guía para principiantes sobre fuentes puntuales y de área”. El cual consistió en lo siguiente:

##### **a) Revisión de información preliminar**

Inicialmente, se hizo una revisión bibliográfica de los manuales de fundamentos y planeación del inventario de emisiones, siguiendo la metodología descrita en la (EPA, 1999). Así como el trabajo realizado por Enrique et al. (2020), que sirvió de referencia para la ejecución del presente trabajo de investigación.

##### **b) Recopilación de información**

La recopilación de información consistió en la obtención de datos provenientes de trabajos realizados y/o similares a la presente investigación (PRODUCE y PRAL, 2014), así como el levantamiento de información en campo, considerando aspectos fundamentales como; la accesibilidad, disponibilidad de tiempo, entre otros factores relevantes para aplicación del instrumento de encuesta (Canal et al., 2022).

##### **c) Aplicación de encuestas**

Para la aplicación de encuestas se fijó fechas y horarios conforme a la planificación, considerando una muestra de 56 hornos ladrilleros artesanales, distribuidos sistemáticamente (ver ANEXO 6) (Gaitán M. et al. 2017). Para ello, se contó con un equipo de encuestadores para cubrir la totalidad de la zona de estudio. Así mismo, se diseñó un formato de encuestas basado en preguntas de interés para el desarrollo de la presente investigación (ver ANEXO 2). Ello, con el propósito de estimar el aporte de contaminantes a la atmósfera, centrándonos en las emisiones generadas por los hornos ladrilleros artesanales (Moscoso et al., 2013).

#### d) Alcance del inventario de emisiones

El inventario se centró exclusivamente en fábricas de ladrillos artesanales, ya que son el foco de emisión de contaminantes que contribuyen al deterioro de calidad del aire de la ciudad de Juliaca (PDU, 2016). En ese contexto, se seleccionaron 56 hornos ladrilleros para la aplicación de encuestas, las cuales fueron distribuidas de manera sistemática según la geolocalización realizada inicialmente (Fernández et al., 2002). De modo que, se precisó una representación integral abarcando la totalidad del área de estudio descrita en la siguiente tabla 8.

**Tabla 8**

*Alcance del inventario de emisiones atmosféricas.*

Componente	Área de estudio	Actividad
Alcance	Zona ladrillera de la ciudad de Juliaca	
Área	10,558.78 m <sup>2</sup>	Fabricación de ladrillos
Temporalidad	Correspondiente al año 2024	

*Nota.* Elaboración Propia

#### e) Visualización de resultados

Los datos obtenidos de la encuesta fueron procesados y estructurados en tablas y representaciones gráficas, a fin de visualizar y obtener datos para la estimación gases contaminantes por las ladrilleras artesanales (Moscoso et al., 2013).

### 3.7.2 Estimación del aporte de las emisiones atmosféricas

#### a) Selección del factor de emisión

Por la naturaleza de esta investigación, se emplearon factores de emisión referenciados para los contaminantes PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, cuyos valores son 29 g/kg y 2.61 g/kg, respectivamente. Para el caso de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO se procedió mediante el cálculo a partir de mediciones In-Situ, en tanto para el O<sub>3</sub> y el H<sub>2</sub>S se aplicaron factores teóricos para un modelamiento en el máximo supuesto. Estos datos se obtuvieron de estudios publicados en la Revista Boliviana de Química (“Modelamiento de la dispersión de PM<sub>10</sub> de las ladrilleras del distrito de San Jerónimo”- Cusco, factores de emisión IPCC) y de Climate & clean air coalition, de la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM).

## **b) Cálculo de la tasa de emisión**

El cálculo de las tasas de emisión para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, así como el O<sub>3</sub> y el H<sub>2</sub>S se realizó aplicando factores de emisión e intensidad de la actividad obtenidas a través del inventario, aplicando la siguiente ecuación (EPA - 42, 1999):

$$E = FE * A \quad (6)$$

*Donde:*

*E: Emisión de contaminante (g/s)*

*FE: Factor de la emisión (g/kg)*

*A: Intensidad de la actividad (kg/s)*

Las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO se calcularon a partir de mediciones directas, cuyas concentraciones obtenidas fueron convertidas a unidades de mg/s, utilizando la ecuación de los gases ideales para la conversión de ppm a mg/m<sup>3</sup> en condiciones normales con 18% de oxígeno (Guerrero, 2017); seguidamente, se multiplicó la concentración y caudal de salida de los gases.

### **3.8 Predicción de la distribución geográfica 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 emitidas por ladrilleras artesanales.**

#### **3.8.1 Procesamiento de la data meteorológica**

Los datos meteorológicos empleados fueron obtenidos a través de la plataforma del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024). La información fue recabada desde una estación meteorológica automática, identificada con el código 472CF72C. La recolección de datos se realizó a escala horaria; es decir, una recopilación sistemática de información a cada hora del día, mes y año, por un periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del 2024. Las variables meteorológicas consideradas para este estudio fueron;

- Temperatura
- Precipitación
- Humedad relativa
- Dirección del viento
- Velocidad del viento
- Cobertura nubosa

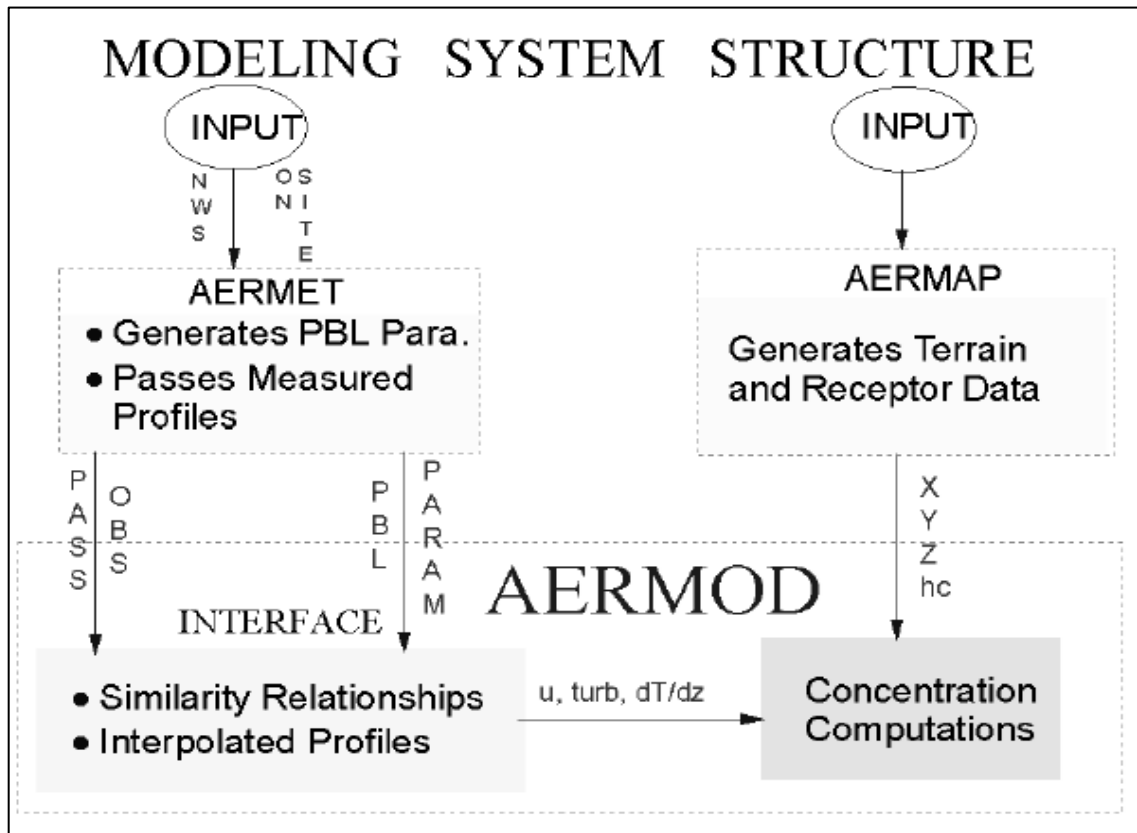
Cabe mencionar, que los datos de cobertura nubosa fueron adquiridos de la plataforma de CLIMATE COPERNICUS - ERAS - 5, del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF).

#### **3.8.2 Configuración del modelo**

La modelación de dispersión de agentes contaminantes atmosféricos se efectuó bajo los lineamientos establecidos en la “Guía de Implementación de AERMOD” proporcionada por la Oficina de Planificación y Normas de Calidad del Aire y la División de Evaluación de la Calidad del Aire Research Triangle Park, de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (USEPA, 2024). Además, apoyado por los trabajos de investigación realizados por; Quispe (2021); Rivadeneira (2020); Mejia (2024); Matias (2021); Zarate et al. (2023); y Huaynatis (2019). Los cuales se visualizan de manera generalizada en la figura 5, además los pasos a detalle se muestran ANEXO 4.

**Figura 5**

*Estructura del sistema de modelo de dispersión de contaminantes con AERMOD*



*Nota.* Extraído del trabajo científico de Cimorelli, Alan J; Perry, Steven G. et al., (2004)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

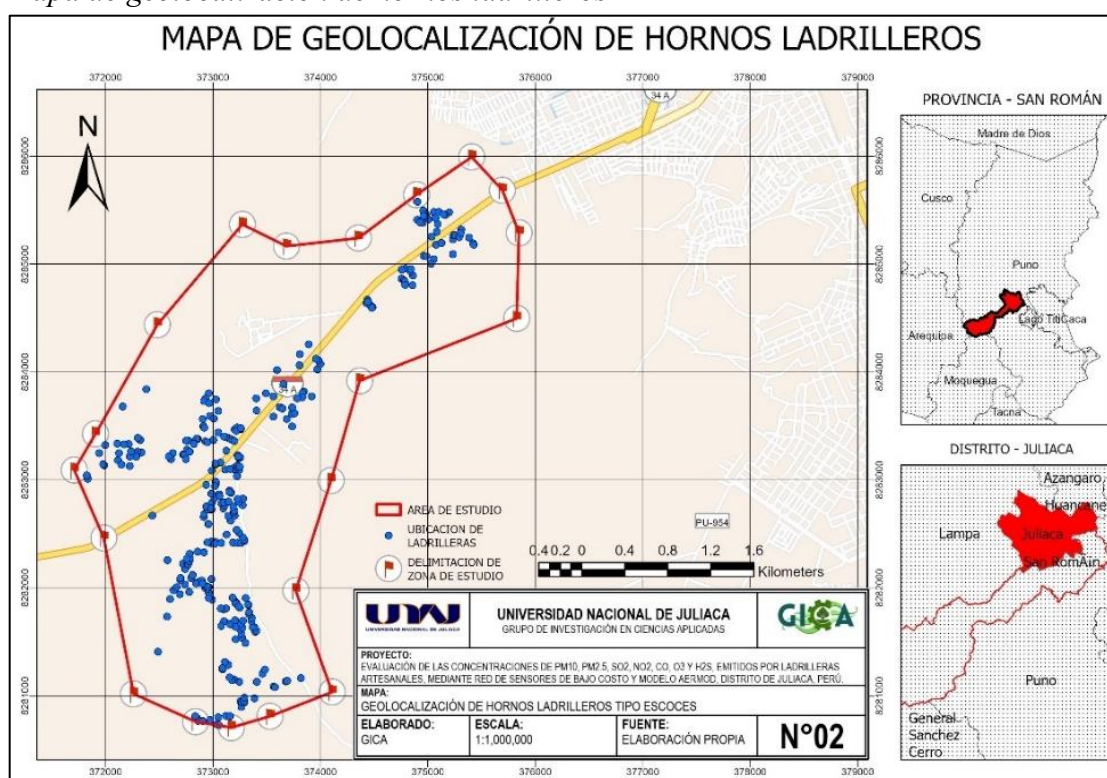
#### 4.1. Estimación de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S emitidas por las ladrilleras artesanales.

##### 4.1.1. Geolocalización de hornos

En la figura 6, se muestra los resultados de la geolocalización de los hornos ladrilleros en la zona de estudio denominado “salida Arequipa”.

**Figura 6**

*Mapa de geolocalización de hornos ladrilleros*



Estos resultados muestran la existencia de 312 hornos ladrilleros en dicha zona, los cuales están representados geográficamente en la figura 6 y a su vez descritas en coordenadas UTM de la presente investigación (véase en el ANEXO 5). Del mismo modo estudios realizados por PRODUCE, (2014) contabilizaron más de 300 ladrilleras artesanales hasta el año 2014 en esta misma zona. En contraste entre ambos resultados, hasta el año actual no se observó ningún aumento significativo, probablemente esto se deba a que muchos hornos han dejado de operar debido a su antigüedad y las condiciones precarias de construcción, habiendo alcanzado su vida útil de funcionamiento. Además, la expansión urbana y la construcción de nuevas viviendas puede que haya contribuido con la reducción de dichos hornos. Sin embargo, en el

estudio realizado por PRAL, (2014) sobre el diagnóstico de las ladrilleras artesanales en el Perú, en Puno, determinaron aproximadamente 435 hornos ladrilleros en forma artesanal, distribuidos en toda la región, donde Juliaca resultó ser uno de los distritos con mayor número de ladrilleras ubicadas en esta misma zona. En contraste con la presente investigación, es evidente que la mayor densidad de ladrilleras se encuentra en la ciudad de Juliaca, Esto es debido a que es una de las ciudades de la región Puno, que tiene un acelerado crecimiento poblacional, y es el eje comercial de la zona Sur, por su ubicación estratégica y la convergencia de importantes vías de comunicación, el cual genera una demanda importante de materiales de construcción, principalmente ladrillo y cemento (Rood, 2014). Como parte del desarrollo local, también se ha originado el crecimiento de actividades productivas, especialmente la fabricación de ladrillos (Leuken et al., 2016).

Finalmente, estudios previos han subrayado que la geolocalización de fuentes emisoras es crucial para abordar eficazmente la contaminación atmosférica en áreas urbanas y periurbanas ya que permite identificar zonas críticas que requieren intervención con estudios y proyectos en beneficio de la población y medio ambiente (Li et al., 2023). Por ello, los resultados de este estudio destacan la importancia de localizar las fuentes de emisión, esta identificación espacial proporciona una base sólida para la formulación de políticas y estrategias de mitigación dirigidas a reducir la contaminación del aire en la región (Frías y Barcia, 2019). Además, la heterogeneidad en la distribución espacial de las ladrilleras artesanales, como se observó en Juliaca, subraya la necesidad de enfoques localizados y adaptativos para la gestión de la calidad del aire de la ciudad.

#### 4.1.2. Medición de gases de emisión

En la tabla 9, se muestra los resultados obtenidos a partir de la medición realizada In-Situ.

**Tabla 9**

*Concentración del CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> de las emisiones directas*

Parámetro	Concentración medida In Situ		LMP (mg/m <sup>3</sup> )	Cumplimiento
	(ppm)	(mg/m <sup>3</sup> N)		
CO	7786	11679.87	1800	No cumple
NO <sub>2</sub>	88	141.49	350	Cumple
SO <sub>2</sub>	69	236.67	1700	Cumple

*Nota.* Los cálculos de conversión y corrección de valores se encuentran detalladas en el ANEXO 3.

Las concentraciones medidas de CO, NO<sub>2</sub>, y SO<sub>2</sub> alcanzaron valores de 11679.87, 141.49 y 236.67 mg/m<sup>3</sup>N respectivamente. De manera similar, Guerrero Gómez et al., (2017) reportaron una concentración de 20,083.05 mg/m<sup>3</sup> de CO. Por su parte, Junior et al. (2023), también reportó concentraciones de 4015.71 mg/m<sup>3</sup>N de CO y 36.81 mg/m<sup>3</sup>N de NO<sub>x</sub>. Respecto al contaminante SO<sub>2</sub>, Huaynatis (2019) reportó una concentración de 306,01 mg/m<sup>3</sup>. En todos los casos, las mediciones fueron realizados en hornos ladrilleros a cielo abierto. En comparación con los resultados reportados por dichos autores se observa que existe una notable la diferencia de valores. Probablemente esto se deba al método de medición empleada, el cual podría estar influenciada por un posible sesgo en las mediciones técnicas asociadas en la aplicación del analizador de gases (TESTO 350), debido a que las ladrilleras artesanales no cuentan con chimeneas que cumpla las condiciones necesarias para una determinación precisa de carga contaminante emitida a la atmosfera. Sin embargo, a pesar de las limitaciones encontradas es posible utilizar dichas concentraciones como valores referenciales aproximados (Guerrero, et al., 2017; Junior et al., 2023), con la finalidad contar con una base científica para estudios posteriores con más precisión.

Por otra parte, en comparación con Límites Máximos Permisibles (LMP) para emisiones atmosféricas de las actividades de fabricación de ladrillos (RM 111-2021-MINAM), se observa que el CO es el único contaminante que supera el límite permitido en más del 85%, mientras que el NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> se encuentran dentro de lo admitido. Estudios realizados por la DIGESA (2005), reportaron que es un grave peligro para salud humana estar expuestos a elevados niveles de contaminantes relacionados a la industria ladrillera. Se ha comprobado que la exposición a partículas y gases provenientes del sector ladrillero, implica principalmente en enfermedades pulmonares con efectos agudos como tos, disnea, asma, bronquitis neumoconiosis y problemas cardiovasculares (Rodríguez et al., 2020). Esto debido a que las ladrilleras artesanales emiten grandes cantidades de contaminantes producto de la quema de combustibles sólidos y fósiles (Galvis, 2017). Cabe mencionar que tanto el CO y CO<sub>2</sub> son los gases más comunes liberados por la industria ladrillera; esto se debe a una combustión incompleta de la materia orgánica presentes en los combustibles sólidos (Adnan y Balasbaneh, 2021).

**Tabla 10**  
*Variables físicas de emisión*

<b>Parámetro</b>	<b>Promedio</b>	<b>Unidad</b>
Velocidad de salida de gases	1.7	m/s
Temperatura de salida de gases	412.15	Kelvin

*Nota.* Datos reportados por el TESTO 350, que son de utilidad para el modelamiento.

En tabla 10, se muestra las principales variables registradas durante la medición en campo, donde la velocidad de salida de gases fue de 1.7 m/s y la temperatura 412.15 Kelvin. En comparación con las variables utilizadas por Vera y Quispe (2023) estos son coincidente para el modelamiento mediante el software AERMOD. Cabe mencionar tanto la temperatura y velocidad de salida de gases son esenciales para caracterizar la pluma de emisión y simular adecuadamente su dispersión en la atmosfera (Wark, 2010). La temperatura del gas emitido afecta a la flotabilidad de la pluma, es decir, si el gas es más caliente respecto el aire externo, entonces tiende a ascender más allá de la altura física de la chimenea, lo que influye en la altura efectiva de emisión requerida por la ecuación gaussiana (Massolo, 2022). Por otro lado, la velocidad de salida de los gases contribuye al impulso mecánico de la pluma, es decir a mayor velocidad, mayor será la capacidad de la pluma para ascender antes de mezclarse en la atmosfera (USEPA, 2024). En resumen, el software AERMOD usa la temperatura y la velocidad de los gases emitidos puesto que son determinantes en la altura efectiva de emisión y en el comportamiento inicial de la pluma, lo que influye directamente cómo, dónde y en que concentración se dispersan los contaminantes en la atmosfera. Sin embargo, dada las particularidades de la presente investigación, los hornos ladrilleros no cuentan con una chimenea donde se pueda realizar estas mediciones con alta precisión, el cual es una limitante para obtener datos fiables. No obstante, ante la falta de investigaciones se consideró pertinente el uso de datos estimados como una aproximación válida para desarrollo de esta investigación, con el respaldo de Gómez et al., (2017).

## 4.2. Estimación del aporte 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 emitidas por las ladrilleras artesanales

### 4.2.1. Inventario de emisiones atmosféricas

A continuación, se muestra los principales resultados recopilados de la encuesta realizada, los cuales son datos de interés para la estimación, aporte y dispersión de contaminantes atmosféricos mediante el Software AERMOD

#### a) Dimensión de los hornos ladrilleros

En la tabla 11, se muestra los resultados del promedio representativo de la dimensión de un horno ladrillero a cielo abierto.

**Tabla 11**

*Dimensiones de un horno artesanal*

Dimensión	Base de elevación del horno	Altura del Horno	Largo del horno
Promedio (m)	1.16	3.70	4.17

*Nota.* Elaboración Propia

Las medidas fueron; base de elevación 1.6 m, Altura 3.70 m, y Largo, 4.17 m. Estas dimensiones son importantes para representar los hornos ladrillero en el software AERMOD, puesto que las estructuras interfieren en el flujo del aire. Si se ignora este efecto, el modelo subestimaría el modelo de dispersión (Massolo, 2022).

#### b) Medida del diámetro equivalente

En la tabla 12, se muestra el resultado del diámetro equivalente

**Tabla 12**

*Dimensiones de la corona del horno*

Dimensión	Ancho	Largo	Diámetro Equivalente
Promedio (m)	2.7	3.6	2.7

*Nota.* Elaboración Propia

Otro dato importante, es diámetro equivalente. Según la tabla 12, las medidas promedio de ancho son 2.7 m y de largo 3.6 m, estas dimensiones sirvieron para el cálculo del área de la sección transversal, por donde salen los gases. Estas medidas fueron ingresadas al software AERMOD, simulando un ducto de la salida de los gases ya que cumplen la función de chimenea (Vera y Quispe, 2023).

### c) Cantidad de combustible empleado

En la tabla 13, se muestra los resultados de la cantidad de combustible empleado

**Tabla 13**  
*Cantidad de combustible utilizado*

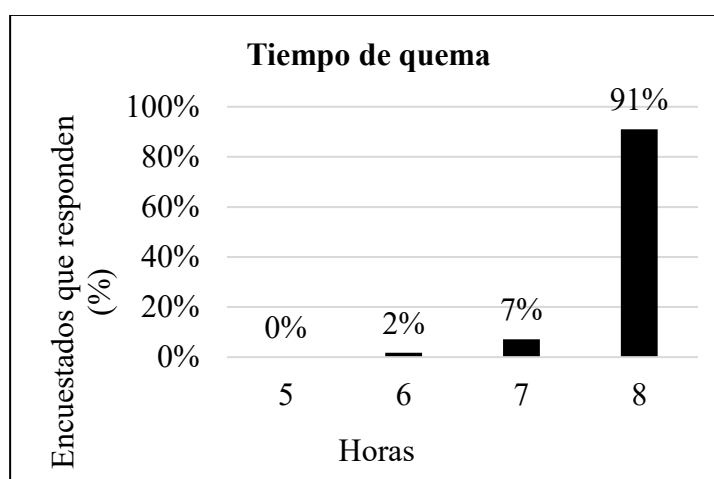
Tipo de combustible	Promedio (tn)	Cantidad de combustible
Aserrín	0.72	33%
Estiércol	1.39	65%
Neumáticos	0.04	2%
Otros	0.00	0%
Total	2.16	100%

De acuerdo con esta tabla, se muestran los resultados de la cantidad de combustible que se emplea para una cocción de un bloque de ladrillos. Es importante señalar que, la cantidad de combustible empleado para el proceso cocción de ladrillos, determina la cantidad del aporte de los contaminantes emitidos a la atmosfera. (Jaya y Gomezcolo, 2012). Según con los resultados de la encuesta, se requiere un promedio de 2.16 tn de combustible entre aserrín, estiércol, neumáticos u otros combustibles sólidos, para una quema de bloque de ladrillos. Cabe mencionar, que este dato fue de utilidad para el cálculo de la tasa de emisión, empleando factores de emisión, por la intensidad de la actividad, expresado en; cantidad de combustible utilizado en un tiempo determinado (Sucozhañay y Vasquez, 2012).

### d) Tiempo de quema de combustibles o cocción de ladrillos

En la figura 7, se muestra los resultados de la cantidad de horas que demanda una quema

**Figura 7**  
*Tiempo de cocción de los ladrillos*



Uno de los datos relevantes, es el tiempo de cocción de los ladrillos. Según los resultados, este proceso se lleva a cabo en promedio 8 horas ya que el 91% de los encuestados indicaron dicho valor. Por tanto, se asume que; son 8 horas de trabajo consecutivo para alcanzar la cocción definitiva de los ladrillos. Este dato importante sirvió para determinar la “Intensidad de la actividad”, así como la cantidad de combustible empleado para este proceso (Vera y Quispe, 2023).

**e) Intensidad de la actividad (A)**

El cálculo del nivel de la intensidad de la actividad (A), se determinó siguiendo la regla de tres simple siendo el consumo de combustible (Tn) en una hora (h), además teniendo como dato de encuesta, que la quema de combustible se realiza en 8 horas al día y cantidad promedio de combustible utilizado es de 2.16 Tn.

*Entonces:*

$$8 \text{ hr} \rightarrow 2.16 \text{ Tn}$$

$$\text{Consumo en una hora} = \frac{2.16 \text{ Tn} * 1 \text{ hr}}{8 \text{ hr}} = 0.27 \text{ Tn}$$

*Expresado en unidades requeridas*

$$A = 0.27 \frac{\text{Tn}}{\text{Hr}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ Tn}} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = 0.075 \text{ kg/s}$$

Como resultado se tiene que la Intensidad de la actividad (A) es de 0.075 kg/s es decir que cada segundo se realiza la quema de 0.075 kg de combustible.

#### 4.2.2. Estimación del aporte de las emisiones atmosféricas

##### a) Tasas de emisión

**Tabla 14**

*Tasas de emisión 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*

Parámetro	Emisiones (g/s)	Comentario
PM <sub>10</sub>	29	Estimados a partir de factor de emisión
PM <sub>2.5</sub>	0.190	
SO <sub>2</sub>	0.21	Estimados a partir de mediciones directas
NO <sub>2</sub>	0.15	
CO	12.84	
O <sub>3</sub>	0.157	Estimados a partir de precursores
H <sub>2</sub> S	0.113	

*Nota.* Los cálculos respectivos se encuentran detallados en el ANEXO 3

La estimación de emisiones calculados a partir de factores y mediciones directas para hornos ladrilleros fueron de (29, 0.190, 0.21, 0.15, 12.84, 0.157 y 0.113) g/s, para 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 respectivamente. Este hallazgo, representa carga contaminante emitida a la atmósfera producto de las actividades desarrolladas por el sector ladrillero. Las emisiones gaseosas más elevadas se asocian principalmente a la combustión de combustibles sólidos y fósiles. La variabilidad en los valores observados responde, en gran medida, a las diferencias en el diseño de los hornos, lo que complica la comparación con resultados reportados en otras investigaciones. Por otro lado, Estudios similares han demostrado, que el sector ladrillero contribuye significativamente a la contaminación del aire a través de sus emisiones (Khan et al., 2024). Esto se debe a que la producción de ladrillos sigue procesos rudimentarios en donde se emplean hornos artesanales alimentados por estiércol, aserrín, llantas y otras biomásas. Estos hornos generan grandes emisiones de contaminantes que afectan la salud de personas que trabajan o que viven en áreas cercanas a este tipo de industrias (Rodríguez et al. 2020). Sin embargo, para abordar el desafío de minimizar las emisiones atmosféricas, se requiere un enfoque integral que involucre a todos los sectores de la sociedad. Finalmente, la estimación de las tasas de emisión para sector ladrillero es esencial para cuantificar la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera. Además, es dato fundamental para los modelos de dispersión gaussiana. AERMOD utiliza las tasas de emisión junto con datos meteorológicos, topográficos y características de la fuente para calcular la dispersión y la concentración de contaminantes.

## b) Aporte al ambiente

En la tabla 15, se muestran los resultados obtenidos mediante el modelamiento con el software AERMOD. Las concentraciones máximas reportadas fueron de 562  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{PM}_{10}$ ), 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ), 272  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{SO}_2$ ), 172  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{NO}_2$ ), 33216  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (CO), 17.6 ( $\text{O}_3$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 79.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

**Tabla 15**

*Concentraciones estimadas de  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , CO,  $\text{O}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$*

Parámetro	Concentración máxima estimada $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ECA Aire $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Periodo	Cumplimiento
$\text{PM}_{10}$	562	100	24 horas	No cumple
$\text{PM}_{2.5}$	110	50	24 horas	No cumple
$\text{SO}_2$	272	250	24 horas	No cumple
$\text{NO}_2$	172	200	1 hora	Cumple
CO	33216	30000	8 horas	No cumple
$\text{O}_3$	17.6	100	8 horas	Cumple
$\text{H}_2\text{S}$	79.9	150	24 horas	Cumple

*Nota.* Los valores representan un escenario crítico de contracciones con valores máximas durante el periodo 2024.

### *Aporte de $\text{PM}_{10}$ y $\text{PM}_{2.5}$*

El resultado del modelado, indica que la concentración máxima estimada para el Material Particulado ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ), es de 562 y 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, estos valores evidentemente son muy altas, el cual podría atribuirse a la alta densidad de ladrilleras y condiciones meteorológicas que limitan su dispersión. En un estudio similar realizado por Marmanillo y Chávez, (2023) reportaron una concentración máxima de 133.12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ , indicando que las altas concentraciones de debe a los factores meteorológicos y geográficos propios del lugar. Por otro lado, Suclupe (2018) reportó un valor de 121  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$ , afirmando que la concentración es influenciada por los vientos predominantes y la estabilidad atmosférica. Estos antecedentes respaldan lo indicado inicialmente, al afirmar que la alta densidad de ladrilleras genera altas concentraciones como también las condiciones meteorológicas juegan un papel determinante en la dispersión y acumulación de contaminantes atmosféricos. Así mismo, la diferencia de resultados probablemente de deba, en parte, a la utilización de distintos factores de emisión. Cabe señalar que Vera y Quispe, (2023) utilizaron el factor de emisión proporcionada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) mientras que

en la presente investigación se empleó los datos de Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) lo que sugiere una diferencia de cálculos en la liberación de contaminantes a la atmosfera, influyendo en la variación de cálculos. Por su parte, Jalali y Tourani, (2025) indica que la variación de concentraciones podría deberse a la omisión de fuentes no identificadas, la ausencia de consideración de otras fuentes de emisión en la zona y la inexactitud de los datos meteorológicos estimados, podrían no ser adecuados para la validación en campo. Finalmente, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aprobada mediante el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM), se observa que, en todos casos, las concentraciones del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> sobrepasan los estándares de la norma vigente. Esta superación representa un riesgo potencial para la salud humana, especialmente en grupos vulnerables como niños y adultos mayores presentes en la zona ladrillera. Se ha comprobado que la exposición a partículas y gases provenientes del sector ladrillero, implica principalmente en enfermedades pulmonares con efectos agudos como tos, disnea, asma, bronquitis, neumoconiosis y problemas cardiovasculares (Rodríguez et al., 2020). Lo que destaca la importancia de implementar medidas de control y mitigación frente a estos riesgos. Es importante destacar que las concentraciones de (PM<sub>10</sub>, y PM<sub>2.5</sub>) modelados mediante el software AERMOD, fueron calculadas a partir de factores de emisión y datos recopilados en el trabajo de campo. Por lo que, estos resultados deben ser interpretados como estimaciones y no como representaciones exactas de la realidad (Zarate et al., 2023).

### ***Aporte de SO<sub>2</sub>***

La concentración estimada de SO<sub>2</sub>, alcanzó una concentración máxima de 272 ug/m<sup>3</sup>, modelado en un periodo de 24 horas, este valor es significativamente más alto, en comparación con los resultados obtenidos por Halanocca, (2015), donde reportó concentraciones máximas de 24 ug/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> en zonas de ladrillera. La notable diferencia de resultados probablemente se deba, al tipo de combustible que se emplea para la cocción de ladrillos. Además, se sabe que se SO<sub>2</sub> se genera principalmente a partir de la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre, como el carbón, petróleo, y residuos orgánicos de origen animal (Rodríguez et al., 2022). De acuerdo con el inventario de emisiones atmosféricas de la presente investigación, el 65% de los encuestados indicaron que utilizan el estiércol como fuente principal. Esta práctica podría estar directamente relacionada con las elevadas concentraciones SO<sub>2</sub>. Por otro lado, Gibson et al. (2013) indicó que los resultados de baja concentración, es debido a

que el software AERMOD, puede estimar concentraciones superficiales de SO<sub>2</sub> con una precisión razonable durante períodos de promedio anual y mensual, con menos confianza en las estimaciones de SO<sub>2</sub> sobre períodos de promedio horario. Sin embargo, en la presente investigación, se realizó para una exposición de 24 horas lo que probablemente influyó en la magnitud de las concentraciones obtenidas. Al comparar este resultado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de DS 003-2017-MINAM), se encuentra fuera de lo establecido. Ello, genera una preocupación en los habitantes aledaños a las fábricas de ladrillo. El SO<sub>2</sub> en tiempos prolongados y a altas concentraciones puede provocar diversos problemas de salud humana y el medio ambiente (Akyuz & Kaynak, 2019). Estudios demostraron que el SO<sub>2</sub> está asociado con anormalidades cardiovasculares, irrita el sistema respiratorio además afecta las funciones pulmonares, causa irritación ocular y aumenta la susceptibilidad a infecciones respiratorias en particular los relacionados con el sistema respiratorio y la función pulmonar (Clofent et al., 2021). Por otra parte, el SO<sub>2</sub> sigue siendo un problema para el medio ambiente debido a que la presencia de lluvias acidas en entornos de la zona ladrillera de la ciudad de Juliaca probablemente se deban a las trazas de contaminante SO<sub>2</sub> emitidas por estas fábricas de ladrillo.

### ***Aporte de NO<sub>2</sub>***

Según los resultados obtenidos a partir del modelamiento, la concentración máxima de NO<sub>2</sub> alcanzó un valor de 172 ug/m<sup>3</sup>, para una exposición de 1 hora. En un estudio similar realizado por Huaynatis, (2019) utilizando el software AERMOD, la concentración máxima de NO<sub>2</sub>, alcanzó un valor 255,74 ug/m<sup>3</sup> para el mismo periodo, del mismo modo Mamani, (2020) reportó 53.01 ug/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub> como promedio anual de concentraciones en zonas de ladrillera. La notable diferencia de resultados probablemente se deba a la variación de las condiciones meteorológicas, la topografía, el momento del escenario de modelación y los procesos físico-químicos que afectan su dispersión y transformación en la atmósfera. Este patrón estaría asociado por los vientos predominantes de la ciudad de Juliaca que fluctúan desde suroeste y noroeste (WNW), desplazándose en dirección al sureste (ESE) con velocidades entre 1.10 – 11.10 m/s con una frecuencia anual de aparición mayor al 5.8%. Según Wark, (2010) indica que todos los contaminantes del aire emitidos por fuentes puntuales o de área son transportados, dispersos o concentrados por condiciones meteorológicas y topográficas. Así mismo, Ivanovski et al., (2022) manifestó que, entre los parámetros meteorológicos, la velocidad y dirección

del viento son factores cruciales que influyen en la dispersión y transporte de contaminantes del aire. En conclusión, estos antecedentes respaldan la teoría planteada inicialmente de que los vientos predominantes en Juliaca influenciaron en la concentración de los contaminantes atmosféricos. Al comparar este resultado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de DS N° 003-2017-MINAM), se encuentra dentro de lo establecido, cumpliendo la normativa vigente. Sin embargo, no deja ser desapercibido puesto que el NO<sub>2</sub> es uno de los gases contaminantes atmosféricos más perjudiciales para la salud en entornos urbanos (Cakaj et al., 2023; Sicard et al., 2020). La exposición a este contaminante aumenta el riesgo de padecer enfermedades tales como; infecciones agudas en las vías respiratorias, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, deterioro cognitivo y cáncer al pulmón (Kumar et al., 2023; Wang et al., 2023). Además, existe una discrepancia de rangos establecidos entre la norma nacional e internacional. En contraste con la Agencia Europea de Medio Ambiente, (2008), establece un valor límite de 40 ug/m<sup>3</sup> para el NO<sub>2</sub>, sin exceder en promedio anual. En ese sentido el resultado obtenido supera los estándares de calidad ambiental.

### ***Aporte de CO***

El resultado de la estimación indica que el CO alcanzó una concentración máxima de 33.216 µg/m<sup>3</sup>, este hallazgo altamente diferente con los estudios realizados por, Huaynatis, (2019) y Dalens et al., (2022) que reportaron valores de 1120,2 y 4939 ug/m<sup>3</sup> respectivamente. Esta notable diferencia, en el resultado obtenido para CO podría estar influenciada por un posible sesgo de las limitaciones en cuanto a las mediciones técnicas asociadas a las mediciones realizadas con el analizador de gases (TESTO 350), debido a que las ladrilleras artesanales no cuentan con chimeneas que cumpla las condiciones necesarias para una determinación precisa de carga contaminante emitida a la atmosfera. Song y Kwan (2023) en su investigación “Sesgos de percepción de la contaminación del aire” manifestaron que los sesgos cognitivos de la contaminación del aire obstaculizan la real exposición de la calidad del aire. Sin embargo, es importante mencionar que los modelamientos realizados mediante el software AERMOD, se rigen a una serie de patrones y factores que interceden en los resultados, por lo que deben ser interpretados como estimaciones y no como representaciones exactas de la realidad (Haq et al. 2019; Jalali and Tourani 2025a; Massolo 2022; Mateos Zarate et al. 2023) Por lo tanto, el modelado de la dispersión atmosférica se utiliza como un método alternativo para evaluar la dispersión de contaminantes atmosféricos y determinar sus

concentraciones, ya que la medición in situ es costosa y requiere de tiempo (US EPA 2024). Por otro lado, al comparar este resultado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de DS N° 003-2017-MINAM, está por encima del valor estandarizado. La superación de este valor puede causar impactos negativos en la salud humana y ambiental. Además, las altas concentraciones de CO están asociadas con la intoxicación aguda, incluye mareos, incertidumbre y efectos similares a los de la gripe; exposiciones más altas al CO pueden provocar mayor toxicidad del sistema nervioso central y del corazón, problemas de visión y coordinación, e incluso la muerte (Dey y Dhal, 2019).

### ***Aporte de O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S***

Respecto a las concentraciones estimadas de H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub> mostraron valores de 17.6 y 79.9 ug/m<sup>3</sup> respectivamente. A diferencia de los contaminantes PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> Y CO, el H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub> son contaminantes secundarios ya que se forman a través de complejas reacciones químicas en la atmosfera, y no son gases directamente emitidos por las ladrilleras artesanales (EPA-42, 2019). Sin embargo, es importante su análisis debido a que ambos son perjudiciales para la salud humana y medio ambiente. Estudios similares han determinado que la presencia del H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub> están directamente asociadas al tipo de combustible empleado. Además, la concentración tanto del H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub> se atribuye probablemente por la quema de llantas, plásticos, aceites quemados u otros residuos que contienen compuestos precursores como el NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> los cuales bajo determinadas condiciones dan lugar a la formación de estos contaminantes. En contraposición a los hallazgos de la presente investigación, el 2% de los encuestados indicaron utilizar llantas en desuso como combustible debido a su facilidad de ignición y la elevada cantidad de calor y llamas que suministra lo cual resulta ser útil para el inicio del calentamiento de los hornos ladrilleros. Por lo que estarían directamente asociados en la generación de H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub>. Así mismo, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de DS N° 003-2017-MINAM, se encuentran por debajo del valor estandarizado. No obstante, es importante mencionar que la exposición prolongada al al H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub> en las poblaciones urbanas y rurales puede causar riesgos en salud, estos incluyen irritación de ojos, nariz y garganta, tos, y el empeoramiento de condiciones preexistentes como asma y enfermedades pulmonares crónicas (Medina et al., 2022).

### 4.3. Predicción de la distribución geográfica 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 emitidas por ladrilleras artesanales.

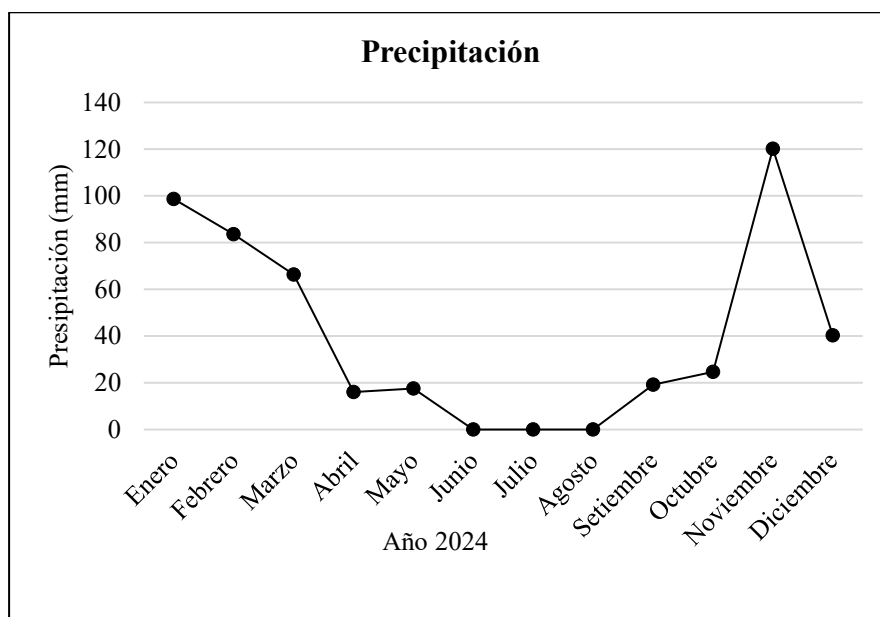
#### 4.3.1. Condiciones meteorológicas.

##### a) Precipitación

En la figura 8 y tabla 16, se muestra los resultados de la precipitación en el año 2024.

**Figura 8**

*Variabilidad de la precipitación*



*Nota.* Elaboración Propia

**Tabla 16**

*Precipitación mensual (mm)*

Año	2024												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
Precipitación (mm)	98.7	83.6	66.3	16	17.5	0	0	0	19.2	24.7	120.2	40.3	40.5

*Nota.* Extraído de la base de datos de SENAMHI, (2024).

De acuerdo con la representación, la precipitación promedio fue de 40.5 mm, con mayor intensidad en los meses de enero y noviembre registrando valores de 98.7 y 120.2 mm respectivamente. Sin embargo, para los meses de junio, julio y agosto el registro fue de 0 mm, puesto que son meses de estiaje y no se manifestaron precipitaciones. Este comportamiento es consistente con lo que se observa en regiones semiáridas y áridas, donde las precipitaciones son escasas y concentradas en eventos aislados. Según

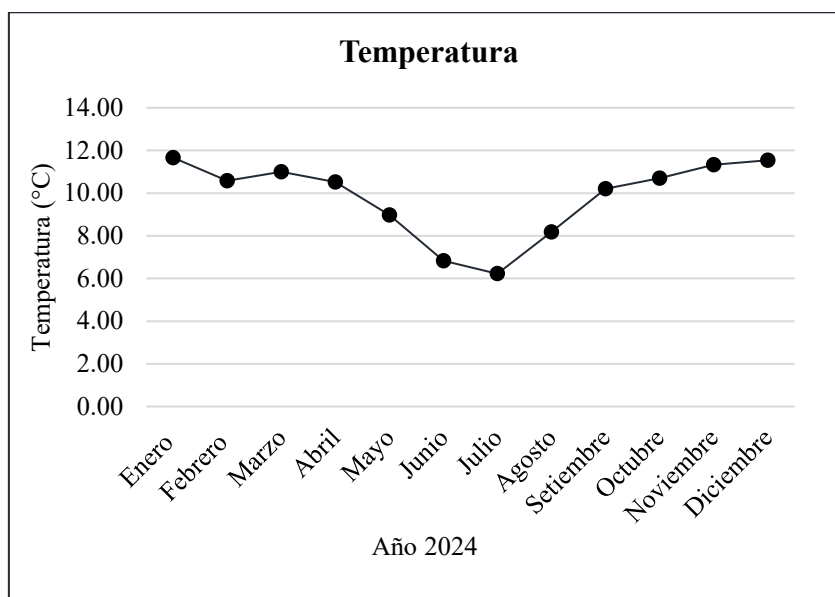
Hernández et al. (2019), las precipitaciones durante el estiaje suelen ser mínimas debido a la escasez de lluvias en estas épocas, lo que refleja las características climáticas de las regiones de baja humedad.

## b) Temperatura

En la figura 9 y la tabla 17, se muestra los resultados de la temperatura en el año 2024.

**Figura 9**

*Variabilidad Promedio Mensual de temperatura*



*Nota.* Elaboración Propia

**Tabla 17**

*Temperatura promedio mensual*

Año	2024												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
T (°C)	11.66	10.58	11.00	10.52	8.98	6.84	6.22	8.18	10.21	10.70	11.33	11.54	9.81

*Nota.* Extraído de la base de datos de SENAMHI, (2024).

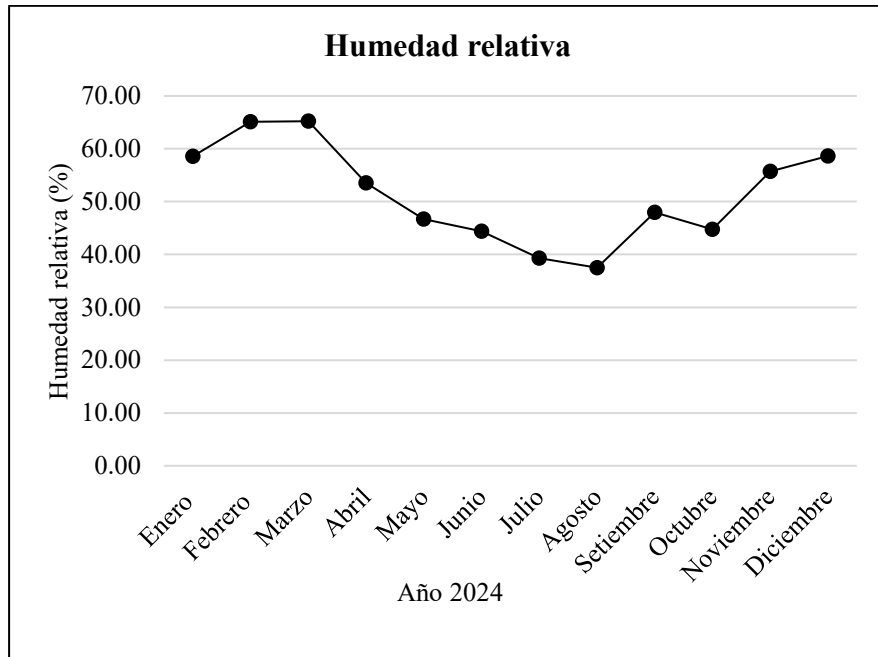
De acuerdo con esta representación, la temperatura promedio registrada fue de 9.81 °C, con una variación que oscila entre un máximo de 11.66 °C, registrado en el mes de enero, y un mínimo de 6.22 °C, registrado en julio, siendo los meses más fríos entre junio y julio. Este valor guarda relación con las características de temperatura en la zona altiplánica, Según Hernández et al. (2019), el clima altoandino es frío y seco, con temperaturas que pueden variar significativamente dependiendo de la ubicación y la época del año.

**c) Humedad relativa**

En la figura 11 y la tabla 18, se muestra los resultados de la humedad relativa en el año 2024.

**Figura 10**

*Variabilidad mensual de la humedad relativa*



*Nota.* Elaboración Propia

**Tabla 18**

*Humedad Relativa mensual (%)*

Año	2024												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
Humedad Relativa (%)	58.59	65.11	65.22	53.56	46.67	44.37	39.29	37.50	47.95	44.77	55.71	58.65	51.45

*Nota.* Extraído de la base de datos de SENAMHI, (2024).

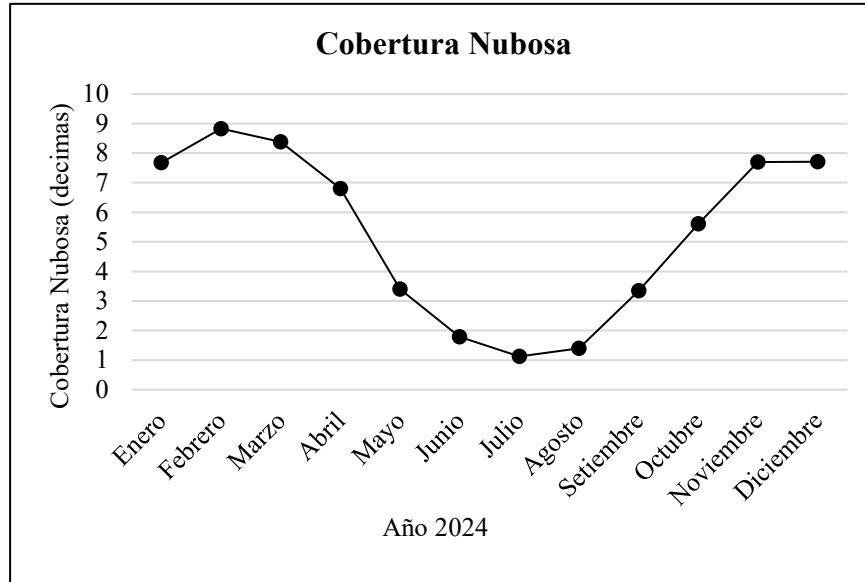
De acuerdo con la tabla 20, la humedad relativa en la zona de interés presenta un valor promedio de 54.45 %, con una variación que oscila entre un máximo de 65.22 % en el mes de marzo y un mínimo de 37.50 % en julio, siendo este el periodo más seco del año.

**d) Cobertura Nubosa**

En la figura 11 y la tabla 19, se muestra los resultados de la cobertura nubosa en el año 2024.

**Figura 11**

*Variabilidad de la cobertura de nubes*



*Nota.* Elaboración Propia

**Tabla 19**

*Cobertura nubosa (decimas)*

Año	2024												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
Cobertura Nubosa (Decimas)	8	9	8	7	3	2	1	1	3	6	8	8	5

*Nota.* Extraído de la base de datos de ERAS 5, (2024).

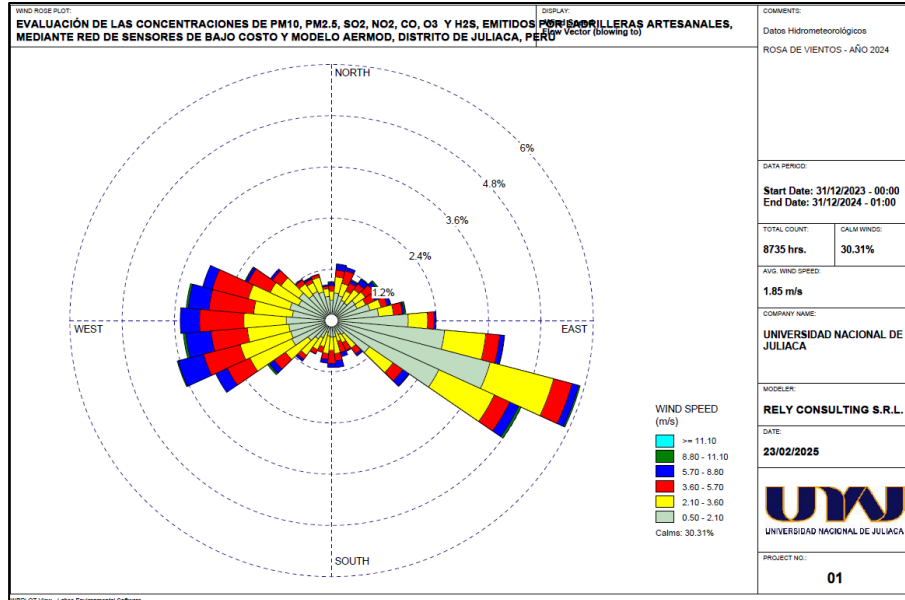
De acuerdo con esta representación, La cobertura nubosa, expresada en décimos (oktas), fue de 8/10 durante los meses de enero, marzo, noviembre y diciembre. El promedio anual fue de 5/10, lo cual indica una cobertura media de nubes durante el año 2024, correspondiente a un cielo parcialmente despejado.

e) **Velocidad y dirección del viento**

En la figura 12 y 13, se muestra los resultados de la velocidad y dirección del viento en el año 2024.

**Figura 12**

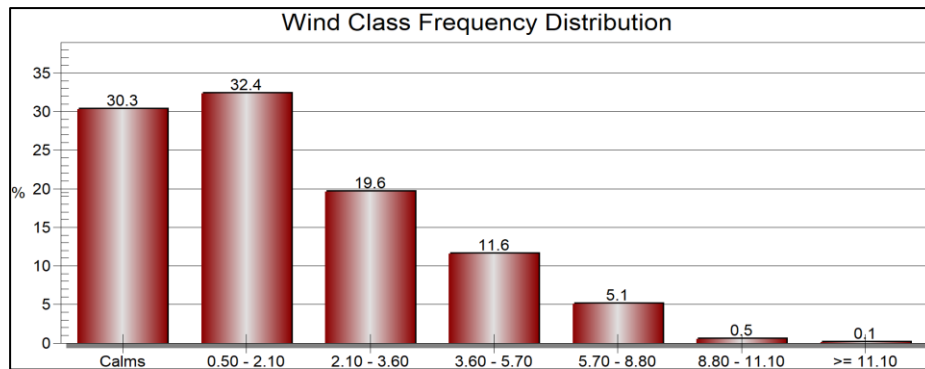
*Rosa de vientos Juliaca.*



Nota. Elaborado en WRPLOT

**Figura 13**

*Frecuencia de velocidades*



Nota. Elaborado en WRPLOT

Según esta representación, los vientos predominantes fueron del suroeste y noroeste (WNW), desplazándose en dirección al sureste (ESE) con velocidades entre 1.10 – 11.10 m/s con una frecuencia anual de aparición mayor al 5.8%, como se observa en la rosa de vientos y la distribución. Además, se muestra que en un máximo de 32.4% los vientos se manifestaron en velocidades de 0.50 – 2.10 m/s, consecutivamente el 19.6 % en 2.10 – 3.60 m/s, 11.6% en 3.60 – 5.70 m/s, 5.1% en 5.70 – 8.80 m/s, 0.5% en 8.80 – 11.10 m/s y el 0.1% mayores igual a 11.10 m/s. No obstante, el 30.3% fueron en calma.

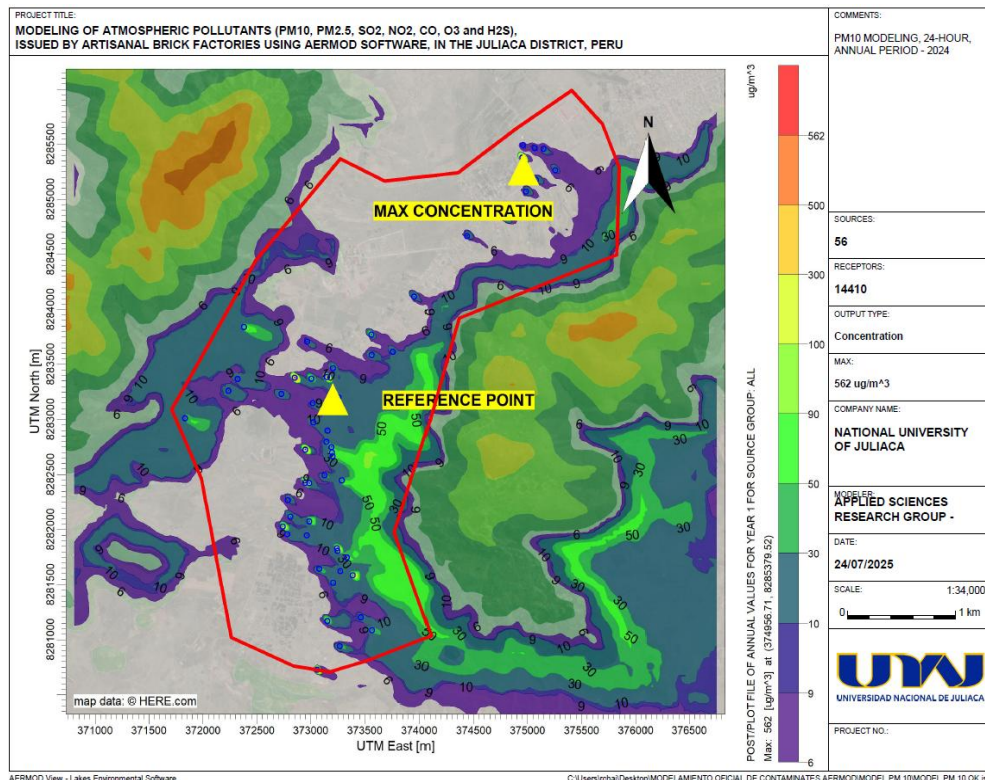
### 4.3.2. Dispersión de los contaminantes

#### a) Dispersión de contaminante PM<sub>10</sub>

En la figura 14, se muestra el mapa de dispersión del contaminante PM<sub>10</sub>, modelado mediante el software AERMOD, para un periodo de exposición de 24 horas conforme lo dispuesto en el DS N° 003 – 2017 MIMAN.

**Figura 14**

*Mapa de dispersión de PM<sub>10</sub>*



De acuerdo con la figura 14, El PM<sub>10</sub>, muestra un perfil de dispersión en dirección al sureste, alcanzando un desplazamiento de aproximadamente 0.007 km desde la fuente siguiendo una trayectoria lineal en dirección al viento según a la escala de colores. Además, se identificó que la concentración máxima (562 ug/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>) se localiza en el extremo noreste del área de estudio, específicamente en las coordenadas 374956.71 m E y 8285379.52 m S. es decir en lado urbano de la ciudad de Juliaca. Este patrón probablemente responde a las condiciones meteorológicas y topográficas propias del lugar. Este resultado es consistente con lo señalado por Afzali et al., 2017, quienes afirman que la velocidad y dirección los vientos locales son determinantes para el ejercicio del modelado y en la dinámica del desplazamiento de los contaminantes atmosféricos. En este caso, se observó que los vientos predominantes soplan en un 2.4%

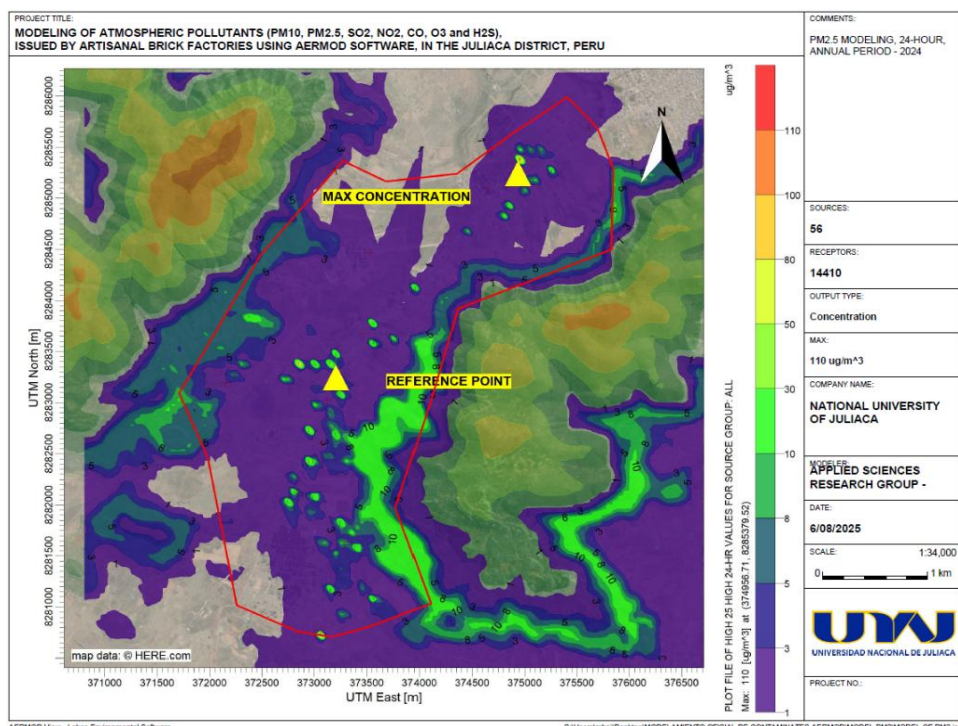
en dirección al noreste (ver figura 12). Massolo, (2022) también apoya esta afirmación indicando que la alta velocidad del viento aumenta la dispersión horizontal con tendencia a diluir rápidamente las contracciones, de lo contrario la baja velocidad limita la dispersión favoreciendo la acumulación local de contaminantes y por su parte la dirección del viento define la trayectoria de la pluma de contaminantes desde la fuente emisora. Esta información guarda coherencia con los datos analizados en la presente investigación, ya que la dispersión del PM<sub>10</sub> probablemente fue influenciada por los vientos locales de área de estudio, se destaca que los vientos en calma durante el año 2024 se presentaron en un 30%, mientras el resto estuvo dominado por vientos de mayor intensidad, lo cual incidió directamente en la dispersión de contaminantes atmosféricos.

### b) Dispersión de contaminante PM<sub>2.5</sub>

En la figura 15, se muestra el mapa de dispersión del contaminante PM<sub>2.5</sub>, modelado mediante el software AERMOD, para un periodo de exposición de 24 horas conforme lo dispuesto en el DS N° 003 – 2017 MIMAN.

**Figura 15**

*Mapa de dispersión de PM<sub>2.5</sub>*



Los resultados muestran que el PM<sub>2.5</sub> se extiende hasta 0.08 km de distancia desde los focos de emisión, con una dispersión predominante en dirección al sureste. Así mismo, la mayor concentración de PM<sub>2.5</sub> (110 ug/m<sup>3</sup>) se mostró en el extremo noreste del área de estudio ubicándose en las coordenadas 374956.71 m E y 8285379.52 m S. Este

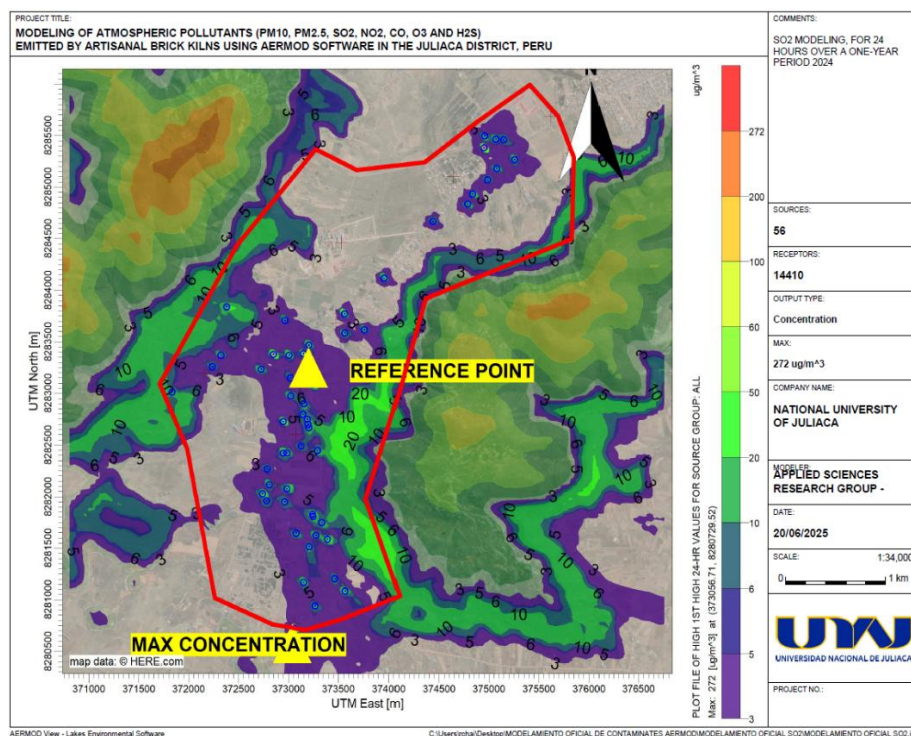
comportamiento es consistente con Isla et al., (2019), quienes han identificado que los resultados de la modelación están influenciados por la dirección y velocidad del viento, así como por posibles diferencias meteorológicas utilizadas en la simulación. Por otro lado, Massolo, (2022) indicó que otro factor importante en la modelación, es la topografía de la zona, ya que los rasgos geográficos afectan sobre todo en el flujo del aire, entre ellos el efecto del mar, montañas, laderas y edificaciones. Cabe mencionar, que la topografía de la zona de estudio presenta elevaciones en los entornos formando una especie de valle, por lo que se asume estas interfieren en el flujo del aire. Así mismo, Massolo (2022), sustenta esta interpretación ya que afirma que los cerros y montañas producen flujos de vientos descendentes porque el aire es más frío en grandes elevaciones, además en zonas rodeadas de elevaciones forman inversiones térmicas, esta condición impide la dispersión vertical y acumula contaminantes a nivel superficial. En síntesis, se puede afirmar que la dispersión del  $PM_{2.5}$  fue influenciado por los patrones previamente mencionados por los autores.

### c) Dispersión de contaminante $SO_2$

En la figura 16, se muestra el mapa de dispersión del contaminante  $SO_2$ , modelado mediante el software AERMOD, para un periodo de exposición de 24 horas conforme lo dispuesto en el DS N° 003 – 2017 MIMAN.

**Figura 16**

*Mapa de dispersión  $SO_2$*



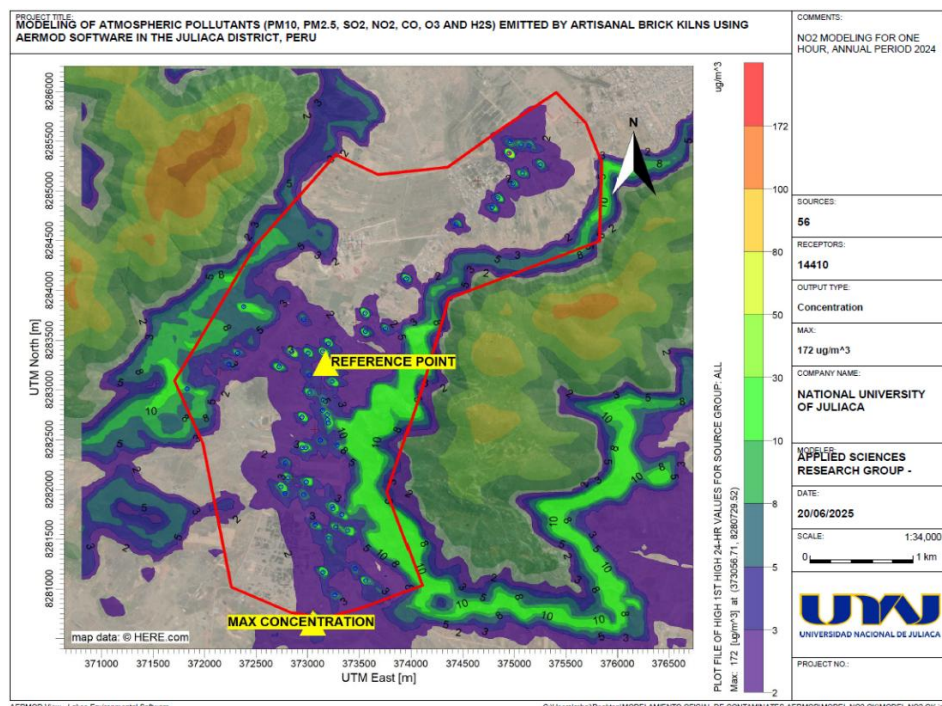
Los resultados muestran que el SO<sub>2</sub>, se extiende aproximadamente hasta 0.13 km de distancia desde el punto de emisión con una dispersión predominante hacia lado sureste. Así mismo, la mayor concentración de SO<sub>2</sub> (272 ug/m<sup>3</sup>), se centró en el extremo sureste del área de estudio, ubicado en la coordenada 373056.32 m E y 8280729.89 m S. A diferencia de la dispersión del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> la alta concentración se ubicó en lado sureste, probablemente esto se deba a la estabilidad atmosférica propia del área de estudio. Para corroborar este supuesto, Pasquill y Gifford (1982) definieron seis categorías de estabilidad atmosférica en función de distintos parámetros, principalmente la velocidad del viento, nubosidad y flujo neto de radiación solar que llega a la tierra; donde (A) corresponde a una atmósfera muy inestable, (B) moderadamente inestable, (C) levemente inestable, (D) neutra, (E) levemente estable y (F) estable, En función a ello, se determinó que la zona presenta una atmósfera (C y D) entre leve y neutra, de acuerdo a la cobertura nubosa que fue de 5/10, sin un cielo medianamente cubierto. El cual probablemente favoreció las altas concentraciones de SO<sub>2</sub> cercanas al suelo.

#### d) Dispersión de contaminante NO<sub>2</sub>.

En la figura 17, se muestra el mapa de dispersión del contaminante NO<sub>2</sub>, modelado mediante el software AERMOD, para un periodo de exposición de 1 hora conforme lo dispuesto en el DS N° 003 – 2017 MIMAN.

**Figura 17**

*Mapa de dispersión NO<sub>2</sub>*



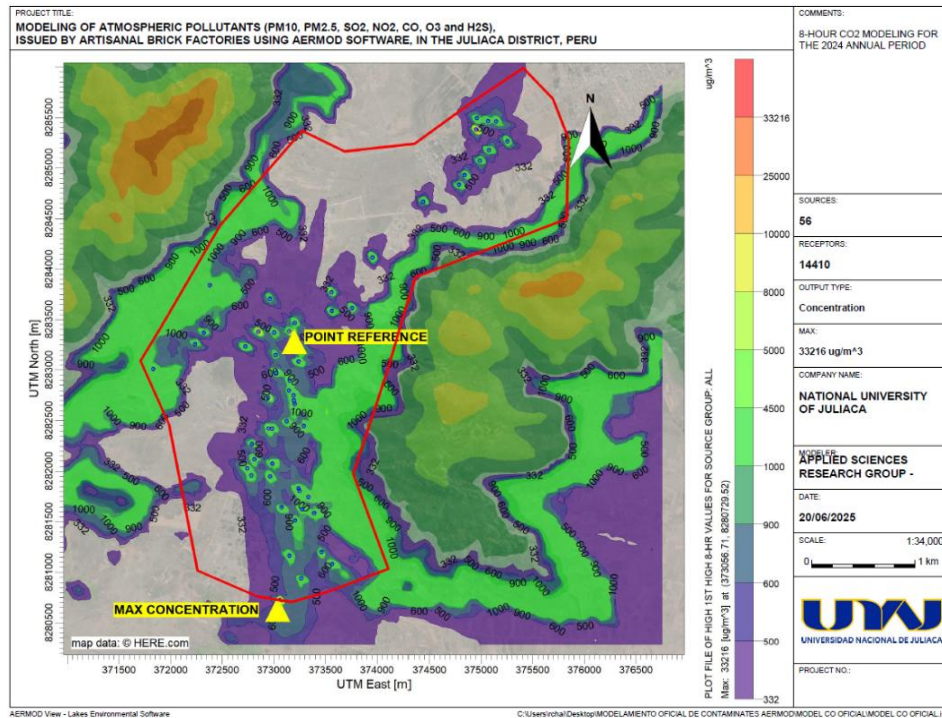
Los resultados muestran que el contaminante NO<sub>2</sub>, se dispersa una distancia aproximadamente de 0.10 km en los alrededores desde el foco de emisión, mostrando un perfil gráfico en todas las direcciones de acuerdo con el perfil de colores, además se observó que no siguen una trayectoria lineal, en dirección al viento. Asimismo, la mayor concentración de NO<sub>2</sub> (172 ug/m<sup>3</sup>), se centró en el extremo sureste de área de estudio, ubicado específicamente en la coordenada 373056.71 m E y 8280729.52 m S. Al realizar un análisis de este hallazgo, probablemente la dispersión fue determinada por la variación de temperaturas, ya que la zona presenta temperaturas promedias de 9.81 °C, con una variación que oscila entre un máximo de 11.66 °C, registrado en el mes de enero, y un mínimo de 6.22 °C, registrado en julio, siendo los meses más fríos entre junio y julio. Para sustentar esta suposición Daza & Vidal, (2018) indicaron que la temperatura afecta sustancialmente en la dispersión de contaminantes, ya que intercede en la formación de la inversión térmica, el cual puede provocar acumulación severa de contaminantes, además el suelo caliente genera corrientes convectivas ascendentes favoreciendo la dispersión vertical formando plumas térmicas que elevan los contaminantes a mayor altura. Por lo tanto, posible esta determinación ya que el NO<sub>2</sub> mostró una dispersión de forma radial en todas las direcciones siguiendo una trayectoria vertical.

### e) **Dispersión de contaminante CO**

En la figura 18, se muestra el mapa de dispersión del contaminante CO, modelado mediante el software AERMOD, para un periodo de exposición de 8 horas conforme lo dispuesto en el DS N° 003 – 2017 MIMAN.

**Figura 18**

*Mapa dispersión CO*



Los resultados muestran que el contaminante CO, se dispersa hasta una distancia 0.32 km aproximadamente en los alrededores desde el foco de emisión, mostrando un perfil de concentración en las todas direcciones, además según a la escala de colores estas la mayor concentración de CO se centró en el extremo sureste de la zona estudio, ubicado en la coordenada 373056.71 m E y 8280729.52 m S. según a este resultado, la dispersión de CO probablemente dependió de las variables meteorológicas particularmente de la turbulencia de vientos locales. Para evaluar esta dependencia se citó a Wark, (2010) quien manifestó que la dispersión de los contaminantes atmosféricos se efectúa por medio de 2 importantes mecanismos de la circulación atmosférica, una es la turbulencia, este es un factor que determina la mezcla y dilución de los gases y la otra es el calentamiento atmosférico que genera corrientes convectivas ascendentes. En contraste a los datos de turbulencia en lugar de estudio (C y D) entre leve y neutra, afectó moderadamente, ya que esta condición se da típicamente en condiciones de viento moderado y cielo medianamente cubierto, estos se presentaron en un 5.1% y 5/10

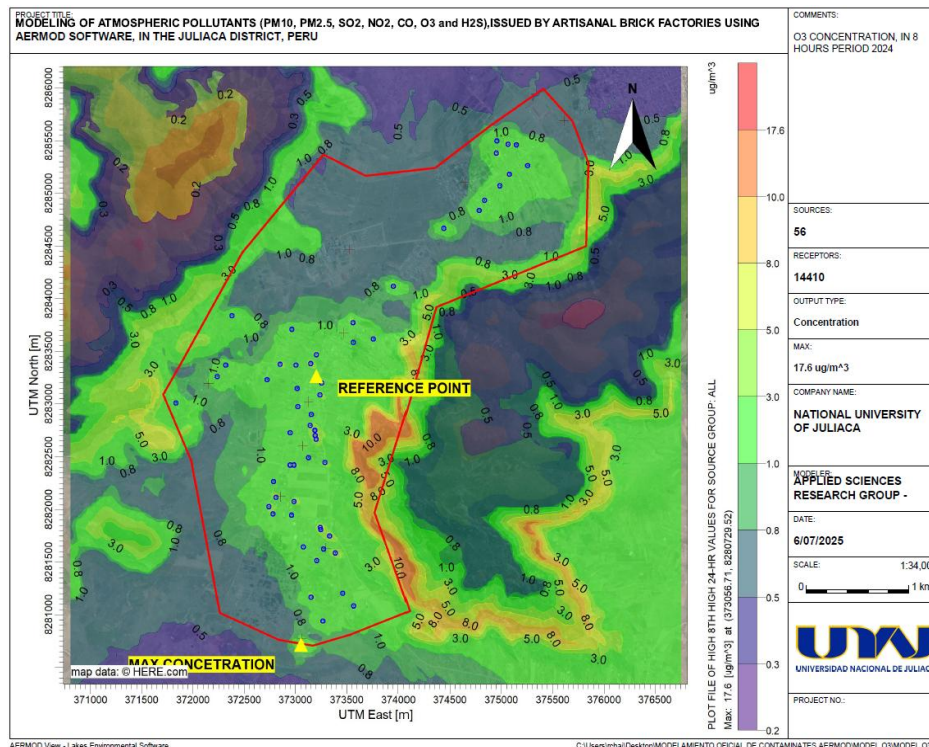
respectivamente. En síntesis, estas variables influenciaron moderadamente en la dispersión.

### f) Dispersión de contaminante O<sub>3</sub>

En la figura 19, se muestra el mapa de dispersión del contaminante O<sub>3</sub>, modelado mediante el software AERMOD, para un periodo de exposición de 8 horas conforme lo dispuesto en el DS N° 003 – 2017 MIMAN.

**Figura 19**

*Mapa de dispersión O<sub>3</sub>*



Los resultados del modelamiento muestran que el contaminante O<sub>3</sub> se esparce de forma irregular, mostrando un patrón de propagación en todas las direcciones. El espectro de colores reveló que la concentración promedio se extiende aproximadamente hasta 0.16 km metros alrededor de los hornos ladrilleros, ya que no sigue una trayectoria lineal gobernada por la dirección del viento. La mayor concentración de O<sub>3</sub> se ubicó en el límite sureste del área de estudio, específicamente entre las coordenadas 373056.71 m Este y 8280729.52 m Sur. Aunque el O<sub>3</sub> no se emite directamente, se forma en la atmósfera por reacciones entre óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de calor y luz solar (Ubilla y Yohannessen 2017). El O<sub>3</sub> se descompone naturalmente, pero su concentración puede aumentar por la contaminación además relación con los parámetros meteorológicos, la velocidad y

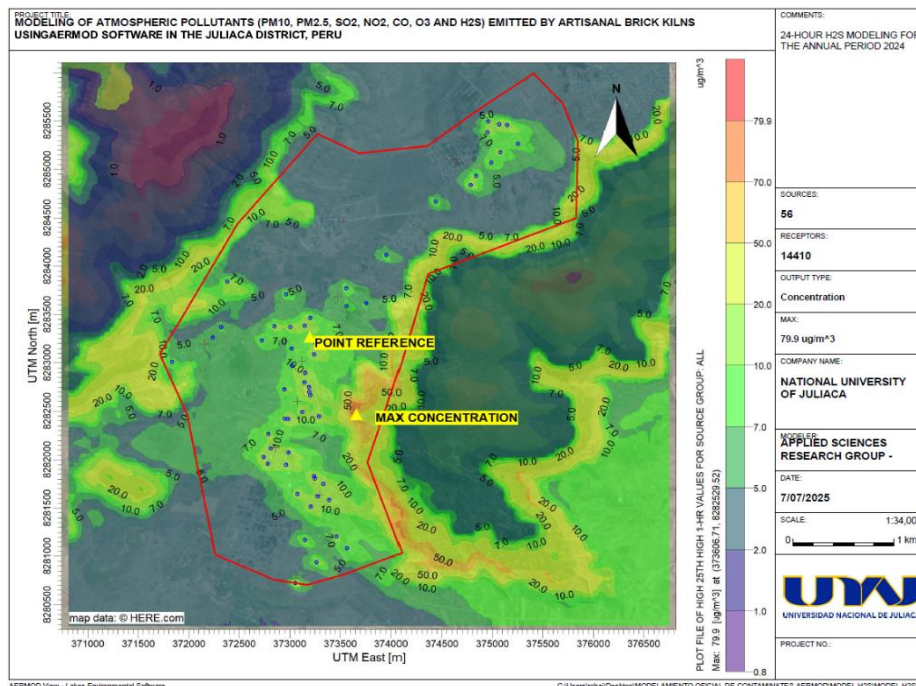
dirección del viento, influenciaron en la dispersión y transporte de  $O_3$  en el aire (Ivanovski et al. 2022).

### g) Dispersión de contaminante $H_2S$

En la figura 20, se muestra el mapa de dispersión del contaminante  $H_2S$ , modelado mediante el software AERMOD, para un periodo de exposición de 24 horas conforme lo dispuesto en el DS N° 003 – 2017 MIMAN.

**Figura 20**

*Mapa de dispersión  $H_2S$*



El mapa evidencia que el  $H_2S$  no sigue un patrón de dispersión respecto a la fuente emisora fija. El espectro de colores reveló que la concentración promedio se ubica fuera del foco de emisión, según la figura no obedece la dirección del viento. Asimismo, se detectó que la concentración máxima se ubica al sureste del área de estudio, específicamente entre las coordenadas 373606.71 m Este y 8282529.52 m Sur. Con base en los resultados del presente estudio, los parámetros meteorológicos desempeñaron un papel notable en la variación de las concentraciones de contaminación del aire. Como se presenta en la figura 20, se observó una tendencia fluctuante en las concentraciones, que corresponde a las variaciones en los factores meteorológicos (Nakyai et al. 2025). Probablemente las velocidades más altas del viento promovieron el movimiento, mejorando así la capacidad de mezclarse y dispersarse eficientemente en la atmósfera (Dahari et al. 2020).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.4. Conclusiones

La estimación de las concentraciones de contaminantes en la salida de los gases emitidos por los hornos ladrilleros de la ciudad de Juliaca, alcanzó 11679.87 mg/m<sup>3</sup>N de CO, 141.49 mg/m<sup>3</sup>N de NO<sub>x</sub>, y 236.67 mg/m<sup>3</sup>N de SO<sub>2</sub>. Donde, el CO es el contaminante más abundante que superó en un 85% el Límite Máximo Permitido (LMP) de la norma ambiental peruana. Además, existen 312 hornos ladrilleros a cielo abierto, ubicados en lugar conocido como “Salida Arequipa”, denominada zona ladrillera de la ciudad de Juliaca.

El aporte de contaminantes emitidos por las ladrilleras artesanales de la ciudad de Juliaca, estimadas mediante el modelo AERMOD alcanzaron una concentración máxima de 562 ug/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>, 110 ug/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub>, 272 ug/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub>, 172 ug/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>, 33216 ug/m<sup>3</sup> de CO, 17.6 ug/m<sup>3</sup> de (O<sub>3</sub>) y 79.9 ug/m<sup>3</sup> de (H<sub>2</sub>S). Donde solo el NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S, están dentro los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Además, la estimación de emisiones calculados a partir de factores y mediciones directas para hornos ladrilleros son (29, 0.190, 0.21, 0.15, 12.84, 0.157 y 0.113) g/s, 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 respectivamente.

La dispersión de los contaminantes emitidos por las ladrilleras artesanales de la ciudad de Juliaca, mostraron una de distribución en dirección al sureste de la zona de estudio, además son influenciados por la trayectoria de los vientos predominantes en esa dirección y por los rasgos topográficos propio del lugar. Así mismo, las concentraciones máximas reportados del modelamiento se centraron en su mayoría en el extremo sureste, ubicado en la coordenada 373056.32 m E y 8280729.89 del área de estudio.

#### **4.5. Recomendaciones**

Mejorar la metodología de mediación en fuente, a fin de obtener resultados con mayor precisión y evitar sesgos de modelamiento.

Utilizar factores de emisión acorde al rubro de la actividad y a la naturaleza de la investigación o en el mejor de los casos realizar mediciones directas.

Utilizar el software AERMOD, como una herramienta de “estimación” de contaminantes, contrastando la información In Situ, a efectos de precisar los resultados de la investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abedin, M. J., M. R. Karim, Mayeen Uddin Khandaker, M. Kamal, S. Hossain, M. H. A. Miah, D. A. Bradley, M. R. I. Faruque, and M. I. Sayyed. 2020. "Dispersion of Radionuclides from Coal-Fired Brick Kilns and Concomitant Impact on Human Health and the Environment." *Radiation Physics and Chemistry* 177:109165. doi:10.1016/J.RADPHYSHEM.2020.109165.
- Adnan, H., and A. T. Balasbanch. 2021. "Study of Life Cycle Assessment of Bricks and the Impacts to the Environment in Malaysia." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1200(1):012012. doi:10.1088/1757-899x/1200/1/012012.
- Adrián Silva, and Dagoberto Arcos. 2011. "Aplicación del programa AERMOD para modelar dispersión de PM10 emitido por equipos de calefacción a leña en la ciudad de Constitución." *Centro Regional de Estudios Ambientales CREA* 1–7. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132011000100001.
- Afzali, Afsaneh, M. Rashid, Mahboubeh Afzali, and Vahid Younesi. 2017a. "Prediction of Air Pollutants Concentrations from Multiple Sources Using AERMOD Coupled with WRF Prognostic Model." *Journal of Cleaner Production* 166:1216–25. doi:10.1016/j.jclepro.2017.07.196.
- Afzali, Afsaneh, M. Rashid, Mahboubeh Afzali, and Vahid Younesi. 2017b. "Prediction of Air Pollutants Concentrations from Multiple Sources Using AERMOD Coupled with WRF Prognostic Model." *Journal of Cleaner Production* 166:1216–25. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.196.
- Afzali, Afsaneh, M. Rashid, Mahboubeh Afzali, and Vahid Younesi. 2017c. "Prediction of Air Pollutants Concentrations from Multiple Sources Using AERMOD Coupled with WRF Prognostic Model." *Journal of Cleaner Production* 166:1216–25. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.07.196.
- Bello-Medina, P. C., E. Rodríguez-Martínez, R. A. Prado-Alcalá, and S. Rivas-Arancibia. 2022. "Ozone Pollution, Oxidative Stress, Synaptic Plasticity, and Neurodegeneration." *Neurología (English Edition)* 37(4):277–86. doi:https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2018.10.025.

- Berumen-Rodríguez, Alejandra Abigail, Francisco Javier Pérez-Vázquez, Fernando Díaz-Barriga, Leonardo Ernesto Márquez-Mireles, and Rogelio Flores-Ramírez. 2020a. “Revisión Del Impacto Del Sector Ladrillero Sobre El Ambiente y La Salud Humana En México.” *Salud Publica de Mexico* 63(1):100–108. doi:10.21149/11282.
- Berumen-Rodríguez, Alejandra Abigail, Francisco Javier Pérez-Vázquez, Fernando Díaz-Barriga, Leonardo Ernesto Márquez-Mireles, and Rogelio Flores-Ramírez. 2020b. “Revisión Del Impacto Del Sector Ladrillero Sobre El Ambiente y La Salud Humana En México.” *Salud Publica de Mexico* 63(1):100–108. doi:10.21149/11282.
- Bhat, Mansoor Ahmad, and Eftade O. Gaga. 2022. “Air Pollutant Emissions in the Pristine Kashmir Valley from the Brick Kilns.” Pp. 959–79 in *Biodiversity, Conservation and Sustainability in Asia: Volume 2: Prospects and Challenges in South and Middle Asia*, edited by M. Öztürk, S. M. Khan, V. Altay, R. Efe, D. Egamberdieva, and F. O. Khassanov. Cham: Springer International Publishing.
- Brooks, Nina, Debashish Biswas, Sameer Maithel, Grant Miller, Aprajit Mahajan, M. Rofi Uddin, Shoeb Ahmed, Moogdho Mahzab, Mahbubur Rahman, and Stephen P. Luby. 2025. “Reducing Emissions and Air Pollution from Informal Brick Kilns: Evidence from Bangladesh.” *Science* 388(6747):eadr7394. doi:10.1126/science.adr7394.
- Bustíos, Carlos; Martina, Martha; Arroyo, Ruth. 2013. *Deterioro de La Calidad Ambiental y La Salud En El Perú Actual*. doi:http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203128542001.
- Carr, Edward, Mark Lee, Kristen Marin, Christopher Holder, Marion Hoyer, Meredith Pedde, Rich Cook, and Jawad Touma. 2011. “Development and Evaluation of an Air Quality Modeling Approach to Assess Near-Field Impacts of Lead Emissions from Piston-Engine Aircraft Operating on Leaded Aviation Gasoline.” *Atmospheric Environment* 45(32):5795–5804. doi:10.1016/J.ATMOENV.2011.07.017.
- Chen, Yuanchen, Wei Du, Shaojie Zhuo, Weijian Liu, Yuanlong Liu, Guofeng Shen, Shuiping Wu, Jianjun Li, Bianhong Zhou, Gehui Wang, Eddy Y. Zeng, Hefa Cheng, Wenxin Liu, and Shu Tao. 2017a. “Stack and Fugitive Emissions of Major Air Pollutants from Typical Brick Kilns in China.” *Environmental Pollution* 224:421–29. doi:10.1016/J.ENVPOL.2017.02.022.

- Chen, Yuanchen, Wei Du, Shaojie Zhuo, Weijian Liu, Yuanlong Liu, Guofeng Shen, Shuiping Wu, Jianjun Li, Bianhong Zhou, Gehui Wang, Eddy Y. Zeng, Hefa Cheng, Wenxin Liu, and Shu Tao. 2017b. "Stack and Fugitive Emissions of Major Air Pollutants from Typical Brick Kilns in China." *Environmental Pollution* 224:421–29. doi:10.1016/J.ENVPOL.2017.02.022.
- Cimorelli, Alan J; Perry, Steven G., et al., A. J. Cimorelli, S. G. Perry, and A. Venkatram. 2004a. "AERMOD: Description of Model Formulation." *Report 44*(July 2015):1–91. doi:EPA-454/R-03-004.
- Cimorelli, Alan J; Perry, Steven G., et al., A. J. Cimorelli, S. G. Perry, and A. Venkatram. 2004b. "AERMOD: Description of Model Formulation." *Report 44*(July 2015):1–91. doi:EPA-454/R-03-004.
- Cimorelli, Allan J., Steven G. Perry, Akula Venkatram, Jeffrey C. Weil, Robert J. Paine, Robert B. Wilson, Russell F. Lee, Warren D. Peters, and Roger W. Brode. 2005. "AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization." *Journal of Applied Meteorology* 44(5):682–93. doi:10.1175/JAM2227.1.
- Coleman, J. S. M., and K. T. Law. 2015. "Meteorology." *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.09492-6.
- Dahari, Nadhira, Mohd Talib Latif, Khalida Muda, and Norelyza Hussein. 2020. "Influence of Meteorological Variables on Suburban Atmospheric PM<sub>2.5</sub> in the Southern Region of Peninsular Malaysia." *Aerosol and Air Quality Research* 20(1):14–25. doi:10.4209/aaqr.2019.06.0313.
- Dalens Z. and 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, Universidad Cesar Vallejo URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/99877>
- Daza Guerra, Oscar Rene, Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Cristian Javier Lozano Hernández, and Carlos Mantilla Parra. 2018. "Determinación de Los Gases Contaminantes O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> Y SO<sub>2</sub> En Fuentes Fijas En La Provincia de Cotopaxi." *Ciencia Digital* 2(4.2.):1–28. doi:10.33262/cienciadigital.v2i4.2..199.

- Dey, Subhashish, and Ganesh Chandra Dhal. 2019. "Materials Progress in the Control of CO and CO<sub>2</sub> Emission at Ambient Conditions: An Overview." *Materials Science for Energy Technologies* 2(3):607–23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.06.004>.
- Diana Moscoso Vanegas, Ana Astudillo Alemán, and Mayra C. Morales Pérez. 2018. "Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón cuenca-ECUADOR." *Universidad de Cuenca*. doi:[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000200004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200004).
- DIGESA. 2005. *Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas Cuenca Atmosférica de La Ciudad de Arequipa*. doi:<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/499.pdf>.
- Edwin Harol Quispe Chavez. 2021. *Modelamiento de la dispersión geográfica de pm10 producido por el sector ladrillero utilizando el software AERMOD VIEW en el distrito de san Jerónimo, provincia y departamento de Cusco 2018*. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12557/5008>.
- Enrique, Juan, Orellana Orellana, Ing Diana Lucía, and Moscoso Vanegas. 2020. *Inventario de Emisiones Atmosféricas Provenientes de Fuentes Fijas de Lazona Urbana Del Cantón Chordeleg*. ECUADOR. doi:<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33792>.
- EPA. 1999. *A Beginner's Guide for Point and Area Sources Inventory Development: Handbook for Criteria Pollutant*. doi:[www.epa.gov/ttn/chief](http://www.epa.gov/ttn/chief).
- EPA 42. 1999. *AP-42, CH 11.3: Brick And Structural Clay Product Manufacturing*. doi:<https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s03.pdf>.
- EPA, United States Environmental Protection Agency. 1999. "Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development : A Beginner ' s Guide for Point and Area." 285.
- Espinoza, Cristhian Jose. 2018. "Determinación de La Dispersión Geográfica de Los Gases NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y Partículas (PM<sub>10</sub>), Emitidos Por Una Central Térmica Aplicando." *Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur* 1(X):1–81.

- Fernández, Santiago, José Sánchez, and Alejandro Largo. 2002. “Estadística Descriptiva.” doi:<https://books.google.com.mx/books?id=31d5cGxXUnEC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>.
- Gaitán, Mauricio, and Paula Andrea Cárdenas. 2017a. *Guía Para La Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*.
- Gaitán, Mauricio, and Paula Andrea Cárdenas. 2017b. *Guía Para La Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*.
- Gallego, Alejandrina, Ignacio Fernández, Benjamín Gimeno, Pilar Hernando, Rosa Martínez, Juan Carlos Yagüe, Juan Ángel Pérez, Asunción García, and Jesús Senén Durand. 2012a. *Contaminación Atmosférica*. Madrid.
- Gallego, Alejandrina, Ignacio Fernández, Benjamín Gimeno, Pilar Hernando, Rosa Martínez, Juan Carlos Yagüe, Juan Ángel Pérez, Asunción García, and Jesús Senén Durand. 2012b. *Contaminación Atmosférica*. Madrid.
- Gibson, Mark D., Soumita Kundu, and Mysore Satish. 2013a. “Dispersion Model Evaluation of PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from Point and Major Line Sources in Nova Scotia, Canada Using AERMOD Gaussian Plume Air Dispersion Model.” *Atmospheric Pollution Research* 4(2):157–67. doi:10.5094/APR.2013.016.
- Gibson, Mark D., Soumita Kundu, and Mysore Satish. 2013b. “Dispersion Model Evaluation of PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from Point and Major Line Sources in Nova Scotia, Canada Using AERMOD Gaussian Plume Air Dispersion Model.” *Atmospheric Pollution Research* 4(2):157–67. doi:10.5094/APR.2013.016.
- Gustavo Guerrero Gómez, Edwin Espinel Blanco, and Torcoroma Velasquez Perez. 2017. “Análisis Isocinético y Corrección a Condiciones de Referencia En Horno a Cielo Abierto En El Municipio de Ocaña, Norte de Santander.” doi:<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2194/2147>.
- Haq, Amin ul, Qaisar Nadeem, Amjad Farooq, Naseem Irfan, Masroor Ahmad, and Muhammad Rizwan Ali. 2019. “Assessment of AERMOD Modeling System for Application in Complex Terrain in Pakistan.” *Atmospheric Pollution Research* 10(5):1492–97. doi:10.1016/J.APR.2019.04.006.

- Harrison, S. 2009. "Physical Geography and Human Geography." *International Encyclopedia of Human Geography: Volume 1-12* 1–12:V8-163-V8-168. doi:10.1016/B978-008044910-4.00283-2.
- Halanocca Y. and Huaman R. 2015 "Impacto ambiental generado por el sector ladrillero en el distrito de san Jerónimo Cusco" Tesis, Universidad de San Antonio Abad del Cusco URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/189>
- Israel Alexander Rivadeneira Flores. 2020. "Modelación Matemática de Las Emisiones de Fuentes Fijas de La Refinería Esmeraldas Con El Modelo AERMOD Para Evaluar Su Impacto Sobre La Calidad Del Aire." doi:<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22070>.
- Ivanovski, Maja, Petra Dolšak Lavrič, Rudi Vončina, Darko Goričanec, and Danijela Urbancl. 2022. "Improvement of Air Quality during the COVID-19 Lockdowns in the Republic of Slovenia and Its Connection with Meteorology." *Aerosol and Air Quality Research* 22(9). doi:10.4209/aaqr.210262.
- Jalali, Iman, and Somayeh Tourani. 2025. "Dispersion Modeling of NO<sub>x</sub> from Stacks of Cracking Furnaces of OLEFIN Unit Using AERMOD." *Results in Chemistry* 13. doi:10.1016/j.rechem.2025.102051.
- Jayadipraja, Erwin Azizi, Sartini Risky, Ari Nofitasari, and Andi Nilawati Usman. 2020. "The Relationship between the Cement Emission Stacks Dispersion Model Using AERMOD and the Lung Capacity of the Surrounding Society." *Enfermería Clínica* 30:494–98. doi:10.1016/J.ENFCLI.2019.07.146.
- Jorge Luis Jaya Sucozhañay, and Jose Luis Gomezcolo Vasquez. 2012. *Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles.* cuenca. doi:<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6359>.
- Junior, Carlos, Chinga Pinargote, Diana Katherine, Zambrano Carranza, Holanda Teresa, Vivas Saltos, Verónica Monserrate, and Vera Villamil. 2023. "Análisis de Las Emisiones de La Fabricación Artesanal de Productos Arcillosos Estructurales Mediante Un Muestreo Isocinético." *Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien* 17(2):472–79. doi:10.53591/cna.v17i2.2633.

- Kesarkar, Amit P., Mohit Dalvi, Akshara Kaginalkar, and Ajay Ojha. 2007. "Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for Pollutant Dispersion Modeling. A Case Study for PM10 Dispersion over Pune, India." *Atmospheric Environment* 41(9):1976–88. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.10.042.
- Khan, Anwar Ali, Prashant Kumar, Sunil Gulia, and Mukesh Khare. 2024. "A Critical Review of Managing Air Pollution through Airshed Approach." *Sustainable Horizons* 9:100090. doi:10.1016/J.HORIZ.2024.100090.
- Krzyzanowski, Judi. 2011. "Approaching Cumulative Effects through Air Pollution Modelling." *Water, Air, and Soil Pollution* 214(1–4):253–73. doi:10.1007/S11270-010-0421-1/METRICS.
- Lechuga Canal, Autor, Washington Julio Asesor Sánchez Camargo, Mario Rodolfo, Jurado Alva Velásquez, Miguel Mendoza García, José Tomás Guillén León, and Rogelia Lima - Perú. 2022. *Determinación de Gases Contaminantes y de Efecto Invernadero Del Sector Ladrillero Artesanal de Piñipampa – Cusco – Año 2020*. doi:https://hdl.handle.net/20.500.13084/6630.
- Van Leuken, J. P. G., A. N. Swart, A. H. Havelaar, A. Van Pul, W. Van der Hoek, and D. Heederik. 2016. "Atmospheric Dispersion Modelling of Bioaerosols That Are Pathogenic to Humans and Livestock - A Review to Inform Risk Assessment Studies." *Microbial Risk Analysis* 1:19–39. doi:10.1016/j.mran.2015.07.002.
- Li, Yongjie, Ka In Hoi, Kai Meng Mok, and Ka Veng Yuen. 2023. "Emerging Air Quality Monitoring Methods." *Air Quality Monitoring and Advanced Bayesian Modeling* 105–72. doi:10.1016/B978-0-323-90266-3.00005-4.
- Lizarraga, Irving Jesus, José Eduardo Pomalaya, Luis Fernando Suarez, and Yessica Bendezu. 2019. "Dispersion of Particulate Material 2.5 Emitted by Roasted Chicken Restaurants Using the AERMOD Model in Huancayo Metropolitan, Peru." *Dyna* 86(211):346–53. doi:10.15446/dyna.v86n211.78812.
- Lizarraga-Isla, Irving Jesus, José Eduardo Pomalaya-Valdez, Luis Fernando Suarez-Salas, and Yessica Bendezu-Roca. 2019. "Dispersion of Particulate Material 2.5 Emitted by Roasted Chicken Restaurants Using the AERMOD Model in Huancayo Metropolitan, Peru." *DYNA (Colombia)* 86(211):346–53. doi:10.15446/dyna.v86n211.78812.

- Marroquin Mejia, Well. 2024. *Determinación de La Dispersión de Material Particulado PM-10 En Desvío Provisional La Construcción de Puente Aplicando El Modelo Aermod En El Centro Poblado de Kunurana Alto, Puno*. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12773/19412>.
- Martha Elena MATIAS FALCON. 2021. *Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Influenciado La Actividad Minera a Través Del Software de AERMOD En El Distrito de Tinyahuarco*. doi:<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2145>.
- Massolo, Laura Andrea. 2022. *Modelos de dispersión y distribución de contaminantes en el ambiente*. doi:<https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/2162>.
- Mateos Zarate, Alan Fernando, Sandy-Edith Benitez-Garcia, Francisco Hernandez-Ortega, and Abraham Ortinez-Alvarez. 2023. “Uso Del Modelo AERMOD Para La Estimación de La Dispersión de Material Particulado Proveniente de La Industria Ladrillera En La Zona Metropolitana De Oaxaca.” *Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura* 2(1):18–27. doi:10.56643/rcia.v2i1.163.
- Matias Falcon, Martha Elena. 2021. “Modelamiento de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Influenciado Por La Actividad Minera a Través Del Software de AERMOD En El Distrito de Tinyahuarco.” 3(2):6.
- Mauricio Gaitán Varón, and Paula Andrea Cárdenas Ruíz. 2017. *Guía Para La Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas / Colombia*.
- MINAM. 2018. *Ley Marco Sobre El Cambio Climatico*. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/ley-marco-sobre-cambio-climatico-ley-n-30754-1638161-1>.
- MINAM. 2021. “Proyecto de Decreto Supremo Que Aprueban Límites Máximos Permisibles Para Emisiones Atmosféricas de Las Actividades de Fabricación de Ladrillos.” doi:<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2002628-111-2021-minam>.
- Nakyai, Teeranun, Mattana Santasnachok, Anamai Thetkathuek, and Nantaporn Phatrabuddha. 2025. “Influence of Meteorological Factors on Air Pollution and Health Risks: A Comparative Analysis of Industrial and Urban Areas in Chonburi Province, Thailand.” *Environmental Advances* 19:100608. doi:10.1016/J.ENVADV.2024.100608.

Nevers, Noel De. 1998. *Ingeniería de Control de La Contaminación Del Aire*.

Neyra Rosario Huaynatis Inga. 2019. *Modelamiento de la dispersión de gases utilizando el Aermód versión 8.9 y su relación con los parámetros meteorológicos del Centro Poblado Santa María de Huachipa, 2019*. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12692/40527>.

Nicolaou, Laura, Fiona Sylvies, Isabel Veloso, Katherine Lord, Ram K. Chandyo, Arun K. Sharma, Laxman P. Shrestha, David L. Parker, Steven M. Thygeson, Peter F. DeCarlo, Gurumurthy Ramachandran, and William Checkley. 2024. “Brick Kiln Pollution and Its Impact on Health: A Systematic Review and Meta-Analysis.” *Environmental Research* 257:119220. doi:10.1016/J.ENVRES.2024.119220.

Omidvarborna, Hamid, Mahad Baawain, Abdullah Al-Mamun, and Sajjad Siddiqi. 2020. “Characterizing the Unknown Contribution of Iron Industries in Atmospheric Iron Emissions Using Sensitivity Analysis.” *Journal of Aerosol Science* 151(July 2020):105630. doi:10.1016/j.jaerosci.2020.105630.

OMS. 2021. “Who Global Airquality Guidelines.” doi:<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.

Park, Sang Jong, Soon Ung Park, Chang Hoi Ho, and Larry Mahrt. 2009. “Flux-Gradient Relationship of Water Vapor in the Surface Layer Obtained from CASES-99 Experiment.” *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 114(8):1–12. doi:10.1029/2008JD011157.

Pasquill, Frank. 1961. “The Estimation of the Dispersion of Windborne Material.” *The Meteorological Magazine* 90:33–49.

PDU-JULIACA. 2016. “Plan de Desarrollo Urbano de La Ciudad de Juliaca 2016 - 2025.” doi:<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5641653/4997450-iii-1-sub-sistema-fisico-biotico.pdf?v=1704496440>.



Pozo Suclupe, Luis Antonio. 2018. “Identificación de Impactos Ambientales Significativos En La Industria Ladrillera Utilizando Un Modelo de Simulación Dinámica.” *TZHOECOEN* 10(4):593–609. doi:10.26495/rtzh1810.428539.

- PRODUCE. 2010. “Guía de Buenas Prácticas Para Ladrilleras Artesanales.”  
doi:<https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2010/abril/21/RM-102-2010-PRODUCE.pdf>.
- PRODUCE & PRAL. 2014. *Estudio Diagnóstico Sobre Las Ladrilleras Artesanales En El Perú Departamentos de Puno, Cajamarca, Trujillo, Lambayeque, Piura, Ayacucho, Lima, Tacna, Arequipa y Cusco.*  
doi:[https://www.academia.edu/28728379/ESTUDIO\\_DIAGN%C3%93STICO\\_SOBRE\\_LAS\\_LADRILLERAS\\_ARTESANALES\\_EN\\_EL\\_PER%C3%9A\\_Elaborado\\_por\\_el\\_Programa\\_Regional\\_de\\_Aire\\_Limpio\\_y\\_el\\_Ministerio\\_de\\_la\\_Producci%C3%B3n](https://www.academia.edu/28728379/ESTUDIO_DIAGN%C3%93STICO_SOBRE_LAS_LADRILLERAS_ARTESANALES_EN_EL_PER%C3%9A_Elaborado_por_el_Programa_Regional_de_Aire_Limpio_y_el_Ministerio_de_la_Producci%C3%B3n).
- PRODUCE, Ministerio de la Producción, and Programa Regional de Aire Limpio y el Ministerio de Producción PRAL. 2014a. “Estudio Diagnóstico Sobre Las Ladrilleras Artesanales En El Perú.”
- PRODUCE, Ministerio de la Producción, and Programa Regional de Aire Limpio y el Ministerio de Producción PRAL. 2014b. “Estudio Diagnóstico Sobre Las Ladrilleras Artesanales En El Perú.”
- Ramiro, Hugo, Gómez Apac, Genaro Lino, Matute Mejía, César Paul, Ortiz Jahn, Roxana María, and Barrantes Cáceres. 2015. “Instrumentos Básicos. PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL.” *Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental* 29.
- Rood, Arthur S. 2014. “Performance Evaluation of AERMOD, CALPUFF, and Legacy Air Dispersion Models Using the Winter Validation Tracer Study Dataset.” *Atmospheric Environment* 89:707–20. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.02.054.
- SEA, Servicio de Evaluación Ambiental--Chile. 2018. “Guía Para El Uso de Modelos de Calidad Del Aire En El SEIA.”
- SEMARNAT, and INECC. 2013. *Guía Metodológica Para La Estimación de Emisiones de Fuentes Fijas / México.*  
doi:[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/\\$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf).



- SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2011. “Evaluación de La Calidad Del Aire En Lima Metropolitana 2011.”
- Song, Wanying, and Mei-Po Kwan. 2023. “Air Pollution Perception Bias: Mismatch between Air Pollution Exposure and Perception of Air Quality in Real-Time Contexts.” *Health & Place* 84:103129. doi:<https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2023.103129>.
- Turtos Carbonell, Leonor Maria, Madeleine Sanchez Gacita, Jose de Jesus Rivero Oliva, Larisa Curbelo Garea, Norberto Diaz Rivero, and Elieza Meneses Ruiz. 2010. “Methodological Guide for Implementation of the AERMOD System with Incomplete Local Data.” *Atmospheric Pollution Research* 1(2):102–11. doi:10.5094/APR.2010.013.
- Ubilla, Carlos, and Karla Yohannessen. 2017. “CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EFECTOS EN LA SALUD RESPIRATORIA EN EL NIÑO.” *Revista Médica Clínica Las Condes* 28(1):111–18. doi:10.1016/J.RMCLC.2016.12.003.
- US EPA. 2024. *Guideline on Air Quality Models; Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System*. doi:[www.epa.gov/scram/2024-appendix-w-](http://www.epa.gov/scram/2024-appendix-w-).
- Vera-Marmanillo, Verónica Isela, and Edwin Harol Quispe Chávez. 2023. “Modelamiento de La Dispersión de PM10 de Las Ladrilleras Del Distrito de San Jerónimo Cusco.” *Revista Boliviana de Química* 40(5). doi:10.34098/2078-3949.40.5.2.
- Vidal Daza, Oscar Andres, and Andrea Perez Vidal. 2018. “Estimación de La Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos Por Una Industria Papelera Mediante El Modelo AERMOD.” *Ingeniería* 23(1):31. doi:10.14483/23448393.12262.
- Vidal, Oscar, and Andrea Pérez. 2018. “Estimation of Dilution of l Estimación de La Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos Por Una Industria Papelera Mediante El Modelo AERMOD.” *Revista Ingeniería* 23(1):31–47.
- Wark, Kenneth, and Cecil Warner. 1994. “Contaminación Del Aire: Origen y Control. México. Editorial Limusa.” 4–6.

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Ficha técnica de geolocalización

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA</b> Av. Nueva Zelandia N° 631 - RUC: 20448261272		CÓDIGO
<b>FICHA TÉCNICA DE GEOLOCALIZACIÓN</b>			
<b>1. DATOS GENERALES</b>			
Datos generales (titular o representante) :		Fecha .../.../2024	
Proyecto :			
<b>2. UBICACION</b>			
SECTOR	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
<b>3. ITINERARIO</b>			
Descripción del punto:			
<b>4. DATOS TÉCNICOS</b>			
Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L			
ESTE	NORTE	COTA	
<b>5. DATOS DE INTERES</b>			
Tipo de horno:			
Especificación			
Operatividad:	SI ( )	NO ( )	¿Por que?
Horario de funcionamiento:	AM.....PM.....		
Capacidad de producción:			
Tipo de combustible en uso:			
Dimensiones del horno:	Altura.....Lado 1.....Lado 2.....		
<b>6. OBSERVACIONES</b>			

**ANEXO 2: Formato de encuestas**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA</b>	
	<b>INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> Av. Nueva Zelanda N° 631 - RUC: 20448261272	
<b>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b>		
<b>DATOS GENERALES</b>		<b>CODIGO</b>
<b>FECHA</b>		
<b>1. UBICACIÓN DE LA LADRILLERA ARTESANAL</b>		
1.1 Zona		19 S
1.2 Coordenada Este (UTM)		
1.3 Coordenada Norte (UTM)		
<b>2. CARACTERÍSTICAS DEL HORNO TIPO ESCOCÉS</b>		
2.1 Material de construcción del horno		2.6 Ancho externo del horno
<input type="checkbox"/> Adobe		<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Ladrillo		2.7 Periodo de funcionamiento del horno por año
<input type="checkbox"/> Otros: _____		<input type="checkbox"/> Bajo
2.2 Base de elevación del horno	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Medio
2.3 Altura del Horno	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Alto
2.4 Largo del horno	<input type="text"/>	2.8 Tiempo de cocción de ladrillos
2.5 Ancho interno del horno	<input type="text"/>	2.9 Tiempo de enfriamiento del horno
		<input type="text"/>
		<input type="text"/>
<b>3. MATRIZ PARA EL ENCENDIDO DE LOS HORNOS DE LADRILLERAS ARTESANALES</b>		
3.1 Cantidad de combustible		
<input type="checkbox"/> 1 Camión (3.5 m3)		<input type="checkbox"/> 3 Camiones (10.5 m3)
<input type="checkbox"/> 2 Camiones (7.5 m3)		<input type="checkbox"/> Otros: _____
3.2 Tipo de combustible		
<input type="checkbox"/> Estiercol de Ovino		<input type="checkbox"/> Plásticos
<input type="checkbox"/> Leña		<input type="checkbox"/> Otros: _____
<input type="checkbox"/> Gasolina		
3.3 Tipo de inyección de aire empleado		
<input type="checkbox"/> Fuente natural	<input type="checkbox"/> Fuente manual	<input type="checkbox"/> Fuente mecánica
<b>4. OTRAS CARACTERÍSTICAS</b>		
4.1 Número de quemas a la semana		<input type="text"/>
4.2 Producción de ladrillos por horneada		<input type="text"/>
4.3 Tiempo en horas de la quema		<input type="text"/>
<b>OBSERVACIONES:</b>		

### ANEXO 3: Corrección de resultados y unidades

#### CORRECCION DE RESULTADOS DE MEDICION

##### 1. PARA CO

###### A) Conversion de ppm a mg/m<sup>3</sup> de CO

Realizamos la correccion del parametro medido de CO en campo a condiciones de normales, tomando como dato la temperatura 0 °C que equivale 273.15 K, y a 1 atm (760 mmHg). Para ello, Calculamos el "Volumen molar" expresado en condiciones normales, siguiendo la ecuacion de gases ideales

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Donde:

- $n = 1 \text{ mol}$
- $R = 0.082 \text{ L/k.mol}$
- $T = 273.15 \text{ K}$
- $P = 1 \text{ atm}$

Reemplazamos en la ecuacion

$$V = \frac{1 \text{ mol} * 0.082 \text{ atm} \cdot \frac{\text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} 273.15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 22.39 \text{ L}$$

Aplicamos la ecuacion de equivalencia de unidades, teniendo como dato

- Peso atómico del compuesto (CO = 28 g)
- Resultado de la medicion con TESTO (CO = 7786ppm)

$$7786 \text{ ppm de CO} = \frac{7786 \text{ m}^3 \text{ _co}}{10^6 \text{ m}^3 \text{ _aire}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ mol}}{22.39 \text{ L}} * \frac{28 \text{ g _co}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$7786 \text{ ppm de CO} = 9733.23 \text{ mgN/ m}^3$$

###### B) Correccion de oxigeno

$$Ec = \frac{21 - Oc}{21 - Om} * Em$$

Siendo:

- $Ec$ : concentración de emisión corregida (mg/Nm<sup>3</sup>) en base seca.
- $Em$ : concentración de emisión medida (mg/Nm<sup>3</sup>) en base seca
- $Oc$ : Porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) de corrección (%)
- $Om$ : Porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) medido en la chimenea (%)

Reemplazamos en la ecuacion

Considerando 18% de O<sub>2</sub>

$$CO_{(O_2 \text{ _}18\%)} = \frac{(21 - 18.0)}{(21 - 18.4)} * 9733.23 \text{ mgN/ m}^3$$

$$CO = 11679.87 \text{ mgN/ m}^3$$

### C) *Calculo de la tasa de emision (EC)*

*Datos medidos con el TESTO:*

- *Velocidad de salida de gas: 1.7 m/s*
- *Temperatura de salida de gas: 412.15 K*
- *Caudal de salida: 1.1 m<sup>3</sup>/s*

*Seguimos la siguiente ecuacion*

$$EC = \text{Caudal} * \text{Concentracion}$$

$$EC = 1.1 \text{ m}^3/\text{s} * 11679.87 \text{ mgN}/\text{m}^3$$

$$EC = 12.84 \text{ g/s}$$

*Entonces, la tasa de emision (EC) de CO en condiciones normales es Equivalente a **12.84 g/s***

## 2. *PARA NO<sub>2</sub>*

### A) *Conversion de ppm a mg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>*

*Realizamos la correccion del parametro medido de CO en campo a condiciones de normales, tomando como dato la temperatura 0 °C que equivale 273.15 K, y a 1 atm (760 mmHg). Para ello, Calculamos el “Volumen molar” expresado en condiciones normales, siguiendo la ecuacion de gases ideales*

$$V = \frac{nRT}{P}$$

*Donde:*

- *n = 1 mol*
- *R = 0.082 L/k.mol*
- *T = 273.15 K*
- *P = 1 atm*

*Reemplazamos en la ecuacion*

$$V = \frac{1 \text{ mol} * 0.082 \text{ atm} \cdot \frac{\text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} 273.15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 22.39 \text{ L}$$

*Aplicamos la ecuacion de equivalencia de unidades, teniendo como dato*

- *Peso atómico del compuesto (NO<sub>2</sub> = 30 g)*
- *Resultado de la medicion con TESTO (NO<sub>2</sub> = 7786ppm)*

$$88 \text{ ppm de NO}_2 = \frac{88 \text{ m}^3_{\text{co}}}{10^6 \text{ m}^3_{\text{aire}}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ mol}}{22.39 \text{ L}} * \frac{30 \text{ g}_{\text{NO}_2}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$88 \text{ ppm de NO}_2 = 117.90 \text{ mgN}/\text{m}^3$$

### B) *Correccion de oxigeno*

$$Ec = \frac{21 - Oc}{21 - Om} * Em$$

Siendo:

- *Ec: concentración de emisión corregida (mg/Nm<sup>3</sup>) en base seca.*
- *Em: concentración de emisión medida (mg/Nm<sup>3</sup>) en base seca*
- *Oc: Porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) de corrección (%)*
- *Om: Porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) medido en la chimenea (%)*

Reemplazamos en la ecuación

Considerando 18% de O<sub>2</sub>

$$NO_{2(O_2\ 18\%)} = \frac{(21 - 18.0)}{(21 - 18.4)} * 117.90 \text{ mgN/m}^3$$

$$NO_2 = 141.49 \text{ mgN/m}^3$$

### C) Cálculo de la tasa de emisión (EC)

Datos medidos con el TESTO:

- *Velocidad de salida de gas: 1.7 m/s*
- *Temperatura de salida de gas: 412.15 K*
- *Caudal de salida: 1.1 m<sup>3</sup>/s*

Seguimos la siguiente ecuación

$$EC = \text{Caudal} * \text{Concentración}$$

$$EC = 1.1 \text{ m}^3/\text{s} * 141.49 \text{ mgN/m}^3$$

$$EC = 0.15 \text{ g/s}$$

*Entonces, la tasa de emisión (EC) de NO<sub>2</sub> en condiciones normales es Equivalente a **0.15 g/s***

### 3. PARA SO<sub>2</sub>

#### A) Conversión de ppm a mg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub>

*Realizamos la corrección del parámetro medido de CO en campo a condiciones de normales, tomando como dato la temperatura 0 °C que equivale 273.15 K, y a 1 atm (760 mmHg). Para ello, Calculamos el "Volumen molar" expresado en condiciones normales, siguiendo la ecuación de gases ideales*

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Donde:

- *n = 1 mol*
- *R = 0.082 L/k.mol*
- *T = 273.15 K*
- *P = 1atm*

Reemplazamos en la ecuación

$$V = \frac{1 \text{ mol} * 0.082 \text{ atm} \cdot \frac{\text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} 273.15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 22.39 \text{ L}$$

Aplicamos la ecuacion de equivalencia de unidades, teniendo como dato

- *Peso atómico del compuesto (SO<sub>2</sub> = 64 g)*
  - *Resultado de la medicion con TESTO (SO<sub>2</sub> = 69 ppm)*
- $$69 \text{ ppm de SO}_2 = \frac{69 \text{ m}^3 \text{ _co}}{10^6 \text{ m}^3 \text{ _aire}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ mol}}{22.39 \text{ L}} * \frac{64 \text{ g}_{\text{so}_2}}{1 \text{ mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$69 \text{ ppm de SO}_2 = 197.23 \text{ mgN/ m}^3$$

### B) Correccion de oxigeno

$$Ec = \frac{21 - Oc}{21 - Om} * Em$$

Siendo:

- *Ec: concentración de emisión corregida (mg/Nm<sup>3</sup>) en base seca.*
- *Em: concentración de emisión medida (mg/Nm<sup>3</sup>) en base seca*
- *Oc: Porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) de corrección (%)*
- *Om: Porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) medido en la chimenea (%)*

Reemplazamos en la ecuacion

Considerando 18% de O<sub>2</sub>

$$SO_{2(O_2 \text{ _}18\%)} = \frac{(21 - 18.0)}{(21 - 18.4)} * 197.23 \text{ mgN/ m}^3$$

$$SO_2 = 236.67 \text{ mgN/ m}^3$$

### C) Calculo de la tasa de emision (EC)

Datos medidos con el TESTO:

- *Velocidad de salida de gas: 1.7 m/s*
- *Temperatura de salida de gas: 412.15 K*
- *Caudal de salida: 1.1 m<sup>3</sup>/s*

Seguimos la siguiente ecuacion

$$EC = \text{Caudal} * \text{Concentracion}$$

$$EC = 1.1 \text{ m}^3/\text{s} * 197.23 \text{ mgN/ m}^3$$

$$EC = 0.15 \text{ g/s}$$

*Entonces, la tasa de emision (EC) de SO<sub>2</sub> en condiciones normales es Equivalente a*  
**0.21 g/s**

### 4. PARA PM<sub>2.5</sub>

### **A) Factores de emisión**

*El presente factor se encuentra en el apartado 4.3 ETAPA 3. MEDICIÓN DE BC CON RATNOZE 2 (2017) de la Tabla 20. Factores de emisión 2017 basados en combustibles (g contaminante / kg combustible) (Fuente: CLIMATE & CLEAN AIR COALITION, to reduce short-lived CLIMATE POLLUTANTS, Coalición del Clima y Aire Limpio (CCAC), Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente) - Republica de Colombia 2020.*

### **B) Tasa de emisión de PM 2.5**

#### **Datos recopilados de inventario de emisiones**

- Consumo de combustible: 0.27 ton/h
- A: Intensidad de actividad: 0.075 kg/s

#### **Estimación de las emisiones**

- La estimación de las emisiones atmosféricas se calculó aplicando la siguiente fórmula (EPA 42):

$$E = FE * A$$

- Donde:
- **E:** Emisión de contaminante (g/s)
- **FE:** Factor de la emisión (g/kg)
- **A:** Intensidad de la actividad (kg/s)

#### **Remplazando**

$$E = 2.617 \text{ g/s} * 0.075 \text{ kg/s}$$

$$E = 0.19 \text{ g/s}$$

**Entonces, la tasa de emisión (EC) de PM<sub>2.5</sub> 0.19 g/s**

## **5. PARA PM<sub>10</sub>**

### **A) Factores de emisión**

*El presente factor de emisión se encuentra en la Revista Boliviana de Química MODELAMIENTO DE LA DISPERSIÓN DE PM10 DE LAS LADRILLERAS DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO CUSCO en la tabla 4, Factor de Emisión IPC, Original*

article Verónica Isela Vera-Marmanillo<sup>1,\*</sup>; Edwin Harol Quispe Chávez<sup>2</sup> Peer-reviewed 1 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco UNSAAC, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. de la Cultura 733, Cusco, Perú; 2 Universidad Andina del Cusco UAC, escuela profesional de Ingeniería Ambiental, ep\_ambiental@uandina.edu.pe

### **B) Tasa de emisión de PM 2.5**

#### **Datos recopilados de inventario de emisiones**

- Consumo de combustible: 0.27 ton/h
- A: Intensidad de actividad: 0.075 kg/s

#### **Estimación de las emisiones**

- La estimación de las emisiones atmosféricas se calculó aplicando la siguiente fórmula (EPA 42):

$$E = FE * A$$

- Donde:
- **E:** Emisión de contaminante (g/s)
- **FE:** Factor de la emisión (g/kg)
- **A:** Intensidad de la actividad (kg/s)

Remplazando

$$E = 29 \text{ g/s} * 0.075 \text{ kg/s}$$

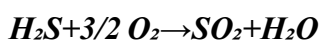
$$E = 2.17 \text{ g/s}$$

**Entonces, la tasa de emisión (EC) de PM<sub>10</sub> es 2.17 g/s**

### **6 PARA H<sub>2</sub>S**

#### **Reacción química**

**La oxidación principal es:**



De la ecuación se ve que 1 mol de H<sub>2</sub>S produce 1 mol de SO<sub>2</sub>. Entonces el flujo de precursores es ≈0,113 g/s de H<sub>2</sub>S usando la relación molar 1:1 entre ambos compuestos.

### **7 PARA O<sub>3</sub>**

En la fotoquímica troposférica, la formación máxima teórica es 1 mol de O<sub>3</sub> por mol de NO<sub>x</sub> oxidado.

$$\text{Masa molar de O}_3 = 48,00 \text{ g/mol: } 0,00326 \text{ mol/s} \times 48,00 \text{ g/mol} = 0,1565 \text{ g/s}$$

$$0,00326 \text{ mol/s} \times 48,00 \text{ g/mol} = 0,1565 \text{ g/s}$$

Resultado: Los precursores de O<sub>3</sub> equivalen, en el mejor escenario, a ≈0,157 g/s de O<sub>3</sub>.

## ANEXO 4: Procedimiento del modelamiento

### PROCEDIMIENTO PARA LA MODELIZACION CON EL SOFTWARE AERMOD

#### 1. PROCESAMIENTO DE LA DATA METEOROLÓGICA EN AERMET

Los datos meteorológicos utilizados en la presente investigación fueron obtenidos a través de la plataforma del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). La adquisición de los datos se realizó desde la estación meteorológica automática, identificada con el código 472CF72C, ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, en el departamento de Puno, con coordenadas UTM 374394.61 m E y 8289201.14 m S, a una altitud de 3826 msnm. La descarga fue realizada a escala horaria, es decir, que la data obtenida fue a cada hora, del día, mes y año que corresponde para un periodo de un año, desde la fecha 01/01/2024 hasta 31/12/2024, y las variables fueron:

- Temperatura
- Precipitación
- Humedad relativa
- Dirección del viento
- Velocidad de viento
- Cobertura nubosa

Cabe mencionar, que los datos de cobertura nubosa fueron adquiridos de la plataforma de CLIMATE COPERNICUS - ERAS -5. datos que están de libre acceso de la quinta generación del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF) desde 1940 en adelante.

##### *1.1. Acondicionamiento de la data*

Los datos obtenidos de la estación meteorológica fueron procesados y estructurados en un archivo Excel (.xlsx), conforme al formato requerida por el software AERMET View 12.0.0, para su correcta inserción y análisis.

##### *1.2. Preprocesamiento de la data en el software AERMET View*

Una vez obtenido el archivo Excel en el formato adecuado, se procedió a crear un directorio de almacenamiento de los procesos del software AERMET View 12.0.0. Posteriormente, el archivo Excel (.xlsx) fue importado mediante la herramienta “Hourly Surface Data” a través de la opción “Import from Excel”, véase en la Figura N° 1.

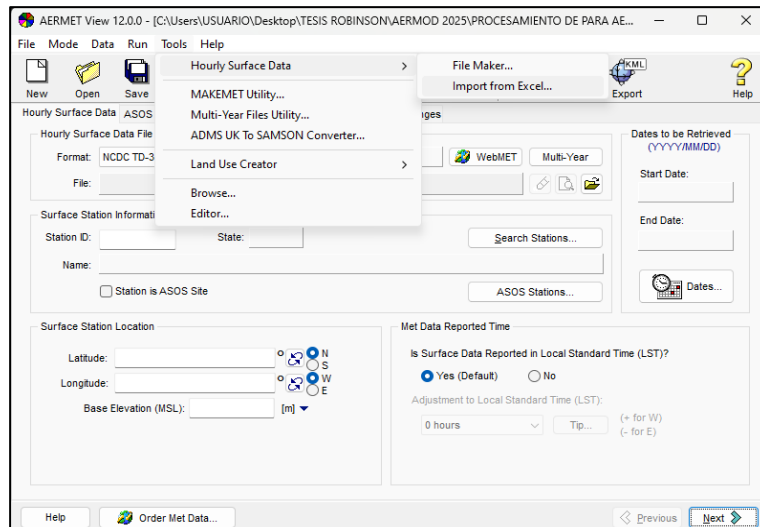


Figura N° 1 Importación de la data meteorológica

A continuación, se llevó a cabo el direccionamiento de los datos, asignando cada variable meteorológica a su columna correspondiente. Asimismo, se estableció el formato de horas en un rango de 0 a 23 horas y se definió el límite de filas a procesar mediante los parámetros “First Row to Import” y “Last Row to Import” Véase en la Figura N° 2.

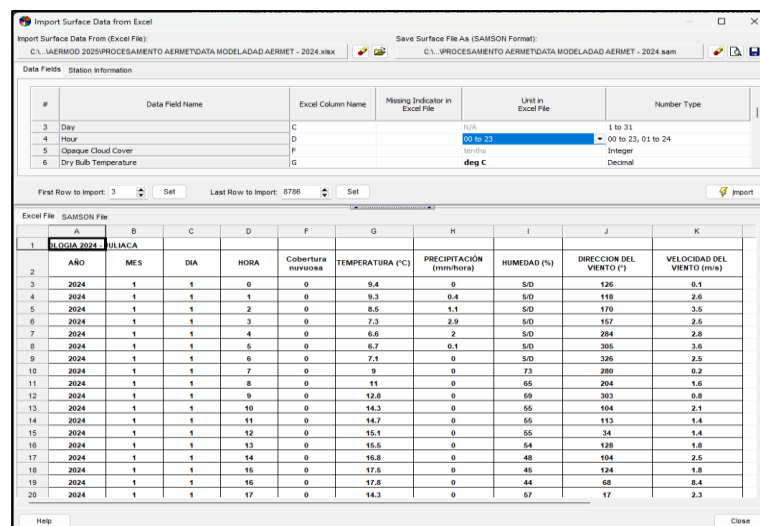


Figura N° 2 Direccionamiento de los datos meteorológicos

Asimismo, se cargó la información de la estación meteorológica, incluyendo el ID de la estación, ciudad, estado, latitud, longitud y elevación. Además, se estableció la zona horaria UTC-5 (Eastern). Finalmente, se procesó la data meteorológica, con la finalidad de generar el archivo (.SAM). Véase en la Figura N° 3.

AÑO	MES	DIA	HORA	Cobertura lluvia	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
2024	1	1	0	0	9.4	0	5/0	128	0.1
2024	1	1	1	0	9.3	0.4	5/0	118	2.6
2024	1	1	2	0	8.6	1.1	5/0	170	3.6
2024	1	1	3	0	7.3	2.9	5/0	167	2.6
2024	1	1	4	0	6.6	2	5/0	264	2.8
2024	1	1	5	0	6.7	0.1	5/0	305	3.6
2024	1	1	6	0	7.1	0	5/0	326	2.6
2024	1	1	7	0	9	0	73	280	0.2
2024	1	1	8	0	11	0	65	204	1.6
2024	1	1	9	0	12.9	0	69	303	0.8
2024	1	1	10	0	14.3	0	55	104	2.1
2024	1	1	11	0	14.7	0	55	113	1.4
2024	1	1	12	0	15.1	0	55	34	1.4
2024	1	1	13	0	15.5	0	54	128	1.8
2024	1	1	14	0	16.8	0	48	104	2.5
2024	1	1	15	0	17.5	0	45	124	1.8
2024	1	1	16	0	17.9	0	44	58	8.4
2024	1	1	17	0	14.3	0	57	17	2.3

Figura N° 3 Registro de información de la estación meteorológica

### 1.3. Procesamiento del archivo (.SAM)

Una vez obtenido el archivo en formato (.SAM), se procedió a importar en el software AERMET View 12.0.0. Para ello, se incorporaron los datos horarios de superficie, incluyendo parámetros como dirección del viento y temperatura atmosférica, así como los datos del perfil vertical, que comprenden presión, temperatura de bulbo seco y humedad relativa. Además, se procedió a cargar la información de los datos superficiales en formato (.SAM), en la opción “Hourly Surface Data File”. Cabe mencionar, que el periodo analizado comprende desde el 1 de enero de 2024 hasta el 31 de diciembre de 2024. Véase en la Figura N° 4.

Figura N° 4 Importación del archivo (.SAM)

Con respecto a los datos de viento por minuto “ASOS 1- Minute”, no se realizó la incorporación de ningún valor en el sistema, puesto que se tomó datos de SENAMHI. Véase en la Figura N° 5.

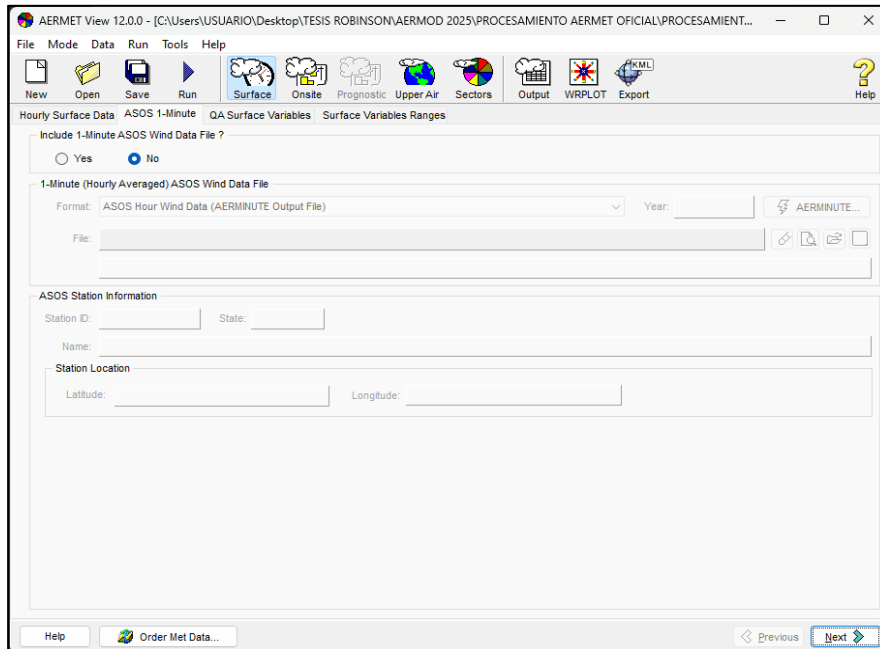


Figura N° 5 Datos de viento por minuto “ASOS 1- Minute”

En la sección de variables de superficie “QA Surface Variables”, se ingresaron los valores de temperatura, velocidad del viento, dirección del viento y nubosidad correspondientes a la zona de estudio Véase en la Figura N° 6.

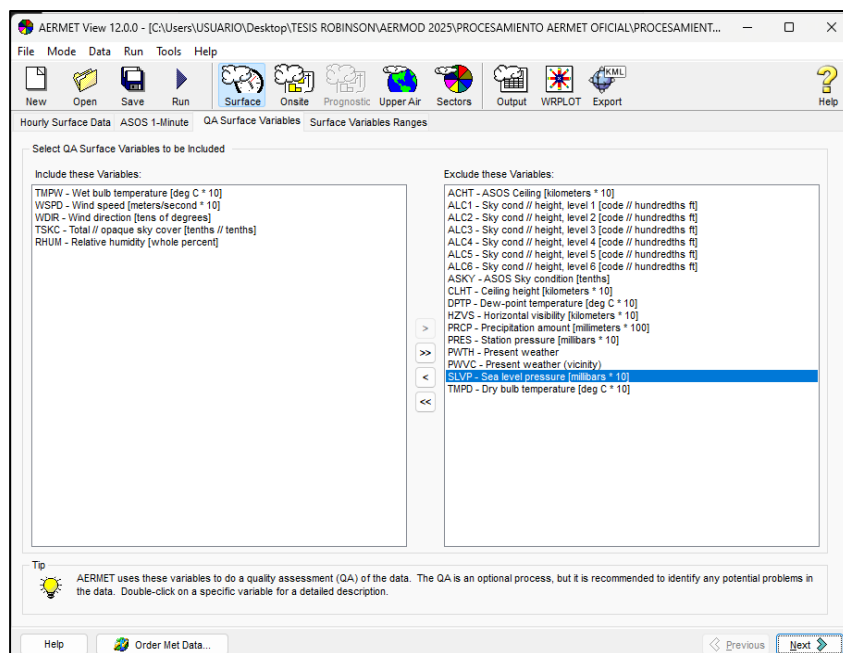


Figura N° 6 Selección de variables de superficie meteorológica

Del mismo modo, se realizó automáticamente el cálculo de los rangos de las variables superficiales previamente identificadas. Es importante destacar que el software AERMET View 12.0.0 ya tiene definidos dichos rangos por defecto. Véase en la Figura N° 7.

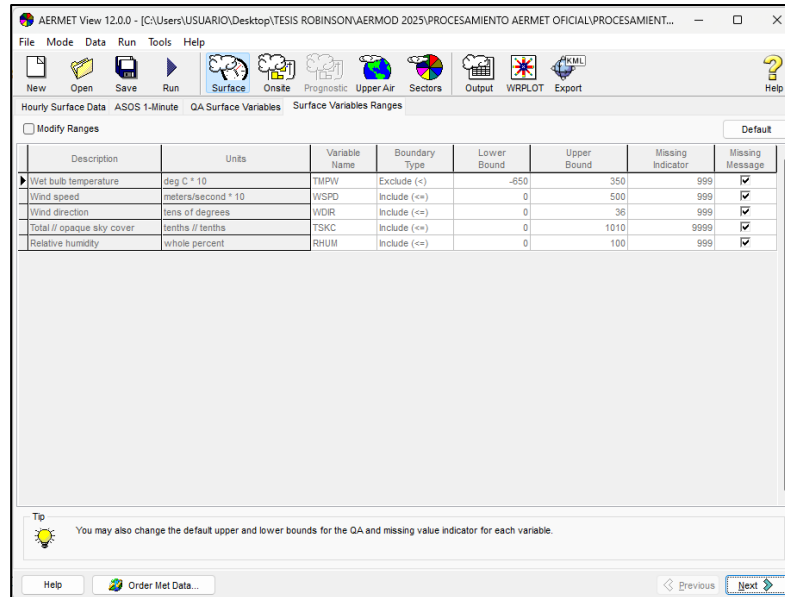


Figura N° 7 Cálculo de rangos automática

En la sección “Upper Air”, se optó por trabajar con la estimación predeterminada del software AERMET, estableciendo la zona horaria UTC-5 (Eastern). Véase en la Figura N° 8.

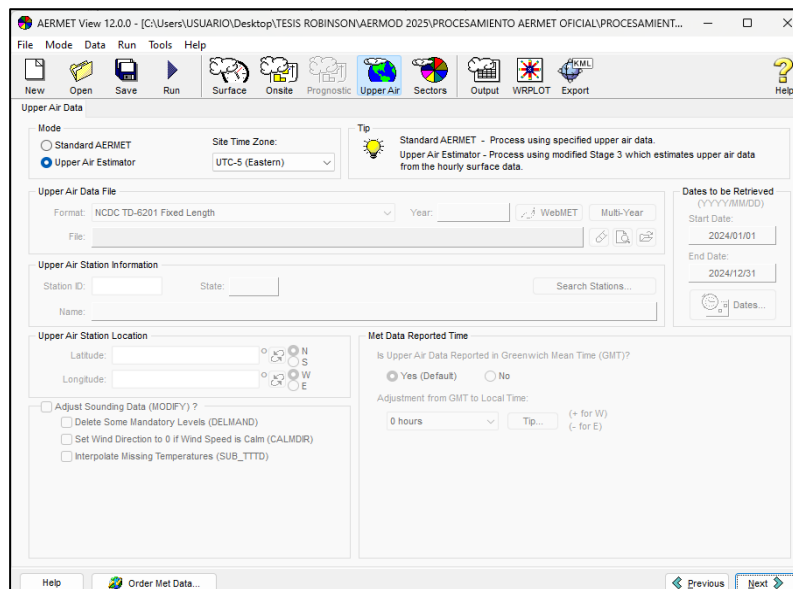


Figura N° 8 Establecimiento de la zona horaria UTC-5 (Eastern)

En la configuración de las estaciones meteorológicas, se ingresó principalmente la altura estándar de 10 metros de acuerdo al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire N° 010-2019-MINAM. Las casillas restantes se dejaron con los valores predeterminados, ya que son opcionales y tienen una influencia mínima en el modelamiento. Véase en la Figura N° 9

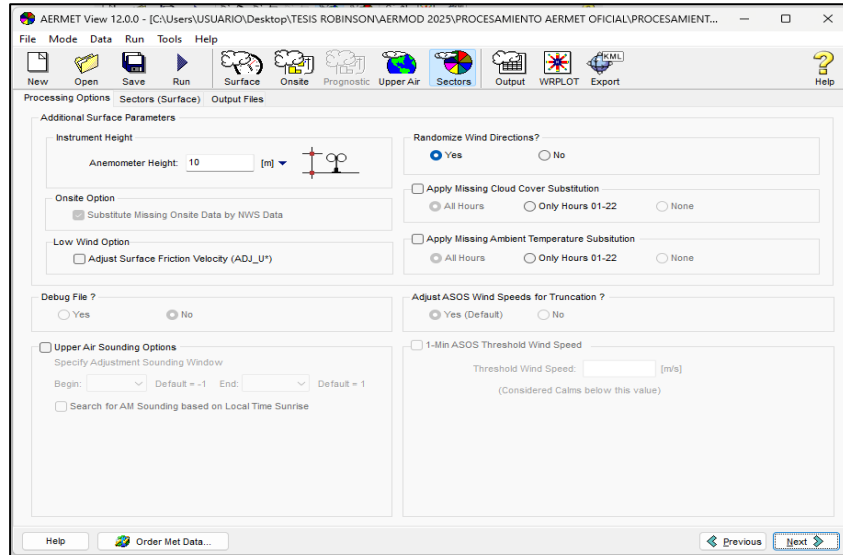


Figura N° 9 Configuración de la estación meteorológica

Posteriormente, se definió la cantidad de sectores en función a la geografía presente en el área de estudio. Para este propósito, se utilizó el software Google Earth, lo que permitió determinar la división óptima del área de estudio, segmentando en cuatro sectores para el análisis anual, considerando variables como el albedo y el ratio de Bowen. Véase en la Figura N° 10.

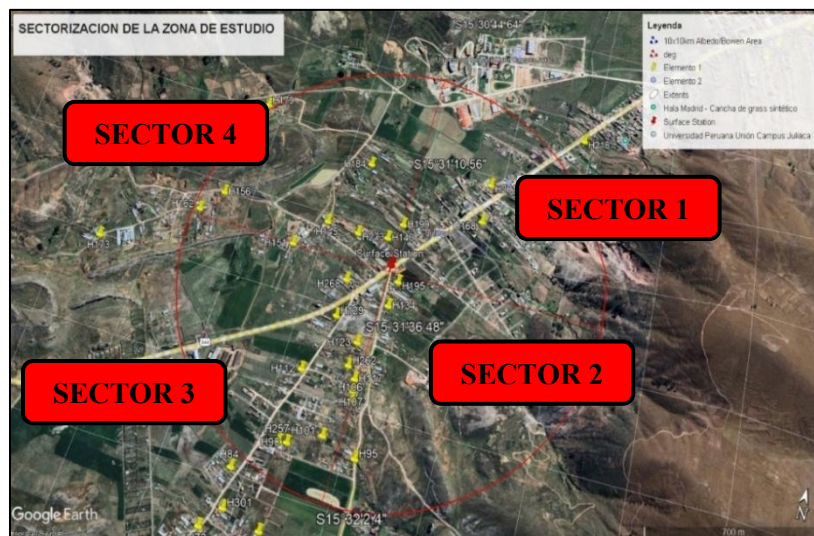


Figura N° 10 Sectorización de la zona de estudio

Por lo que, los sectores fueron definidos según a las características de acuerdo a la topografía y el uso actual del suelo. Véase en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1

*Sectorización de la zona de estudio*

Cuadrante	Uso de suelo	Condición	Periodo	Características
0 – 90°	Urbano	Promedio	Estacional	Sector educación, población y vial.
90 – 180°	Urbano	Promedio	Estacional	Sector población, y zona de explotación
180 – 270°	Urbano	Promedio	Estacional	Sector de población, cultivos e industria
270 – 360°	Urbano	Promedio	Estacional	Sector de población y zona de explotación

Fuente: *elaboración propia*

Una vez determinada la cantidad de cuadrantes presentes en la zona de interés, basada en la cobertura del uso del suelo, se desarrolló una distancia de 5 km a la redonda desde el punto de referencia con coordenadas UTM: 373201.00 m E, 8283273.00 m S, en la zona 19L. Véase en la Figura N° 11.

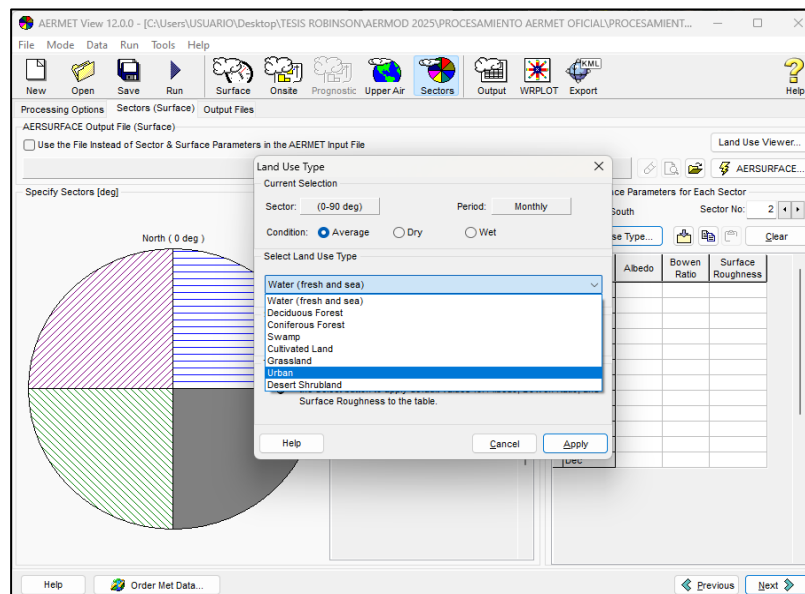


Figura N° 11 Selección de uso y tipo de suelo

Una vez identificados todos los sectores, se calcularon de manera automática parámetros: albedo, razón de bowen y rugosidad de la superficie. Véase en la Figura N° 12.

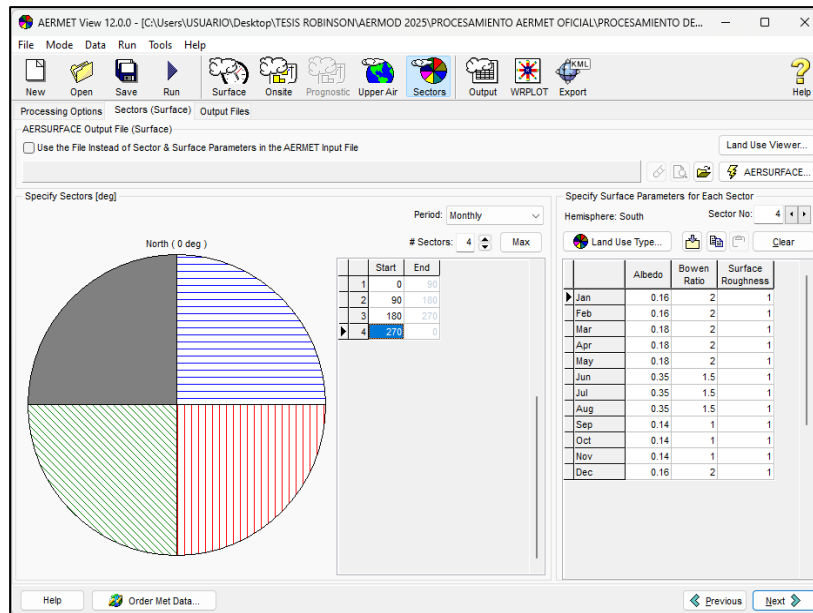


Figura N° 12 Calculo de “Albedo, Bowen and Surface Roughness”

Tras el procesamiento de los valores meteorológicos se generaron dos archivos de salida: Véase en la Figura N° 13.

- Surface: Contiene los valores meteorológicos registrados a nivel de la superficie terrestre, proporcionando un análisis en un plano horizontal.
- Profile: Este archivo, a diferencia del Surface, posee la extensión. PFL e incluye los valores meteorológicos en función de la altitud. En otras palabras, los datos contenidos en este archivo están referenciados respecto a la elevación sobre el nivel del terreno.

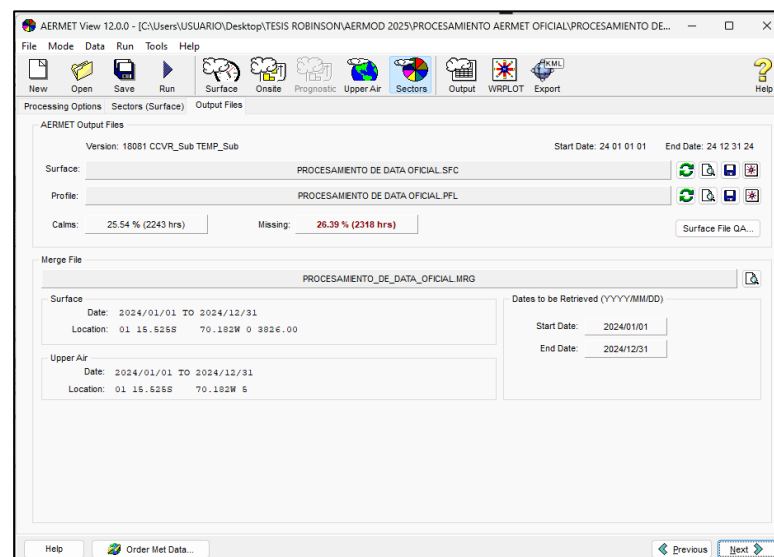


Figura N° 13 Obtención del Archivo SFL y PFL

## 2. MODELAMIENTO DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN AERMOD

Se empleó el modelo de dispersión, conocido como AERMOD, el cual opera a través de sus componentes individuales: AERMET (procesador de datos meteorológicos), y AERMAP (preprocesador de terreno), para modelar los contaminantes. Además, el software AERMOD utilizará información sobre las dimensiones de la fuente de emisión, la distribución de los receptores, así como datos de la tasa de emisión, temperatura de emisión y velocidad de la salida del gas. Para ello, se siguió los siguientes pasos:

### 2.1. Preprocesamiento de datos en ArcGIS Pro 3.4.0

Se crearon y georreferenciaron 54 shapefiles de cada ladrillera, utilizando el software ArcGIS Pro 3.4.0, en el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 19S. Asimismo, se tomó como referencia, las coordenadas de cada punto recopilados durante el trabajo de campo. Además, la representación gráfica fue de forma rectangular asumiendo en conducto de la salida de los gases, basados en imágenes satelitales.

Cabe mencionar que, para mejorar la resolución y visibilidad de las imágenes de referencia, se emplearon fotografías aéreas captadas mediante un dron. Estas imágenes fueron procesadas en el software Agisoft PhotoScan y posteriormente importadas a ArcGIS Pro 3.4.0 en formato TIF. Véase en la Figura N° 14.

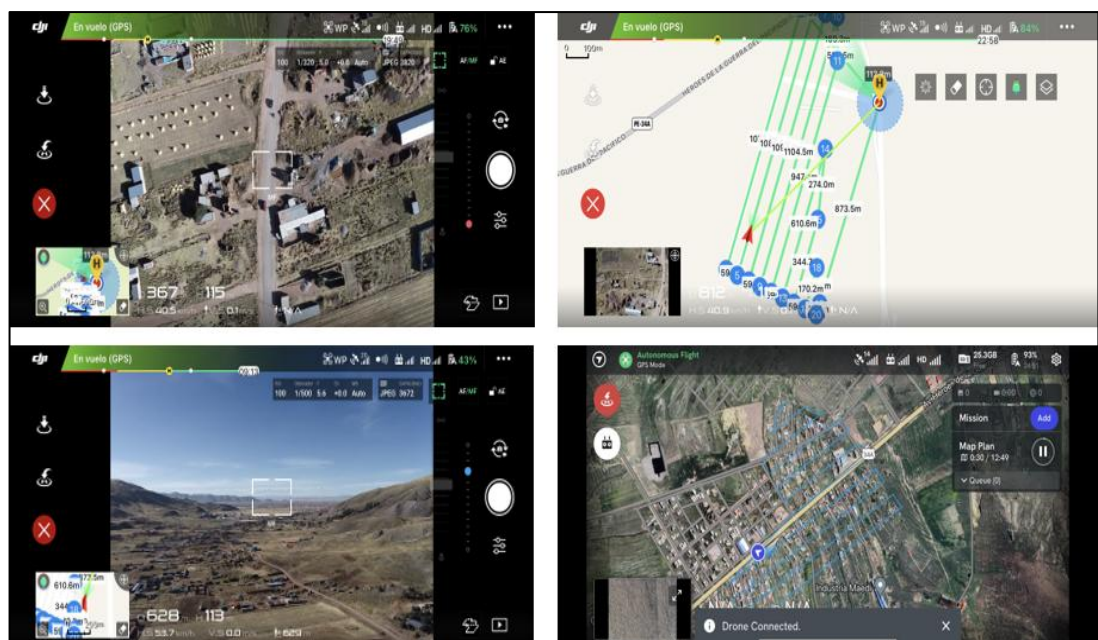


Figura N° 14 Fotogrametría con Dron

La importación de las imágenes aéreas en el software ArcGIS Pro 3.4.0 permitió una visualización más detallada de cada ladrillera artesanal, facilitando la identificación de su estado actual. Además, estas imágenes contribuyeron al reconocimiento geoespacial de la zona desde una perspectiva aérea, optimizando la precisión del análisis en el marco del estudio de investigación desarrollado en la ciudad de Juliaca. Véase en la Figura N° 15.

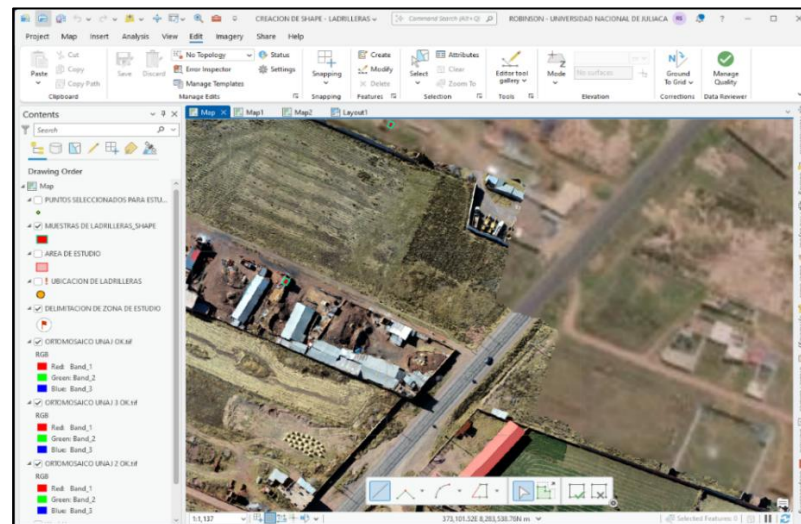


Figura N° 15 Actualización imágenes georreferenciadas

Por último, se generaron polígonos de forma rectangular tomando como referencia las dimensiones obtenidas durante el trabajo de campo y verificándolas con las imágenes actualizadas, véase en la Figura N° 16. Finalmente exportar en el formato (.shape).

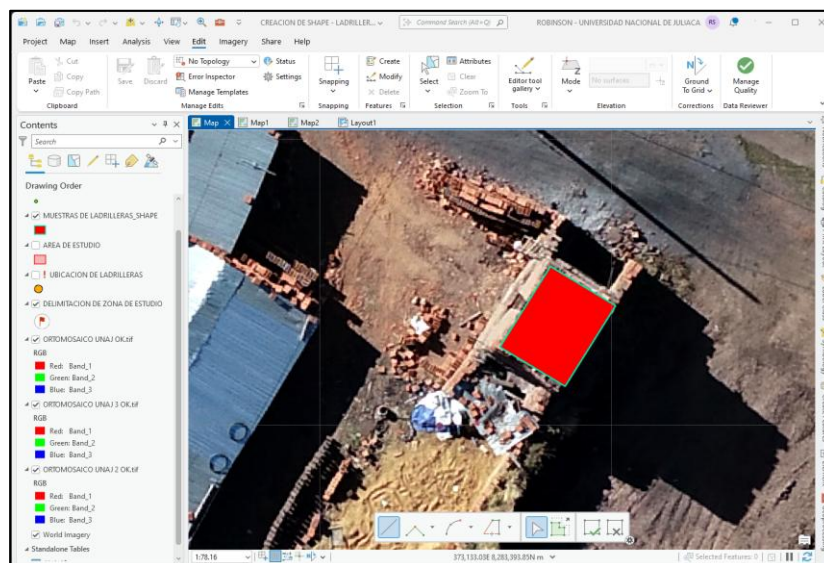


Figura N° 16 Creación de shapefile de estructuras

## 2.2. *Procesamiento en AERMOD View 12.0.0.*

Como primer paso, se llevó a cabo la definición del sistema de georreferenciación utilizando el sistema de coordenadas UTM (WGS-84), el cual fue empleado para el desarrollo de la presente modelación en el sector ladrillero del distrito Juliaca. Véase en la Figura N° 17.

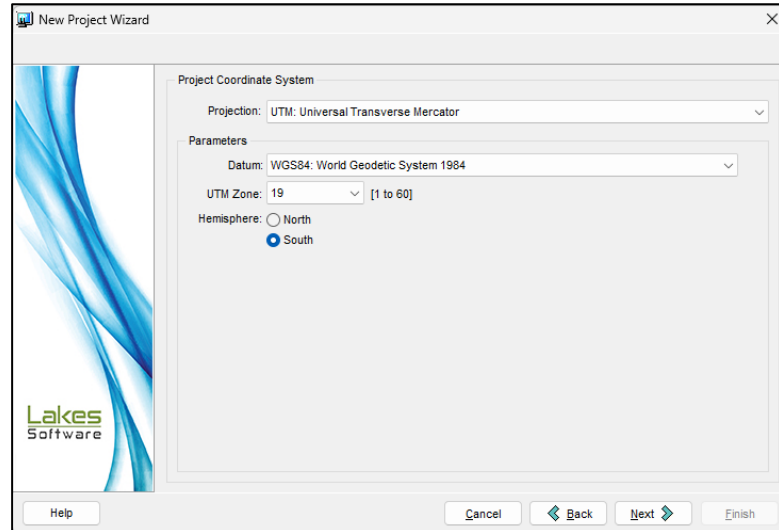


Figura N° 17 Definición del sistema de coordenadas de la zona de estudio

Para el modelamiento, se tomó como punto de referencia la ubicación geográfica zona 19L, coordenada este 373201.00 m E, y coordenada norte 8283273.00 m S, correspondiente a la zona de estudio. El dominio del modelo se expandió 5 km hacia el norte (N) y 10 km hacia el este (E) garantizando así una cobertura de 10 km alrededor de las fuentes de emisión. Véase en la Figura N° 18.

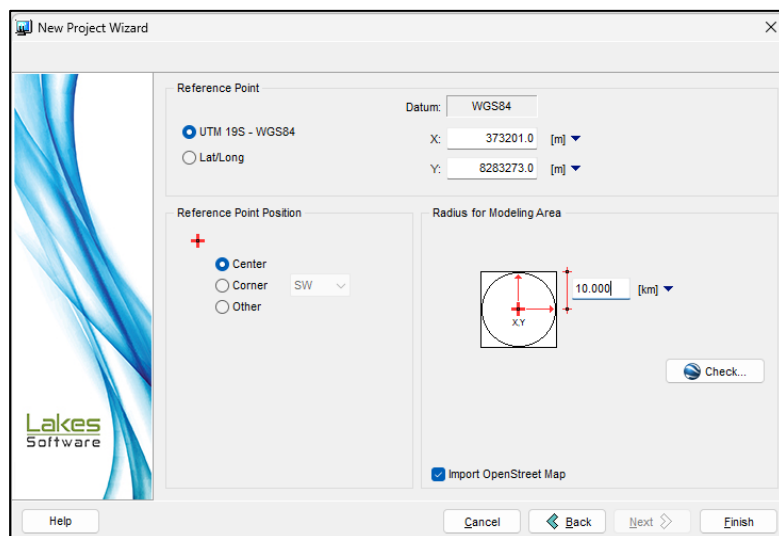


Figura N° 18 Dominio del modelo de dispersión en expansión

Una vez insertadas las coordenadas, se verificó que el punto correspondiente estuviera correctamente ubicado de acuerdo con el mapa mostrado en la interfaz del software AERMOD View 12.0.0. Véase en la Figura N° 19

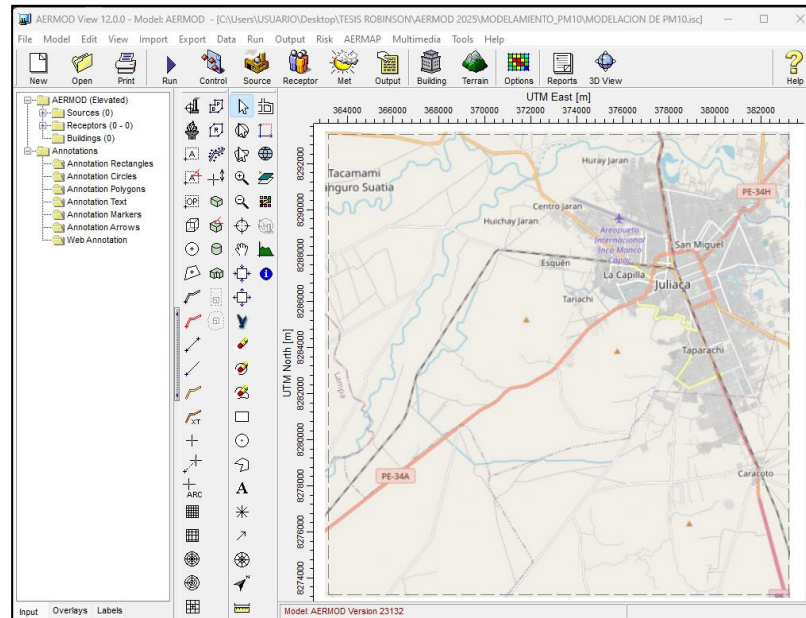


Figura N° 19 Visualización del basemap de la zona de estudio

Como siguiente paso, se llevó a cabo la inserción de las 56 formas creadas (shapefile) en el software AERMOD View 12.0.0, a través del comando “Import, Base Map, en la opción Shapefile”, debidamente georreferenciados cada una de las ladrilleras artesanales. Véase en la Figura N° 20.

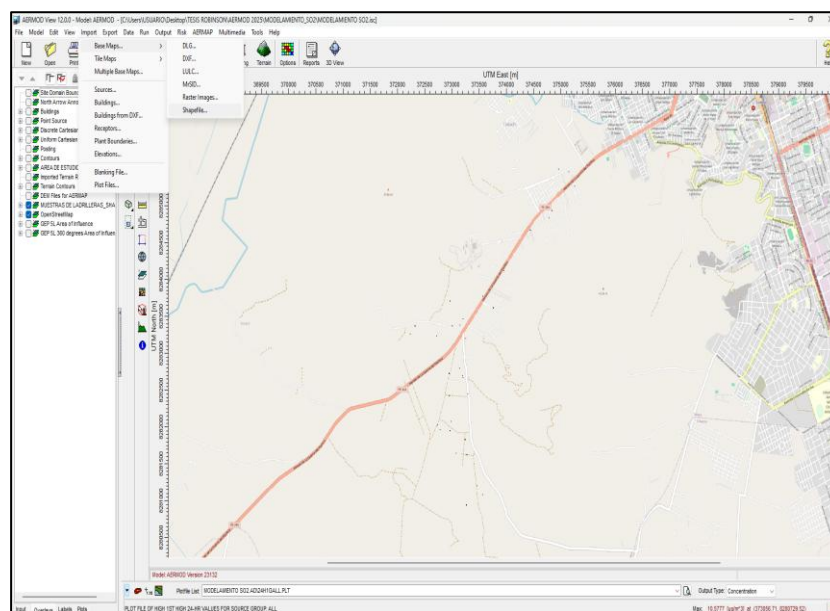


Figura N° 20 Importación de los shapefiles

Posteriormente, se procedió con la construcción de las estructuras en la opción “Bulding Imputs”, ingresando la descripción y dimensiones de las ladrilleras, tales como; ID, descripción, base elevación, altura, coordenadas, dimensiones en X y Y, así como también el ángulo de rotación Véase en la Figura N° 21.

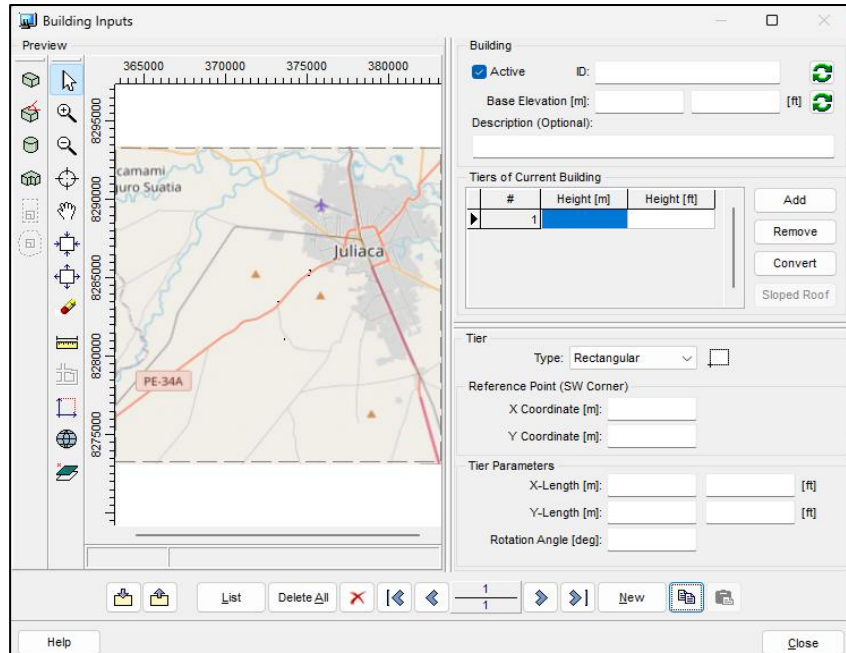


Figura N° 21 Interfaz de la opción “Bulding Imputs”

Para tal efecto, todos los datos obtenidos del trabajo de campo fueron ingresados al formato MS Excel, siguiendo el formato “Lakes” de los 56 parámetros del edificio (ladrilleras artesanales tipo escoces). Véase en la Figura N° 22

AERMOD View - Building Parameters  
MS Excel - Lakes Format

Parameters | Units | Description

ID\_Building = - Name up to 8 characters with no spaces or "\*" (Optional up to 250 characters)

Tier\_Number = Integer

Base\_Elevati = [m] Building base elevation above mean sea level (if blank, base elevation will be auto-calculated)

Tier\_Height = [m] Tier height above ground / height of tank

Diameter = [m] Diameter of the tank/building (RECTANGULAR Buildings only)

X\_Length = [m] Building length on X-direction (RECTANGULAR Buildings only)

Y\_Length = [m] Building length on Y-direction (RECTANGULAR Buildings only)

Rotation\_Ang = [deg] Rotation angle (-360 to +360) (if blank, 0 will be assigned) (RECTANGULAR Buildings only)

Num\_Coordinates = Number of coordinate pairs (X,Y) for the building corners to follow

X1 = [m] X coordinate for corner 1 or for center of tank/building

Y1 = [m] Y coordinate for corner 1 or for center of tank/building

X2 = [m] X coordinate for corner 2

Y2 = [m] Y coordinate for corner 2

X3 = [m] X coordinate for corner 3

Y3 = [m] Y coordinate for corner 3

X4 = [m] X coordinate for corner 4

Y4 = [m] Y coordinate for corner 4

Notes:

- 1) RECTANGULAR Buildings/Tanks: Specify "Diameter", "Num\_Coords=1" and "X1, Y1" coordinates for the center
- 2) RECTANGULAR Buildings: Specify "X\_Length", "Y\_Length", "Rotation\_Angle", "Num\_Coords=1" and "X1, Y1" coordinates for the SW corner
- 3) POLYGONAL Buildings: Specify "Num\_Coords=4" and all the coordinates for the corners (e.g., X1/Y1, X2/Y2, X3/Y3, ...)

NOTE: You may keep adding additional coordinate pairs for a POLYGONAL building with more than 4 corners (e.g. X5, Y5, etc)

ID_Building	Description	Tier	Base_Elevat	Tier_Height	Diameter	X_Length	Y_Length	Rotation	Num_Co	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[deg]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
BLD_1	H05	1	1.05	4.00	2.70	3.80	0	1	373055.00	8280725.00							
BLD_2	H12	1	1.00	3.80	2.50	3.85	0	1	373265.37	8280940.77							
BLD_3	H17	1	1.50	4.00	3.00	3.50	0	1	373564.95	8281084.11							
BLD_4	H27	1	1.00	3.50	2.50	4.00	0	1	373460.83	8281204.77							
BLD_5	H28	1	1.00	4.00	2.68	3.50	0	1	373150.32	8281167.81							
BLD_6	H34	1	1.00	4.00	3.00	3.60	0	1	373295.76	8281516.11							
BLD_7	H39	1	1.10	3.50	3.10	3.80	0	1	373273.39	8281624.53							
BLD_8	H45	1	1.00	4.20	2.50	3.83	0	1	373388.84	8281589.77							
BLD_9	H51	1	1.50	4.00	2.70	2.50	0	1	373332.88	8281748.77							
BLD_10	H56	1	1.00	3.80	2.50	3.68	0	1	373248.51	8281808.79							
BLD_11	H62	1	1.00	3.65	3.00	3.90	0	1	372962.34	8281949.14							
BLD_12	H67	1	1.50	3.50	2.50	4.00	0	1	372780.33	8281960.63							
BLD_13	H73	1	1.00	3.85	2.50	3.70	0	1	372739.86	8282028.73							
BLD_14	H78	1	1.00	4.08	2.41	3.85	0	1	372865.23	8282076.47							
BLD_15	H84	1	1.10	3.50	2.70	3.80	0	1	372786.37	8282266.63							
BLD_16	H90	1	1.00	4.00	3.00	3.77	0	1	372883.33	8282421.58							
BLD_17	H95	1	1.50	4.00	2.50	3.40	0	1	373287.76	8282446.32							
BLD_18	H101	1	1.20	4.20	3.00	3.50	0	1	373124.66	8282482.81							
BLD_19	H106	1	1.10	3.50	2.85	3.80	0	1	373201.44	8282666.88							
BLD_20	H112	1	1.50	3.65	2.90	3.80	0	1	372948.12	8282727.94							
BLD_21	H117	1	0.83	3.45	2.50	3.95	0	1	373188.96	8282749.97							
BLD_22	H123	1	1.10	3.50	3.10	3.50	0	1	373153.33	8282808.47							
BLD_23	H128	1	1.02	3.85	3.00	3.45	0	1	373074.16	8282874.31							

Figura N° 22 Ingreso de datos al formato “Lakes Format”

Posteriormente, se importaron los datos a la opción “Building Inputs”, asegurando que todos los parámetros requeridos estén en el formato Lakes, a su vez se completan correctamente en cada sección. Véase en la Figura N° 23

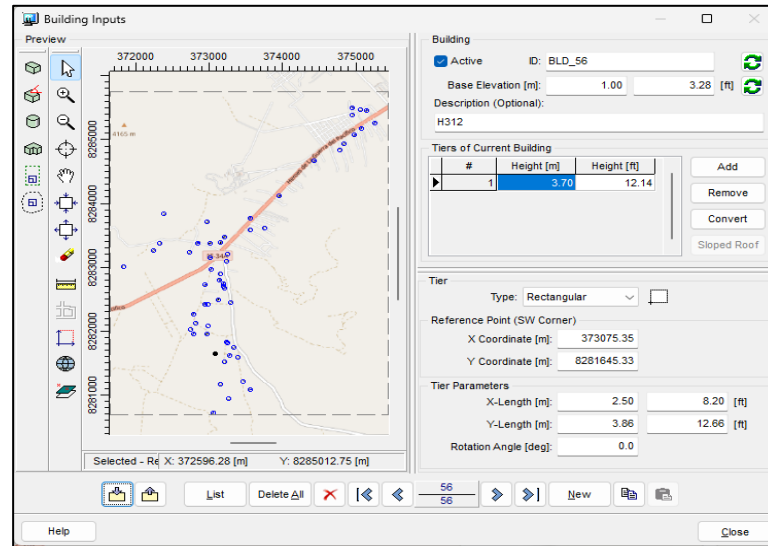


Figura N° 23 Importación de las características y dimensiones

### 2.3. Identificación de receptores

Utilizando el Google Earth y el software AERMOD View 12.0.0, se generó cuadrículas según la precisión deseada. Para ello, se identificaron 10 receptores en toda el área de estudio, haciendo referencia a escuelas, mercados y población aledaña, que se detallarán a continuación. Véase en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2

#### Identificación de receptores discretos

N°	Receptor	Descripción	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
01	R1	Mercado mayorista Miraflores	375614.00	8285688.00
02	R2	Urbanización las Américas	374644.00	8285103.00
03	R3	IE Central Esquen	373472.00	8283678.00
04	R4	Universidad Peruana Unión UPEU Juliaca	373529.00	8284465.00
05	R5	Planta asfáltadora Juliaca	373125.00	8283022.00
06	R6	Población	372154.00	8283193.00
07	R7	Población	373071.00	8282600.00
08	R8	Población	372856.00	8282123.00
09	R9	Población	373296.00	8281635.00
10	R10	Población	373058.00	8280774.00

Fuente: elaboración propia

Posteriormente, se acondicionó en formato CSV de EXCEL, separados por comas el código y las coordenadas UTM. Véase en la Figura N° 24.

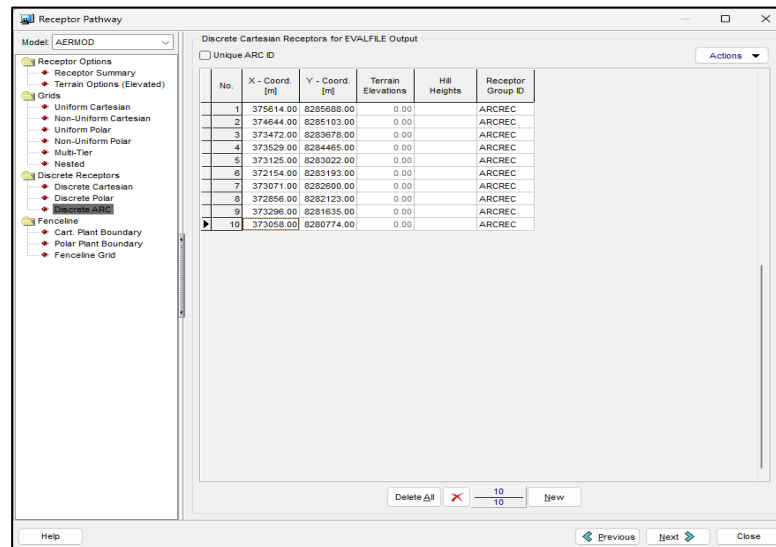


Figura N° 24 Importación de los receptores discretos

Asimismo, se consideró la altura promedio de los receptores, tomando como referencia la estatura media de 1.65 m, según los datos del Ministerio de Salud (MINSa). Esta altura fue seleccionada debido a que corresponde al nivel en el que normalmente se produce la respiración de oxígeno en condiciones estándar. Véase en la Figura N° 25.

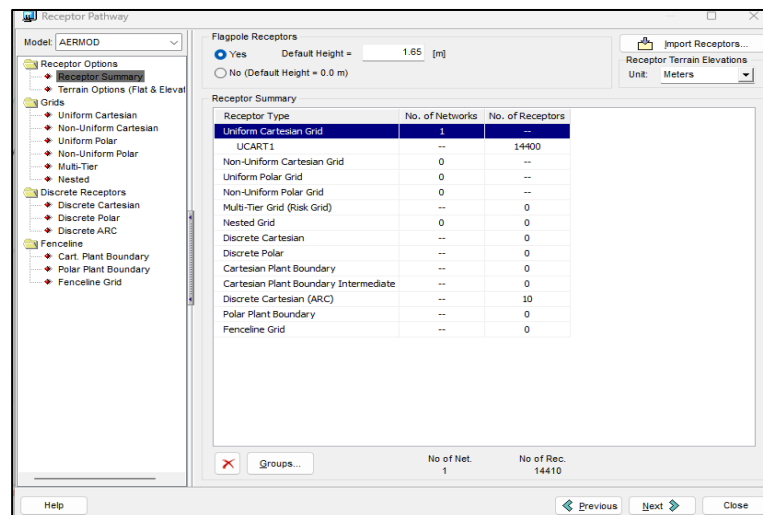


Figura N° 25 Inserción de la altura promedio de los receptores discretos

Para la generación de las cuadrículas cartesianas, se consideran las dimensiones que abarcan toda el área de estudio, así como la ubicación de los receptores discretos. Se establecieron coordenadas centrales en el Eje X 373781.71 y en la Y 8283254.52, con

un total de 120 puntos espaciados a 50 metros. La grilla tiene una longitud de 5950.00 metros en ambos lados, lo que permitió la generación automática de 14,400 receptores. Véase en la Figura N° 26.

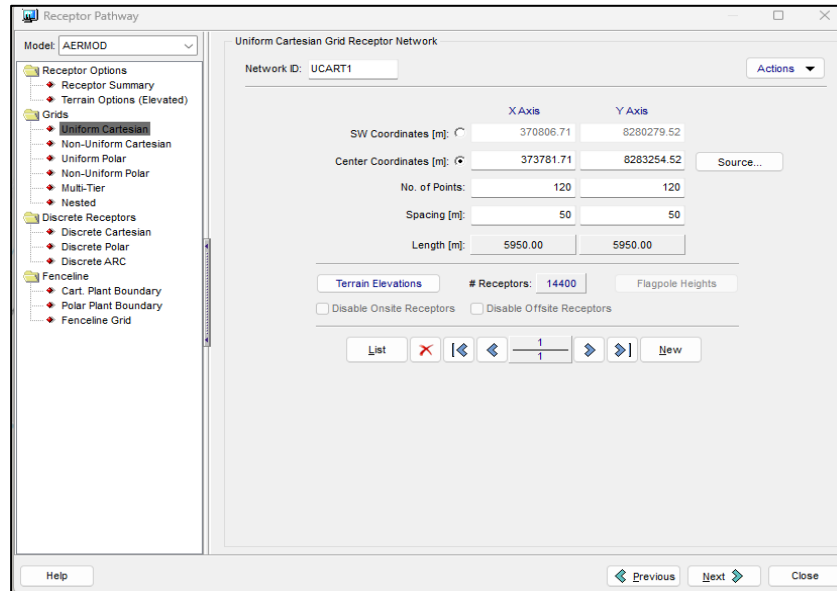


Figura N° 26 Generación de grillas

Posteriormente, los archivos meteorológicos SFL y PFL obtenidos del software AERMET View se insertaron en la interfaz Control Pathway de AERMOD View 12.0.0, garantizando la coincidencia de fechas de los datos meteorológicos. Véase en la Figura N° 27.

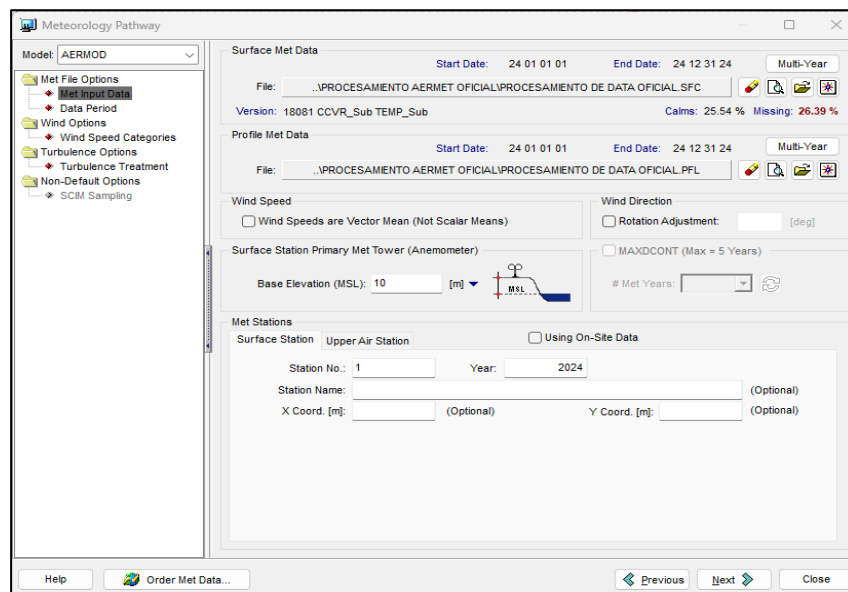


Figura N° 27 Importación de los archivos SFL y PFL

Como siguiente paso se procedió a usar la herramienta que generará el terreno, para ello se marcó la casilla con la opción de terreno elevado/plano ya que es la que se asemeja de mejor manera la geomorfología de la zona de estudio, también se utilizó el tipo de mapa SRTM3/SRTM1 con una distancia de 30 metros de acuerdo con el área de estudio. Véase en la Figura N° 28.

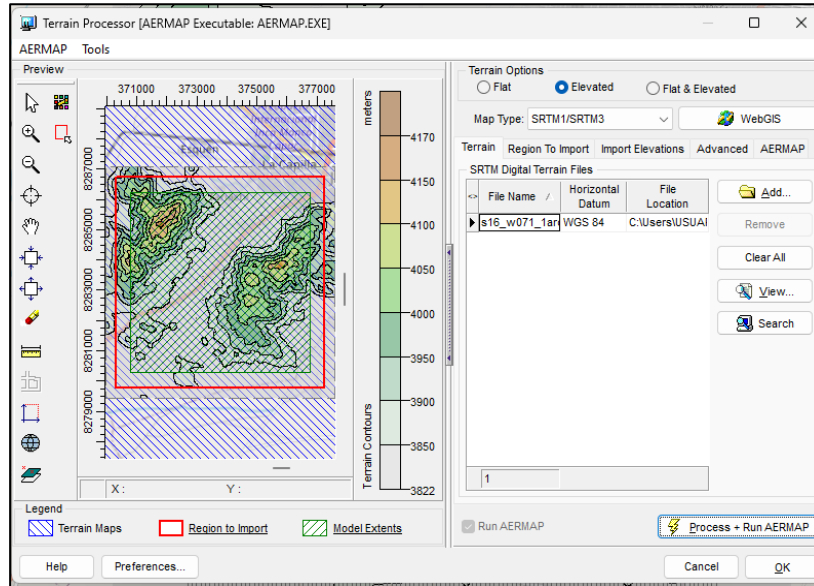


Figura N° 28 Generación del terrain en Aermap

Teniendo la tasa de emisión se procedió a ingresar los datos en la opción “Source” de software AERMOD. Para ello, se adecuo en el software Excel, de formato *Lakes*, para que todos los datos se autocompleten correctamente en cada sección. Véase en la Figura N° 29.

Type	ID	Desc	SourceD_Prefix	Base_Ele	Height	Diam	Ext_Vel	Ext_Temp	Release_Type	SigmaY	SigmaZ	Length_X	Length_Y	Rotation	Anale	Pt_Volum	Emission_Rate
				[m]	[m]	[m]	[m/s]	[K]		[m]	[m]	[m]	[m]	[deg]	[mm³]	[m³/s]	
POINT	STCK1	H6		1.00	4.00	4.66	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK2	H12		1.00	3.80	4.59	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK3	H17		1.50	4.00	4.61	1.76	465.73	VERTICAL								0.023
POINT	STCK4	H23		1.00	3.90	4.77	1.76	465.73	VERTICAL								0.020
POINT	STCK5	H28		1.00	4.00	4.41	1.76	465.73	VERTICAL								0.030
POINT	STCK6	H34		1.00	4.00	4.69	1.76	465.73	VERTICAL								0.033
POINT	STCK7	H39		1.10	3.30	4.90	1.76	465.73	VERTICAL								0.041
POINT	STCK8	H45		1.08	4.20	4.57	1.76	465.73	VERTICAL								0.025
POINT	STCK9	H51		1.50	4.00	3.68	1.76	465.73	VERTICAL								0.017
POINT	STCK10	H56		1.00	3.80	4.45	1.76	465.73	VERTICAL								0.023
POINT	STCK11	H62		1.00	3.65	4.92	1.76	465.73	VERTICAL								0.030
POINT	STCK12	H67		1.50	3.50	4.72	1.76	465.73	VERTICAL								0.025
POINT	STCK13	H73		1.00	3.85	4.47	1.76	465.73	VERTICAL								0.023
POINT	STCK14	H78		1.00	4.05	4.54	1.76	465.73	VERTICAL								0.029
POINT	STCK15	H84		1.10	3.50	4.68	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK16	H90		1.00	4.00	4.82	1.76	465.73	VERTICAL								0.027
POINT	STCK17	H95		1.50	4.00	4.22	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK18	H101		1.20	4.20	4.61	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK19	H106		1.10	3.50	4.75	1.76	465.73	VERTICAL								0.024
POINT	STCK20	H112		1.50	3.65	4.78	1.76	465.73	VERTICAL								0.025
POINT	STCK21	H117		0.83	3.45	4.69	1.76	465.73	VERTICAL								0.020
POINT	STCK22	H123		1.10	3.50	4.86	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK23	H129		1.02	3.85	4.51	1.76	465.73	VERTICAL								0.030
POINT	STCK24	H134		1.50	3.53	4.45	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK25	H140		1.30	3.80	4.55	1.76	465.73	VERTICAL								0.029
POINT	STCK26	H145		1.50	3.50	4.84	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK27	H151		1.60	3.65	4.39	1.76	465.73	VERTICAL								0.025
POINT	STCK28	H156		1.32	3.95	4.50	1.76	465.73	VERTICAL								0.023
POINT	STCK29	H162		1.05	3.50	4.60	1.76	465.73	VERTICAL								0.024
POINT	STCK30	H168		1.05	3.45	4.48	1.76	465.73	VERTICAL								0.027
POINT	STCK31	H173		1.20	3.50	4.53	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK32	H179		1.10	3.52	4.66	1.76	465.73	VERTICAL								0.030
POINT	STCK33	H184		1.08	3.65	4.70	1.76	465.73	VERTICAL								0.024
POINT	STCK34	H190		1.03	3.50	4.67	1.76	465.73	VERTICAL								0.025
POINT	STCK35	H195		1.00	3.50	4.72	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK36	H201		1.50	3.85	4.94	1.76	465.73	VERTICAL								0.034
POINT	STCK37	H207		1.20	3.62	4.10	1.76	465.73	VERTICAL								0.021
POINT	STCK38	H212		1.10	3.50	5.00	1.76	465.73	VERTICAL								0.027
POINT	STCK39	H218		1.50	4.00	4.30	1.76	465.73	VERTICAL								0.028
POINT	STCK40	H223		1.20	3.58	4.30	1.76	465.73	VERTICAL								0.025
POINT	STCK41	H229		1.20	3.50	4.54	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK42	H234		1.02	3.80	4.36	1.76	465.73	VERTICAL								0.033
POINT	STCK43	H240		1.15	3.65	4.65	1.76	465.73	VERTICAL								0.018
POINT	STCK44	H246		1.05	3.80	4.60	1.76	465.73	VERTICAL								0.029
POINT	STCK45	H251		1.10	3.65	4.30	1.76	465.73	VERTICAL								0.025
POINT	STCK46	H257		1.03	3.50	4.76	1.76	465.73	VERTICAL								0.021
POINT	STCK47	H262		1.50	3.80	4.61	1.76	465.73	VERTICAL								0.028
POINT	STCK48	H268		1.01	3.50	5.29	1.76	465.73	VERTICAL								0.031
POINT	STCK49	H273		1.00	3.60	4.66	1.76	465.73	VERTICAL								0.026
POINT	STCK50	H279		0.80	4.01	4.30	1.76	465.73	VERTICAL								0.023

Figura N° 29 Formato LAKES, para ingreso de datos Source

Posterior a ello se procedió a revisar si los datos se llenaron correctamente en cada ítem Véase en la Figura N° 30.

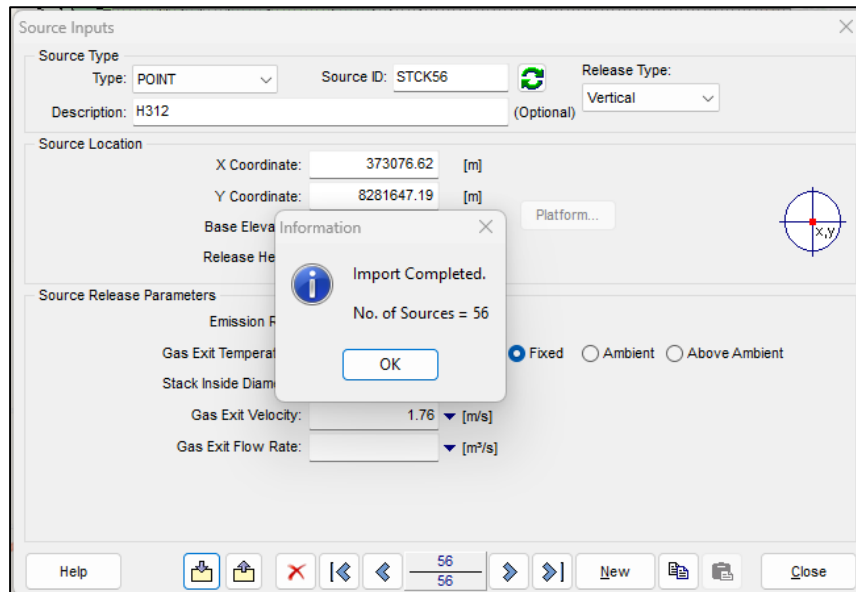


Figura N° 30 Verificación de datos Source

Luego se verifico que datos de las fuentes de emsion se ingresaron correcctamente visualizando en 3D, en la intefaz del AERMOD View 12.0.0 Véase en la Figura N° 31.

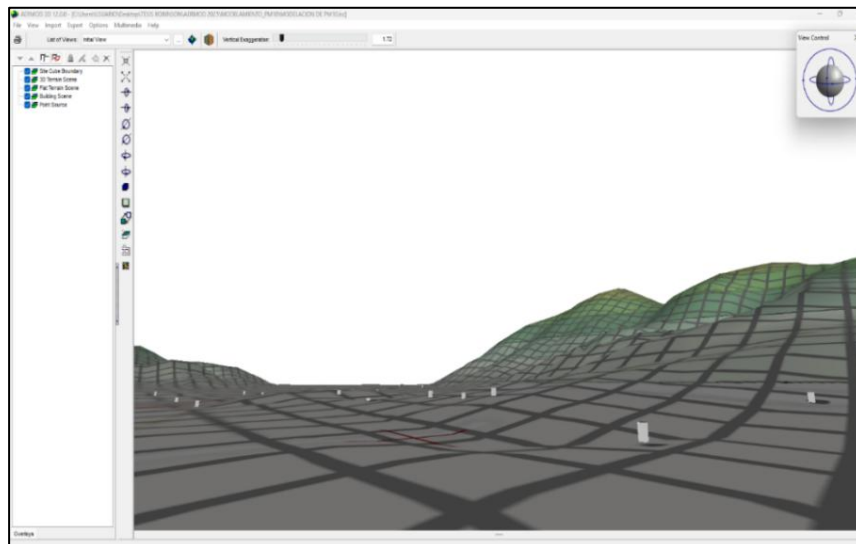


Figura N° 31 Vista 3D de las fuentes de emisión

En la interfaz de AERMOD, se utilizó la herramienta Control Pathway para configurar los ajustes según los datos in situ y la evaluación contaminates. Previo a ello, se seleccionó la casilla de concentración, ya que el modelado de dispersion, en el sector

ladrillero del distrito Juliaca se realizó con base a los parámetros mencionados. Véase en la Figura N° 32

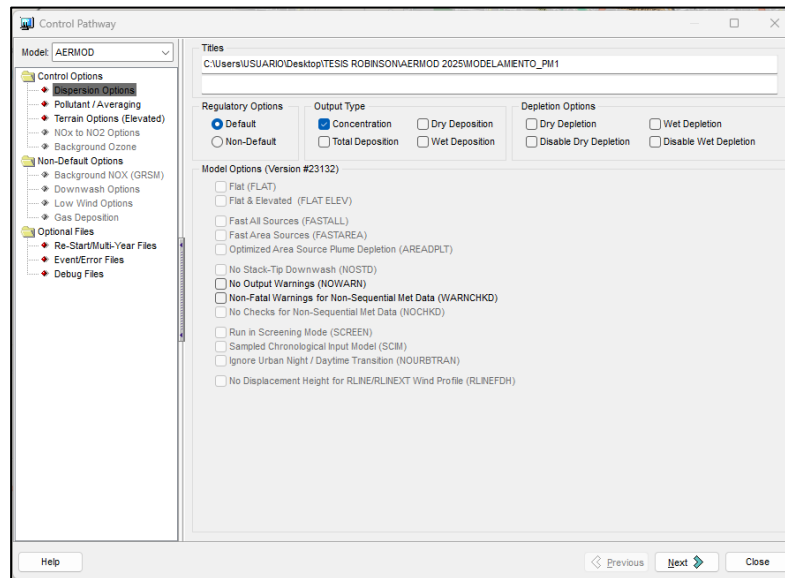


Figura N° 32 Configuración para el tipo de modelación

Se seleccionó la opción “Pollutant Type” por ser el contaminante modelado durante un período según la opción “Averaging Time Options”. En cuanto al tipo de terreno utilizado en la simulación, se aplicó un coeficiente de dispersión urbano. Véase en la Figura N° 33

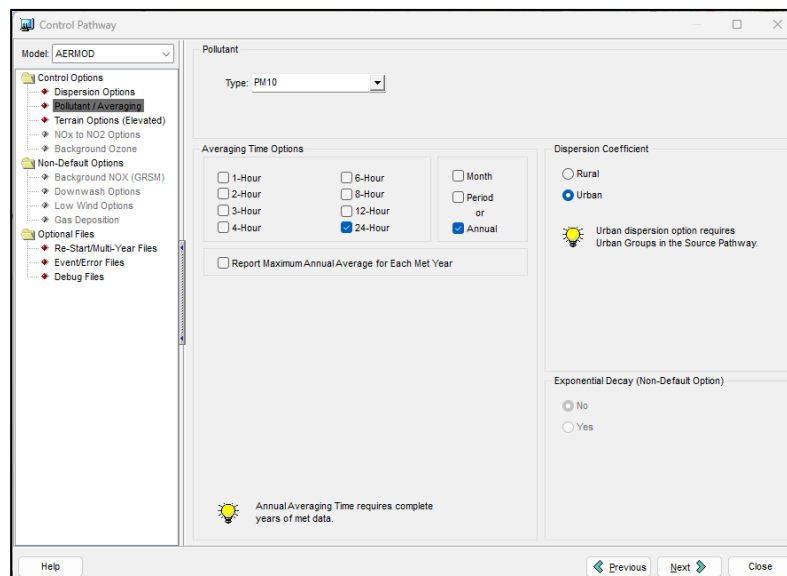


Figura N° 33 Selección del tipo de contaminante a modelar

Para la elevación del terreno, se seleccionó la opción de terreno elevado y plano, ya que el distrito de Juliaca incluye tanto áreas urbanas con geomorfología relativamente plana

como áreas rurales con características orográficas significativas, que influyen en la dispersión de los gases contaminantes. Véase en la Figura N° 34.

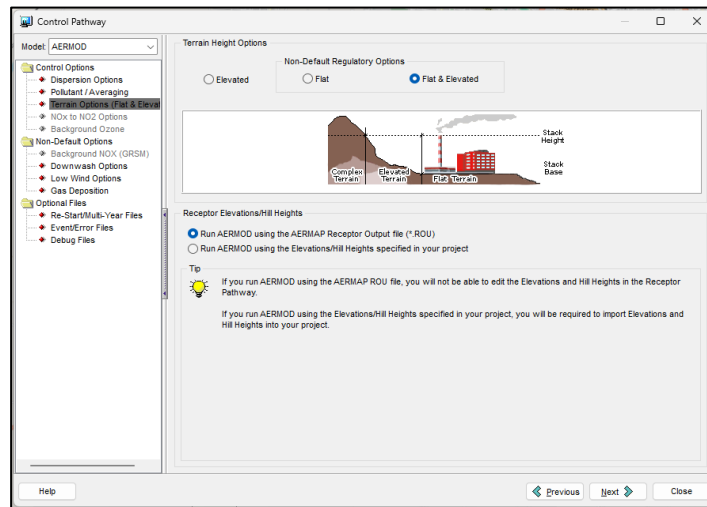


Figura N° 34 Elección de la geomorfología de la zona de estudio

Finalmente, se realizó la configuración del efecto Blinding downwash, que consiste en analizar la influencia de las estructuras en la dispersión de los contaminantes. Además, como paso final, se ejecutó la simulación AERMOD en la opción “Run”. A partir de ella, se obtuvo un resumen inicial de todo el proceso de modelado, incluyendo detalles del contaminante atmosférico, producido por el sector ladrillero del distrito Juliaca. Véase en la Figura N° 35.

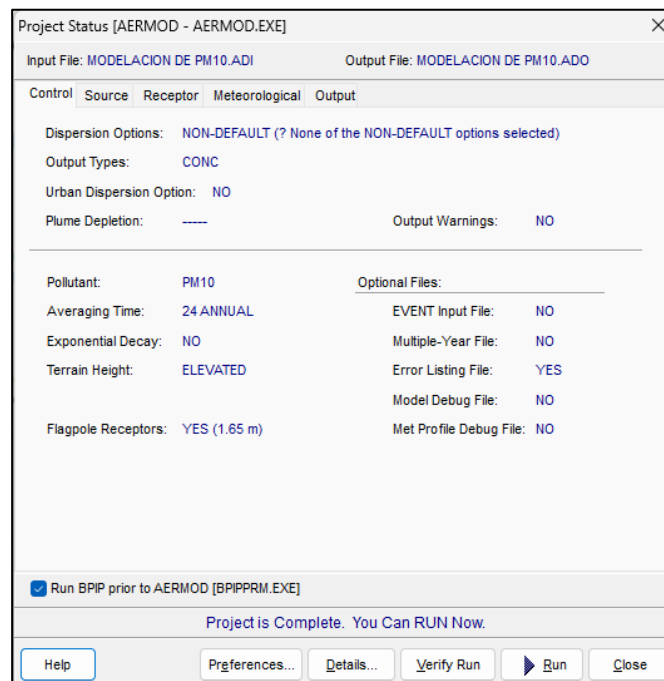


Figura N° 35 Corrida final del modelo

**ANEXO 5: Geolocalización de hornos ladrilleros**

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
1	H1	372861	8280766	28/05/2024
2	H2	372836	8280812	28/05/2024
3	H3	372904	8280767	28/05/2024
4	H4	372974	8280777	28/05/2024
5	H5	373036	8280737	28/05/2024
6	H6	373055	8280725	28/05/2024
7	H7	373048	8280800	28/05/2024
8	H8	373122	8280815	28/05/2024
9	H9	373158	8280810	28/05/2024
10	H10	373265	8280898	28/05/2024
11	H11	373254	8280948	28/05/2024
12	H12	373267	8280943	28/05/2024
13	H13	373292	8280939	28/05/2024
14	H14	373291	8280951	28/05/2024
15	H15	373292	8280983	28/05/2024
16	H16	373388	8280977	28/05/2024
17	H17	373566	8281086	28/05/2024
18	H18	373576	8281081	28/05/2024
19	H19	373678	8281132	28/05/2024
20	H20	373691	8281141	28/05/2024
21	H21	373818	8281166	28/05/2024
22	H22	373408	8281129	28/05/2024
23	H23	373462	8281206	28/05/2024
24	H24	373483	8281244	28/05/2024
25	H25	373247	8281130	28/05/2024
26	H26	373195	8281153	28/05/2024
27	H27	373177	8281145	28/05/2024
28	H28	373154	8281172	28/05/2024
29	H29	373089	8281247	28/05/2024
30	H30	373090	8281258	28/05/2024
31	H31	373142	8281285	28/05/2024
32	H32	373110	8281316	28/05/2024
33	H33	372487	8281409	28/05/2024
34	H34	373210	8281523	28/05/2024
35	H35	373271	8281536	28/05/2024
36	H36	373263	8281575	28/05/2024
37	H37	375035	8285254	28/05/2024
38	H38	373253	8281615	28/05/2024
39	H39	373275	8281632	28/05/2024
40	H40	373212	8281641	28/05/2024
41	H41	373262	8281667	28/05/2024
42	H42	373157	8281664	28/05/2024

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
43	H43	373205	8281700	28/05/2024
44	H44	373101	8281691	28/05/2024
45	H45	373393	8281592	29/05/2024
46	H46	373405	8281604	29/05/2024
47	H47	373387	8281635	29/05/2024
48	H48	373368	8281637	29/05/2024
49	H49	373359	8281694	29/05/2024
50	H50	373361	8281722	29/05/2024
51	H51	373336	8281755	29/05/2024
52	H52	373338	8281775	29/05/2024
53	H53	373100	8281803	29/05/2024
54	H54	373121	8281809	29/05/2024
55	H55	373075	8281809	29/05/2024
56	H56	373250	8281816	29/05/2024
57	H57	373331	8281845	29/05/2024
58	H58	373214	8281864	29/05/2024
59	H59	373305	8281905	29/05/2024
60	H60	373182	8281910	29/05/2024
61	H61	372992	8281890	29/05/2024
62	H62	372962	8281953	29/05/2024
63	H63	372691	8281942	29/05/2024
64	H64	372600	8281898	29/05/2024
65	H65	372633	8281977	29/05/2024
66	H66	372662	8282005	29/05/2024
67	H67	372780	8281963	29/05/2024
68	H68	372930	8281996	29/05/2024
69	H69	372956	8281990	29/05/2024
70	H70	372960	8282006	29/05/2024
71	H71	372940	8282016	29/05/2024
72	H72	372851	8282051	29/05/2024
73	H73	372738	8282030	29/05/2024
74	H74	372697	8282070	29/05/2024
75	H75	372794	8282092	29/05/2024
76	H76	372881	8282060	29/05/2024
77	H77	372896	8282069	29/05/2024
78	H78	372987	8282081	29/05/2024
79	H79	372742	8282175	29/05/2024
80	H80	372719	8282225	29/05/2024
81	H81	372764	8282223	29/05/2024
82	H82	372771	8282218	29/05/2024
83	H83	372780	8282246	29/05/2024
84	H84	372787	8282273	29/05/2024
85	H85	372782	8282316	29/05/2024

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
86	H86	372857	8282335	29/05/2024
87	H87	372916	8282330	29/05/2024
88	H88	372980	8282414	29/05/2024
89	H89	373024	8282425	29/05/2024
90	H90	372985	8282428	29/05/2024
91	H91	373187	8282420	29/05/2024
92	H92	373228	8282417	29/05/2024
93	H93	373260	8282416	29/05/2024
94	H94	373294	8282434	29/05/2024
95	H95	373289	8282449	29/05/2024
96	H96	373278	8282471	29/05/2024
97	H97	372435	8282669	29/05/2024
98	H98	372572	8281733	29/05/2024
99	H99	373244	8282511	29/05/2024
100	H100	373221	8282539	29/05/2024
101	H101	373126	8282496	29/05/2024
102	H102	372958	8282593	29/05/2024
103	H103	373164	8282623	29/05/2024
104	H104	372914	8282656	29/05/2024
105	H105	373142	8282668	29/05/2024
106	H106	373203	8282669	29/05/2024
107	H107	373194	8282702	29/05/2024
108	H108	373198	8282716	29/05/2024
109	H109	373095	8282736	29/05/2024
110	H110	372985	8282727	29/05/2024
111	H111	372918	8282682	29/05/2024
112	H112	372947	8282726	29/05/2024
113	H113	372940	8282755	29/05/2024
114	H114	372988	8282788	29/05/2024
115	H115	373078	8282781	29/05/2024
116	H116	373107	8282764	29/05/2024
117	H117	373190	8282751	29/05/2024
118	H118	373277	8282768	29/05/2024
119	H119	373238	8282796	29/05/2024
120	H120	373279	8282826	29/05/2024
121	H121	373230	8282822	29/05/2024
122	H122	373167	8282881	29/05/2024
123	H123	373154	8282900	29/05/2024
124	H124	373011	8282833	29/05/2024
125	H125	373058	8282868	29/05/2024
126	H126	372985	8282872	29/05/2024
127	H127	372937	8282955	29/05/2024
128	H128	373030	8282970	29/05/2024

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
129	H129	373025	8282985	29/05/2024
130	H130	372988	8283085	29/05/2024
131	H131	373114	8283095	29/05/2024
132	H132	373071	8283162	29/05/2024
133	H133	373197	8283097	29/05/2024
134	H134	373242	8283092	29/05/2024
135	H135	373199	8283114	29/05/2024
136	H136	373226	8283117	29/05/2024
137	H137	373230	8283135	29/05/2024
138	H138	373123	8283271	29/05/2024
139	H139	373175	8283373	29/05/2024
140	H140	373149	8283388	29/05/2024
141	H141	373119	8283395	29/05/2024
142	H142	373050	8283439	29/05/2024
143	H143	372931	8283359	29/05/2024
144	H144	372857	8283380	29/05/2024
145	H145	372849	8283382	29/05/2024
146	H146	372816	8283349	29/05/2024
147	H147	372823	8283333	29/05/2024
148	H148	372770	8283366	29/05/2024
149	H149	372751	8283363	29/05/2024
150	H150	372758	8283281	29/05/2024
151	H151	372723	8283237	29/05/2024
152	H152	372627	8283250	29/05/2024
153	H153	372611	8283191	29/05/2024
154	H154	372590	8283217	29/05/2024
155	H155	372334	8283256	29/05/2024
156	H156	372323	8283371	29/05/2024
157	H157	372300	8283390	29/05/2024
158	H158	372297	8283261	29/05/2024
159	H159	372283	8283239	29/05/2024
160	H160	372285	8283213	29/05/2024
161	H161	372227	8283216	29/05/2024
162	H162	372237	8283264	29/05/2024
163	H163	373257	8283472	29/05/2024
164	H164	372217	8283332	29/05/2024
165	H165	372171	8283331	29/05/2024
166	H166	372110	8283335	29/05/2024
167	H167	372126	8283249	29/05/2024
168	H168	373563	8283588	29/05/2024
169	H169	372117	8283184	29/05/2024
170	H170	372146	8283143	29/05/2024
171	H171	372227	8283129	29/05/2024

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
172	H172	371987	8283135	29/05/2024
173	H173	371833	8283012	29/05/2024
174	H174	371825	8283041	29/05/2024
175	H175	371979	8283147	29/05/2024
176	H176	371940	8283250	29/05/2024
177	H177	371996	8283323	29/05/2024
178	H178	372159	8283681	29/05/2024
179	H179	372380	8283841	29/05/2024
180	H180	372960	8283803	29/05/2024
181	H181	373028	8283747	29/05/2024
182	H182	372930	8283754	29/05/2024
183	H183	372916	8283732	29/05/2024
184	H184	372965	8283711	29/05/2024
185	H185	373048	8283641	29/05/2024
186	H186	372973	8283593	29/05/2024
187	H187	373009	8283567	29/05/2024
188	H188	372904	8283564	29/05/2024
189	H189	372912	8283498	29/05/2024
190	H190	373202	8283469	29/05/2024
191	H191	373224	8283487	29/05/2024
192	H192	373219	8283455	29/05/2024
193	H193	373258	8283480	29/05/2024
194	H194	373230	8283231	29/05/2024
195	H195	373255	8283207	29/05/2024
196	H196	373406	8283642	29/05/2024
197	H197	373737	8283495	29/05/2024
198	H198	373563	8283588	29/05/2024
199	H199	373403	8283756	29/05/2024
200	H200	373493	8283802	29/05/2024
201	H201	373561	8283774	29/05/2024
202	H202	373655	8283887	29/05/2024
203	H203	373596	8284019	29/05/2024
204	H204	373847	8283818	29/05/2024
205	H205	373834	8283807	29/05/2024
206	H206	373830	8283766	29/05/2024
207	H207	373785	8283755	29/05/2024
208	H208	373620	8283675	29/05/2024
209	H209	373645	8283663	29/05/2024
210	H210	373686	8283565	29/05/2024
211	H211	373735	8283611	29/05/2024
212	H212	373758	8283617	29/05/2024
213	H213	373736	8283671	29/05/2024
214	H214	373918	8283774	29/05/2024

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
215	H215	373972	8284026	29/05/2024
216	H216	374001	8284076	29/05/2024
217	H217	373981	8284109	29/05/2024
218	H218	373958	8284121	29/05/2024
219	H219	373806	8284061	29/05/2024
220	H220	373809	8284166	29/05/2024
221	H221	373890	8284255	29/05/2024
222	H222	374428	8284638	29/05/2024
223	H223	374439	8284669	29/05/2024
224	H224	374463	8284621	29/05/2024
225	H225	374484	8284602	29/05/2024
226	H226	374478	8284594	29/05/2024
227	H227	374755	8284868	29/05/2024
228	H228	374777	8284851	29/05/2024
229	H229	374786	8284839	29/05/2024
230	H230	374788	8284808	29/05/2024
231	H231	374857	8284805	29/05/2024
232	H232	374859	8284894	29/05/2024
233	H233	374796	8284956	29/05/2024
234	H234	374838	8284934	29/05/2024
235	H235	374841	8284954	29/05/2024
236	H236	374962	8285077	29/05/2024
237	H237	375054	8285045	29/05/2024
238	H238	375233	8285231	29/05/2024
239	H239	375239	8285266	29/05/2024
240	H240	375255	8285267	29/05/2024
241	H241	375293	8285252	29/05/2024
242	H242	375310	8285319	29/05/2024
243	H243	375420	8285191	29/05/2024
244	H244	374902	8285410	29/05/2024
245	H245	374937	8285398	29/05/2024
246	H246	374958	8285497	29/05/2024
247	H247	374960	8285433	29/05/2024
248	H248	375005	8285415	29/05/2024
249	H249	375082	8285299	29/05/2024
250	H250	375092	8285370	29/05/2024
251	H251	375068	8285467	29/05/2024
252	H252	375059	8285484	29/05/2024
253	H253	375103	8285484	29/05/2024
254	H254	375197	8285479	30/05/2024
255	H255	372960	8281907	30/05/2024
256	H256	372575	8282257	30/05/2024
257	H257	372948	8282424	30/05/2024

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
258	H258	373014	8282407	30/05/2024
259	H259	373078	8282417	30/05/2024
260	H260	372987	8282737	30/05/2024
261	H261	373102	8282792	30/05/2024
262	H262	373145	8282797	30/05/2024
263	H263	373016	8282942	30/05/2024
264	H264	373225	8283037	30/05/2024
265	H265	373248	8283124	30/05/2024
266	H266	373159	8283103	30/05/2024
267	H267	373025	8283147	30/05/2024
268	H268	373019	8283151	30/05/2024
269	H269	372736	8283233	30/05/2024
270	H270	372749	8283193	30/05/2024
271	H271	372783	8283261	30/05/2024
272	H272	372949	8283350	30/05/2024
273	H273	373005	8283371	30/05/2024
274	H274	373102	8283403	30/05/2024
275	H275	373199	8283362	30/05/2024
276	H276	372921	8283484	30/05/2024
277	H277	373235	8283208	30/05/2024
278	H278	373237	8283218	30/05/2024
279	H279	375077	8285181	30/05/2024
280	H280	375234	8285092	30/05/2024
281	H281	375304	8285290	30/05/2024
282	H282	375383	8285245	30/05/2024
283	H283	375426	8285180	30/05/2024
284	H284	375165	8285455	15/06/2024
285	H285	375146	8285462	15/06/2024
286	H286	375069	8285426	15/06/2024
287	H287	374984	8285461	15/06/2024
288	H288	374981	8285444	15/06/2024
289	H289	374951	8285398	15/06/2024
290	H290	374951	8285383	15/06/2024
291	H291	374930	8285387	15/06/2024
292	H292	374756	8284947	15/06/2024
293	H293	375126	8285195	15/06/2024
294	H294	374960	8285446	15/06/2024
295	H295	374905	8285577	15/06/2024
296	H296	374985	8285074	15/06/2024
297	H297	375028	8285003	15/06/2024
298	H298	374442	8284652	15/06/2024
299	H299	373153	8282890	15/06/2024
300	H300	373060	8282851	16/08/2024

N°	CODIGO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L		FECHA DE GEOLOCAL IZACION
		ESTE	NORTE	
301	H301	372811	8282119	16/08/2024
302	H302	372845	8282040	16/08/2024
303	H303	372698	8282092	16/08/2024
304	H304	372903	8282042	16/08/2024
305	H305	372953	8282005	16/08/2024
306	H306	373211	8281856	16/08/2024
307	H307	373241	8281831	16/08/2024
308	H308	372759	8282268	16/08/2024
309	H309	373326	8281846	16/08/2024
310	H310	373280	8281695	16/08/2024
311	H311	373301	8281490	16/08/2024
312	H312	373077	8281646	16/08/2024

**ANEXO 6:** Selección de puntos para la aplicación de encuesta

Nº	PUNTO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L	
		ESTE	NORTE
1	H6	373055	8280725
2	H12	373267	8280943
3	H17	373566	8281086
4	H23	373462	8281206
5	H28	373154	8281172
6	H34	373210	8281523
7	H39	373275	8281632
8	H45	373393	8281592
9	H51	373336	8281755
10	H56	373250	8281816
11	H62	372962	8281953
12	H67	372780	8281963
13	H73	372738	8282030
14	H78	372987	8282081
15	H84	372787	8282273
16	H90	372985	8282428
17	H95	373289	8282449
18	H101	373126	8282496
19	H106	373203	8282669
20	H112	372947	8282726
21	H117	373190	8282751
22	H123	373154	8282900
23	H129	373025	8282985
24	H134	373242	8283092
25	H140	373149	8283388
26	H145	372849	8283382
27	H151	372723	8283237
28	H156	372323	8283371
29	H162	372237	8283264
30	H168	373563	8283588
31	H173	371833	8283012
32	H179	372380	8283841
33	H184	372965	8283711
34	H190	373202	8283469
35	H195	373255	8283207
36	H201	373561	8283774
37	H107	373194	8282702
38	H212	373758	8283617
39	H218	373958	8284121
40	H223	374439	8284669
41	H229	374786	8284839

N°	PUNTO	Coordenadas UTM – DATUM WGS 84 ZONA 19L	
		ESTE	NORTE
42	H234	374838	8284934
43	H240	375255	8285267
44	H246	374958	8285497
45	H251	375068	8285467
46	H257	372948	8282424
47	H262	373145	8282797
48	H268	373019	8283151
49	H273	373005	8283371
50	H279	375077	8285181
51	H285	375146	8285462
52	H290	374951	8285383
53	H296	374985	8285074
54	H301	372811	8282119
55	H307	373241	8281831
56	H312	373077	8281646

## ANEXO 7: Tickets reportadas por el TESTO 350

### Medición N° 1

testo 350 Box #3  
Vi. 25 61300996/LAT  
06. 02. 2025 07:33:17

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

5.2 m/s Velocidad  
13.53 % O2  
8354 ppm CO  
81.0 ppm NOx  
81 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
6.00 % CO2  
0 ppm SO2  
0 ppm H2S  
244.7 °C Temp. PDC's  
69.4 % REN  
0.98 l/min Caudal bom.  
23.9 °C Temp. Amb.  
66000 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
Vi. 25 61300996/LAT  
06. 02. 2025 07:44:07

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

4.2 m/s Velocidad  
10.68 % O2  
6503 ppm CO  
109.0 ppm NOx  
109 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
8.62 % CO2  
0 ppm SO2  
0 ppm H2S  
241.1 °C Temp. PDC's  
78.6 % REN  
0.95 l/min Caudal bom.  
22.2 °C Temp. Amb.  
52800 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
Vi. 25 61300996/LAT  
06. 02. 2025 07:59:16

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

5.0 m/s Velocidad  
14.29 % O2  
6723 ppm CO  
84.0 ppm NOx  
84 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
5.44 % CO2  
0 ppm SO2  
0.0 ppm H2S  
298.7 °C Temp. PDC's  
61.3 % REN  
0.55 l/min Caudal bom.  
23.0 °C Temp. Amb.  
66000 l/min Caudal

### Medición N° 2

testo 350 Box #3  
Vi. 25 61300996/LAT  
06. 02. 2025 09:02:55

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

2.5 m/s Velocidad  
13.14 % O2  
8812 ppm CO  
92.0 ppm NOx  
92 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
6.31 % CO2  
0 ppm SO2  
0 ppm H2S  
72.5 °C Temp. PDC's  
87.6 % REN  
0.38 l/min Caudal bom.  
25.3 °C Temp. Amb.  
26400 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
Vi. 25 61300996/LAT  
06. 02. 2025 09:09:17

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

0.0 m/s Velocidad  
10.17 % O2  
9747 ppm CO  
120.1 ppm NOx  
120 ppm NO  
0.1 ppm NO2  
8.85 % CO2  
0 ppm SO2  
0 ppm H2S  
85.6 °C Temp. PDC's  
89.2 % REN  
0.42 l/min Caudal bom.  
26.1 °C Temp. Amb.  
0 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
Vi. 25 61300996/LAT  
06. 02. 2025 09:32:41

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

0.0 m/s Velocidad  
10.91 % O2  
8758 ppm CO  
105.0 ppm NOx  
105 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
8.27 % CO2  
0 ppm SO2  
0 ppm H2S  
85.6 °C Temp. PDC's  
89.2 % REN  
0.40 l/min Caudal bom.  
26.8 °C Temp. Amb.  
0 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
V1. 25 61300996/LAT

06. 02. 2025 10:12:52

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

7.1 m/s Velocidad  
12.21 % O2  
2274 ppm CO  
111.0 ppm NOx  
111 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
7.55 % CO2  
69 ppm SO2  
0.0 ppm H2S  
313.8 °C Temp. PDC's  
72.4 % REN  
0.93 l/min Caudal bom.  
26.2 °C Temp. Amb.  
92400 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
V1. 25 61300996/LAT

Protocolo  
Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

06. 02. 2025 08:09:24

PdC + m/s Quemador  
12.7 m/s Velocidad  
20.68 % O2  
25 ppm CO  
4.0 ppm NOx  
4 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
--- % CO2  
3 ppm SO2  
0.0 ppm H2S  
486.4 °C Temp. PDC's  
--- % REN  
0.98 l/min Caudal bom.  
22.3 °C Temp. Amb.  
171600 l/min Caudal

### Medición N° 3

61300996/LAT

06. 02. 2025 11:49:12

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

0.0 m/s Velocidad  
13.40 % O2  
7366 ppm CO  
60.0 ppm NOx  
60 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
6.17 % CO2  
0 ppm SO2  
0.0 ppm H2S  
185.5 °C Temp. PDC's  
76.5 % REN  
0.98 l/min Caudal bom.  
21.9 °C Temp. Amb.  
0 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
V1. 25 61300996/LAT

06. 02. 2025 11:39:57

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

0.0 m/s Velocidad  
13.74 % O2  
5082 ppm CO  
36.0 ppm NOx  
36 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
6.03 % CO2  
0 ppm SO2  
0.0 ppm H2S  
134.8 °C Temp. PDC's  
83.0 % REN  
0.97 l/min Caudal bom.  
23.4 °C Temp. Amb.  
0 l/min Caudal

testo 350 Box #3  
V1. 25 61300996/LAT

06. 02. 2025 11:59:00

Situación:  
SUPERFICIE  
MODELAMIENTO-DE-CONT  
ROBINSON

Combustible: Carbón  
O2ref. 7.0 %  
CO2Máx: 18.4 %

PdC + m/s Quemador

0.0 m/s Velocidad  
13.81 % O2  
4859 ppm CO  
48.0 ppm NOx  
48 ppm NO  
0.0 ppm NO2  
5.98 % CO2  
0 ppm SO2  
0.0 ppm H2S  
168.5 °C Temp. PDC's  
79.2 % REN  
0.98 l/min Caudal bom.  
21.5 °C Temp. Amb.  
0 l/min Caudal

### Medición N°4

testo 350 Box #3 V1.25 61300996/LAT	testo 350 Box #3 V1.25 61300996/LAT	testo 350 Box #3 V1.25 61300996/LAT
06.02.2025 12:16:45	06.02.2025 12:26:00	06.02.2025 12:35:10
Situación: SUPERFICIE MODELAMIENTO-DE-CONT ROBINSON	Situación: SUPERFICIE MODELAMIENTO-DE-CONT ROBINSON	Situación: SUPERFICIE MODELAMIENTO-DE-CONT ROBINSON
Combustible: Carbón O2ref. 7.0 % CO2Máx: 18.4 %	Combustible: Carbón O2ref. 7.0 % CO2Máx: 18.4 %	Combustible: Carbón O2ref. 7.0 % CO2Máx: 18.4 %
PdC + m/s Quemador	PdC + m/s Quemador	PdC + m/s Quemador
2.5 m/s Velocidad 9.88 % O2 9662 ppm CO 85.0 ppm NOx 85 ppm NO 0.0 ppm NO2 9.11 % CO2 0 ppm SO2 0.0 ppm H2S 96.9 °C Temp. PDC's 88.7 % REN 0.58 l/min Caudal bom. 25.8 °C Temp. Amb. 39600 l/min Caudal	0.0 m/s Velocidad 13.69 % O2 8802 ppm CO 73.0 ppm NOx 73 ppm NO 0.0 ppm NO2 5.83 % CO2 0 ppm SO2 0.0 ppm H2S 58.3 °C Temp. PDC's 88.2 % REN 0.50 l/min Caudal bom. 24.7 °C Temp. Amb. 0 l/min Caudal	0.0 m/s Velocidad 11.66 % O2 8925 ppm CO 99.0 ppm NOx 99 ppm NO 0.0 ppm NO2 7.60 % CO2 0 ppm SO2 0.0 ppm H2S 66.3 °C Temp. PDC's 89.8 % REN 0.38 l/min Caudal bom. 25.9 °C Temp. Amb. 0 l/min Caudal

### Medición N°5

testo 350 Box #3 V1.25 61300996/LAT	testo 350 Box #3 V1.25 61300996/LAT	testo 350 Box #3 V1.25 61300996/LAT
06.02.2025 14:16:39	06.02.2025 14:44:35	06.02.2025 14:29:58
Situación: SUPERFICIE MODELAMIENTO-DE-CONT ROBINSON	Situación: SUPERFICIE MODELAMIENTO-DE-CONT ROBINSON	Situación: SUPERFICIE MODELAMIENTO-DE-CONT ROBINSON
Combustible: Carbón O2ref. 7.0 % CO2Máx: 18.4 %	Combustible: Carbón O2ref. 7.0 % CO2Máx: 18.4 %	Combustible: Carbón O2ref. 7.0 % CO2Máx: 18.4 %
PdC + m/s Quemador	PdC + m/s Quemador	PdC + m/s Quemador
4.3 m/s Velocidad 12.78 % O2 7127 ppm CO 114.0 ppm NOx 114 ppm NO 0.0 ppm NO2 6.73 % CO2 0 ppm SO2 0.0 ppm H2S 140.6 °C Temp. PDC's 83.0 % REN 0.44 l/min Caudal bom. 26.5 °C Temp. Amb. 52800 l/min Caudal	1.8 m/s Velocidad 11.06 % O2 7999 ppm CO 110.0 ppm NOx 110 ppm NO 0.0 ppm NO2 8.18 % CO2 0 ppm SO2 0.0 ppm H2S 98.0 °C Temp. PDC's 88.4 % REN 0.36 l/min Caudal bom. 25.5 °C Temp. Amb. 26400 l/min Caudal	0.0 m/s Velocidad 11.89 % O2 8075 ppm CO 109.0 ppm NOx 109 ppm NO 0.0 ppm NO2 7.45 % CO2 0 ppm SO2 0.0 ppm H2S 124.3 °C Temp. PDC's 85.2 % REN 0.37 l/min Caudal bom. 25.7 °C Temp. Amb. 0 l/min Caudal

Consolidado de resultados de medición

PUN TO	Intervalo de tiempo	Velocidad (m/s)	O <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	SO <sub>2</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	Temp PDC s (°C)	REN	Caudal bom. (l/min)	Temp. Amb	Caudal (l/min)
H33	07:33:17	5.2	13.53	8354	81	81	0	6	0	0	244.7	69.4	0.98	23.9	66000
	07:44:07	4.2	10.68	6503	109	109	0	8.62	0	0	241.1	78.6	0.95	22.2	52800
	07:59:16	5	14.29	6723	84	84	0	5.44	0	0	298.7	613	0.55	23	66000
H74	09:02:55	2.5	13.14	8812	92	92	0	6.31	69	0	72.5	87.6	0.38	25.3	26400
	09:09:17	0	10.17	9747	120.1	120	0.1	8.25	3	0	85	89.2	0.42	26.1	0
	09:32:17	0	10.91	8758	105	105	0	8.27	0	0	85.6	89.2	0.4	26.8	0
H81	11:49:12	0	13.4	7366	60	60	0	6.17	0	0	185.5	76.5	0.98	21.9	0
	11:39:57	0	13.74	5082	36	36	0	6.03	0	0	134.8	83	0.97	23	0
	11:59:00	0	13.81	4859	48	48	0	5.98	0	0	168.5	79.2	0.98	21.5	0
H17 5	12:16:45	2.5	9.88	9662	85	85	0	9.11	0	0	96.9	88.7	0.58	25.8	39600
	12:26:00	0	13.69	8802	73	73	0	5.83	0	0	58.3	88.2	0.5	24.7	0
	12:25:10	0	11.66	8925	99	99	0	7.6	0	0	66.3	89.8	0.38	25.9	0
H23 2	14:16:39	4.3	12.78	7127	114	114	0	6.73	0	0	140	83	0.44	26.5	52800
	14:44:35	1.8	11.06	7999	110	110	0	8.18	0	0	98	88.4	0.36	25.5	26400
	14:29:58	0	11.89	8075	109	109	0	7.45	0	0	124	85.2	0.37	25.7	0

### ANEXO 8: Procesamiento de encuestas

PROYECTO: 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																															
PROCESAMIENTO DE ENCUESTAS																															
N°	ID	1. UBICACION DE LA LADRILLERA ARTESANAL			2. CARACTERISTICAS DEL HORNO TIPO ESCOCES								3. MATRIZ PARA EL ENCENDIDO DE LOS HORNOS DE LADRILLERAS ARTESANALES						4. OTRAS CARACTERÍSTICAS												
		ZONA	ESTE	NORTE	2.1	2.2	2.3	Medidas de la corona del horno		2.7	2.8	2.9	3.1 Cantidad de combustible / tipo					3.3	4.1	4.2	4.3										
					Materi	Base				Periodo	Tiemp											Tiempo	aserrí	estíerc	Neumátic	Otro	Total /	(1) Fuente	Und.	Und.	E, F, M,
					al de	de elevac				de funciona	o de cocción											de enfriamiento									
construcción	ión del	miento del	n de ladrillos	de del horno	Tn	Tn	Tn	Tn	Tn	(2) Fuente	O, N, D																				
					(1)	metros	metros	Ancho	Largo	(1) Bajo	HORAS	días						(1) Fuente	Und.	Und.	E, F, M, A, M, J, J, A, S, O, N, D										
				Adobe	metros			metros	metros	metros			(2) Medio											(2) Fuente							
				Ladrillo									(3) Alto														(3) Fuente				
				Otros																											

21	H117	19 S	373190	8282751	1	0.83	3.45	2.50	3.96	2.00	8.00	3.00	0.86	1.51	0.05	0.01	2.43	1	1	4000	N-D
22	H123	19 S	373154	8282900	1	1.10	3.50	3.10	3.50	2.00	8.00	3.00	0.71	1.32	0.06	0.00	2.10	1	1	4300	A-D
23	H129	19 S	373025	8282985	1	1.02	3.85	2.90	3.45	2.00	8.00	3.00	0.86	1.51	0.03	0.00	2.40	1	1	5000	S-O
24	H134	19 S	373242	8283092	1	1.50	3.53	2.50	3.68	2.00	6.00	3.00	0.43	1.63	0.05	0.01	2.11	1	2	4200	A-D
25	H140	19 S	373149	8283388	1	1.30	3.80	2.50	3.80	2.00	8.00	3.00	0.57	1.70	0.06	0.00	2.34	1	1	4000	J-S
26	H145	19 S	372849	8283382	1	1.50	3.50	2.50	4.15	2.00	8.00	3.00	0.57	1.51	0.02	0.00	2.10	1	1	4500	E-M
27	H151	19 S	372723	8283237	1	1.60	3.65	2.65	3.50	2.00	8.00	3.00	0.86	1.13	0.03	0.00	2.02	1	1	4000	J-S
28	H156	19 S	372323	8283371	1	1.32	3.95	2.83	3.50	2.00	8.00	3.00	0.71	1.13	0.03	0.00	1.88	1	1	5000	N-D
29	H162	19 S	372237	8283264	1	1.05	3.50	2.80	3.65	2.00	8.00	3.00	0.80	1.13	0.03	0.00	1.96	1	1	4000	A-D
30	H168	19 S	373563	8283588	1	1.05	3.45	2.80	3.50	2.00	8.00	3.00	0.86	1.32	0.03	0.00	2.21	1	1	4000	S-O
31	H173	19 S	371833	8283012	1	1.20	3.50	2.65	3.68	2.00	8.00	3.00	0.57	1.70	0.03	0.00	2.30	1	1	3800	A-D
32	H179	19 S	372380	8283841	1	1.10	3.52	2.58	3.88	2.00	8.00	3.00	0.71	1.70	0.05	0.00	2.46	1	1	4000	N-D
33	H184	19 S	372965	8283711	1	1.08	3.65	2.70	3.85	2.00	8.00	3.00	0.57	1.32	0.06	0.00	1.96	1	1	4200	A-D
34	H190	19 S	373202	8283469	1	1.03	3.50	2.65	3.85	2.00	8.00	3.00	0.86	1.13	0.06	0.00	2.06	1	1	4000	S-D
35	H195	19 S	373255	8283207	1	1.00	3.50	2.73	3.85	2.00	8.00	3.00	0.71	1.51	0.03	0.01	2.26	1	1	4000	N-D
36	H201	19 S	373561	8283774	1	1.50	3.85	2.75	4.10	2.00	8.00	8.00	1.00	1.70	0.05	0.00	2.75	1	1	4500	A-D
37	H207	19 S	373194	8282702	1	1.20	3.62	2.80	3.00	2.00	8.00	2.00	0.57	1.13	0.03	0.00	1.74	1	1	4000	E-M
38	H212	19 S	373758	8283617	1	1.10	3.50	3.00	4.00	2.00	7.00	3.00	0.86	1.32	0.03	0.00	2.21	1	1	4000	J-S
39	H218	19 S	373958	8284121	1	1.50	4.00	2.50	3.50	2.00	8.00	3.00	0.71	1.51	0.03	0.00	2.26	1	2	4000	N-D
40	H223	19 S	374439	8284669	1	1.20	3.58	2.50	3.50	2.00	8.00	3.00	0.66	1.32	0.05	0.00	2.03	1	1	4000	A-D
41	H229	19 S	374786	8284839	1	1.20	3.50	2.40	3.85	2.00	8.00	3.00	0.57	1.51	0.03	0.00	2.12	1	1	4000	A-M
42	H234	19 S	374838	8284934	1	1.02	3.60	2.60	3.50	2.00	8.00	8.00	0.86	1.70	0.08	0.00	2.64	1	1	3800	J-D
43	H240	19 S	375255	8285267	1	1.15	3.65	2.75	3.75	2.00	8.00	3.00	0.29	1.13	0.06	0.00	1.49	1	1	4000	A-D
44	H246	19 S	374958	8285497	1	1.05	3.80	2.80	3.65	2.00	8.00	3.00	0.57	1.70	0.06	0.00	2.34	1	1	5000	S-O
45	H251	19 S	375068	8285467	1	1.10	3.65	2.50	3.50	2.00	8.00	3.00	0.86	1.13	0.05	0.01	2.04	1	1	4000	E-M
46	H257	19 S	372948	8282424	1	1.03	3.50	2.90	3.80	2.00	8.00	8.00	0.57	1.13	0.03	0.00	1.74	1	1	4000	J-S
47	H262	19 S	373145	8282797	1	1.50	3.80	3.00	3.50	2.00	8.00	3.00	0.71	1.51	0.02	0.01	2.25	1	2	4300	N-D
48	H268	19 S	373019	8283151	1	1.01	3.50	3.22	4.20	2.00	8.00	3.00	0.71	1.70	0.08	0.00	2.50	1	1	4000	A-D
49	H273	19 S	373005	8283371	1	1.00	3.60	2.70	3.80	2.00	8.00	3.00	0.57	1.51	0.00	0.01	2.09	1	1	4000	A-D
50	H279	19 S	375077	8285181	1	0.80	4.01	2.50	3.50	2.00	8.00	4.00	0.71	1.13	0.02	0.00	1.86	1	1	4000	S-O
51	H285	19 S	375146	8285462	1	1.50	3.50	2.45	4.00	2.00	8.00	3.00	0.86	1.70	0.00	0.00	2.56	1	1	4200	N-D
52	H290	19 S	374951	8285383	1	1.10	3.64	2.80	3.00	2.00	8.00	7.00	0.43	1.51	0.02	0.00	1.96	1	1	4000	J-S
53	H296	19 S	374985	8285074	1	1.10	3.38	2.50	3.00	2.00	8.00	3.00	0.57	1.13	0.02	0.00	1.72	1	1	4000	A-D
54	H301	19 S	372811	8282119	1	1.00	4.20	2.65	3.60	2.00	8.00	3.00	0.86	1.70	0.00	0.00	2.56	1	2	4000	N-D
55	H307	19 S	373241	8281831	1	0.96	3.50	2.83	3.50	2.00	8.00	3.00	0.71	1.13	0.00	0.00	1.85	1	1	4200	A-D
56	H312	19 S	373077	8281646	1	1.00	3.70	2.50	3.86	2.00	8.00	3.00	0.71	1.13	0.02	0.01	1.87	1	1	4000	A-D

## ANEXO 9: Panel Fotográfico

### Geolocalización de hornos ladrilleros



**Foto 1** Reconocimiento de campo



**Foto 2** Geolocalización de hornos ladrilleros



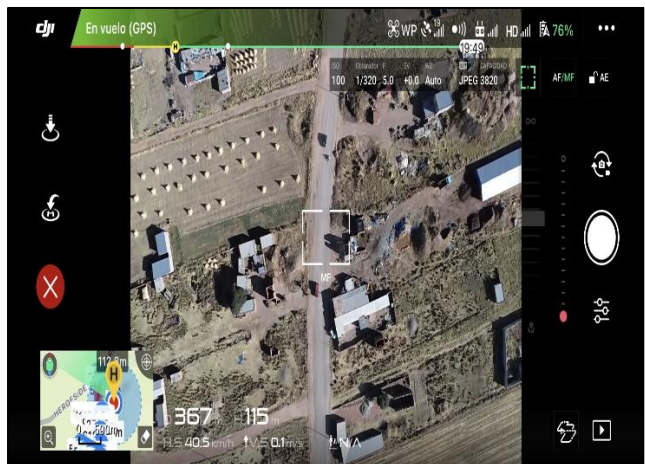
**Foto 3** Registro de puntos



**Foto 4** Geolocalización de hornos ladrilleros



**Foto 5** Disposición de Drone – UNAJ



**Foto 6** Toma de fotografías aéreas

*Aplicación de encuestas*



*Foto 7 Aplicación de encuesta*



*Foto 8 Aplicación de encuesta*



*Foto 9 Aplicación de encuesta*



*Foto 10 Aplicación de encuesta*



*Foto 11 Aplicación de encuesta*



*Foto 12 Aplicación de encuesta*

*Aplicación de testo*



*Foto 13 Acondicionamiento para el monitoreo*



*Foto 14 Configuración del testo*



*Foto 15 Medición de los contaminantes*



*Foto 16 Medición de temperatura*



*Foto 17 Medición de los contaminantes*



*Foto 18 Verificación en campo GICA*

*Uso de combustible*



*Foto 19 Registro del tipo de combustible*



*Foto 20 Foco de emisión*



*Foto 21 Inserción de combustible*



*Foto 22 Quema de neumáticos*



*Foto 23 Pesaje de serrín y estierco*



*Foto 24 Pesaje de neumáticos*

ANEXO 10: Certificado de calibración del analizador de gases TESTO 350



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 053**



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Calibración  
Acreditado

Registro N° LC - 053

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**PL - QU232 - 24 - 11**

*Página 1 de 4*

1. **SOLICITANTE** : E & L ENVIRONMENTAL CONSULTING SERVICES S.R.L.
2. **DIRECCIÓN DEL CLIENTE** : CAL. ZELA NRO. 603A Arequipa - Arequipa - Yanahuara
3. **DATOS DEL EQUIPO:**

<b>INSTRUMENTO</b>	: Analizador de gases de combustión	<b>SERIE</b>	: 61300996
<b>MARCA</b>	: Testo SE & Co. KGaA	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	: EL/AGC/01 (*)
<b>MODELO</b>	: Testo 350	<b>PROCEDENCIA</b>	: Alemania

**DATOS DE LOS SENSORES:**

Sensor	Intervalo de indicación (**)	Resolución
CO <sub>2</sub>	0 % hasta 50 %	0,01 %
NO	0 ppm hasta 4000 ppm	1 ppm
NO <sub>2</sub>	0 ppm hasta 5000 ppm	0,1 ppm
SO <sub>2</sub>	0 ppm hasta 5000 ppm	1 ppm
H <sub>2</sub> S	0 ppm hasta 300 ppm	0,1 ppm
CO	0 ppm hasta 10000 ppm	1 ppm
4. **LUGAR DE CALIBRACIÓN** : Laboratorio de Química de Paz Laboratorios S.R.L.
5. **FECHA DE CALIBRACIÓN** : 2024-11-09
6. **ORDEN DE TRABAJO** : 72934
7. **ACLARACIONES DEL CERTIFICADO:**

Este certificado de calibración es trazable a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo al Sistema Internacional de unidades (SI).

Los resultados reportados son válidos solo para el equipo de medición en las condiciones y momento en que se realizó la calibración. El solicitante y/o usuario es responsable de definir el periodo de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva y exactitud de medición.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido de manera completa. Los extractos o modificaciones requerirán la autorización explícita de PAZ LABORATORIOS S.R.L.

Certificado sin firma digital carece de validez.

Arequipa, 11 de noviembre de 2024

Signatario autorizado:



SONCCO OCAHUI AMANDA ALLISON  
PAZ LABORATORIOS S.R.L.  
SUPERVISOR DE LABORATORIO  
metrologia1@pazlaboratorios.com  
Fecha: 11/11/2024 15:53



*PL-LCA-FOR-32 v01*

Oficina: Calle Oscar Benavides N° 602, Yanahuara - Arequipa  
 Celular: 953 766 470 | 959 010 230 | 950 780 507  
 Email: servicioalcliente@pazlaboratorios.com  
 www.pazlaboratorios.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**PL - QU232 - 24 - 11**

Página 2 de 4

**8. PROCEDIMIENTO UTILIZADO:**

QU-012 PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE GAS DE UNO O MÁS COMPONENTES, EDICIÓN 1, CEM. VALIDADO (MODIFICADO Y APLICADO FUERA DEL ALCANCE)

**9. PATRONES DE REFERENCIA UTILIZADOS:**

TRAZABILIDAD	MATERIAL DE REFERENCIA	N° CERTIFICADO
Este gas patrón es trazable a los patrones de referencia de AIRGAS	Gas patrón de CO con incertidumbre de 0,6%	122-402657845-1
Este gas patrón es trazable a los patrones de referencia de AIRGAS	Gas patrón de H <sub>2</sub> S con incertidumbre de 1,4%	122-402657844-1
Este gas patrón es trazable a los patrones de referencia de AIRGAS	Gas patrón de NO con incertidumbre de 1,4%	122-402657846-1
Este gas patrón es trazable a los patrones de referencia de AIRGAS	Gas patrón de SO <sub>2</sub> con incertidumbre de 0,9%	122-402657843-1
Este gas patrón es trazable a los patrones de referencia de AIRGAS	Gas patrón de CO: con incertidumbre de 0,7%	122-402746043-1
Este gas patrón es trazable a los patrones de referencia de AIRGAS	Gas patrón de NO <sub>2</sub> con incertidumbre de 1,8%	122-402783220-1

**10. PATRONES AUXILIARES:**

Cronómetro con certificado: CLC-0955-003-24 trazable a ELICROM

**11. CONDICIONES AMBIENTALES:**

	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%HR)	Presión (mbar)
Inicial	20,43	42,5	766,0
Final	21,78	31,0	766,0

Para el registro de las condiciones ambientales se usó un termohigrómetro con certificado PL-TH160-24-7 y un barómetro con certificado de calibración PL-FP082-24-7

**12. OBSERVACIONES:**

La incertidumbre expandida de medición reportada es la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura  $k=2$  de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.

La incertidumbre expandida declarada en el presente certificado ha sido estimada siguiendo: "QU-012, Procedimiento para la calibración de detectores de gas de uno o más componentes" y "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.

Se colocó en el equipo la etiqueta de calibración de Paz Laboratorios S.R.L. identificada con N° 01969

(\*) Información proporcionada por el cliente.

(\*\*) Información tomada del manual del equipo.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**PL - QU232 - 24 - 11**

Página 3 de 4

**13. DATOS DEL AJUSTE:**

Sensor	Valor Certificado	Lectura del instrumento	
		Antes del ajuste	Después del ajuste
SO <sub>2</sub>	50,35 ppm	47	51
CO	2520 ppm	2049	2278
NO	49,95 ppm	40	51
NO <sub>2</sub>	48,46 ppm	37,2	49,9

**14. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN:**

**CO<sub>2</sub>**

Valor Certificado (%)	Lectura del instrumento (%)	Corrección (%)	Incertidumbre (%)
0,00	0,00	0,00	0,02 (*)
14,90	13,93	0,97	0,11 (*)

**SO<sub>2</sub>**

Valor Certificado (µmol/mol)	Lectura del instrumento (µmol/mol)	Corrección (µmol/mol)	Incertidumbre (µmol/mol)
0,00	0	0	1 (*)
50,35	51	-1	1

**H<sub>2</sub>S**

Valor Certificado (µmol/mol)	Lectura del instrumento (µmol/mol)	Corrección (µmol/mol)	Incertidumbre (µmol/mol)
0,00	0,0	0,0	0,1 (*)
25,32	25,1	0,2	0,4

**CO**

Valor Certificado (µmol/mol)	Lectura del instrumento (µmol/mol)	Corrección (µmol/mol)	Incertidumbre (µmol/mol)
0	0	0	1 (*)
2520	2278	242	22

**NO**

Valor Certificado (µmol/mol)	Lectura del instrumento (µmol/mol)	Corrección (µmol/mol)	Incertidumbre (µmol/mol)
0,00	0	0	1 (*)
49,95	51	-1	1

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

## ANEXO 11: Licencia de software AERMOD View



### Thank You for Your Recent Purchase!

Dear Jose Luis Pineda Tapia,

Thank you for your recent **AERMOD** View software purchase! We hope that you have had a chance to install the software and that you are successfully working on your modeling projects.

Serial #: AER0012970  
Maintenance Expiry Date: 25-Sep-2025

Please take a moment to review the list of modeling resources below to help you make the most out of your software.

We pride ourselves in providing exceptional customer service and technical support. Our team looks forward to working with you!

If you have any questions or concerns, please contact us at [support@webLakes.com](mailto:support@webLakes.com)

Thank You!

Lakes Environmental Software



### World Class Air Modeling Resources



Lakes Environmental Software

This email was sent to you by [info@weblakes.com](mailto:info@weblakes.com) because you are a user of **AERMOD** View.

Lakes Environmental Software | 1-170 Columbia St. W. Waterloo, ON N2L 3L3 Canada | [Privacy Policy](#)

## ANEXO 12: Licencia de software Arcgis Pro



### ACTA DE ENTREGA DE LICENCIA Y/O SUSCRIPCIÓN

<b>Nombre de la Institución</b>	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA</b>
Dirección	Nueva Zelandia 631, Juliaca, Puno
Contacto 1	Vicepresidencia De Investigación Señor José Luis Pineda Tapia Teléfono: 979416465 <a href="mailto:jpineda@unaj.edu.pe">jpineda@unaj.edu.pe</a>
Contacto 2	Vicepresidencia De Investigación Señor José Luis Pineda Tapia Teléfono: 979416465 <a href="mailto:jpineda@unaj.edu.pe">jpineda@unaj.edu.pe</a>
Orden de Compra / Servicio / Contrato N°	- Suscripción
Fecha de inicio de suscripción	02 de octubre de 2024
<p><b>Nota Importante:</b> Pasados 10 días hábiles desde la entrega de Códigos y el cliente no ha cumplido con descargar y probar el producto, se informa que la facturación y/o el pago procederá de forma automática.</p>	
Cliente ESRI N°	566602

Cant.	Nombre	Vers.	Código / ID	Periodo de vigencia al:
01	Acuerdo Académico Departamental Pequeño (5 usuarios), incluye:	11.3	-	01 de octubre de 2025
	ArcGIS GIS Server Advanced		ECP589839492	
	ArcGIS for Desktop Advanced		EFL246338722	
	Esri CityEngine Advanced		EFL667754227	
	ArcGIS LocateXT for ArcGIS Pro		EFL494739642	
	ArcGIS Pro 3D Analyst		EFL573094656	
	ArcGIS Pro Advanced		EFL496874122	
	ArcGIS Pro Data Reviewer		EFL950982576	
	ArcGIS Pro Data Interoperability		EFL371837962	
	ArcGIS Pro Geostatistical Analyst		EFL245355601	
	Image Analyst for Pro		EFL688935140	
	ArcGIS Pro Network Analyst		EFL442564698	
	Publisher for Pro		EFL601652727	
	ArcGIS Pro Spatial Analyst		EFL145146033	
	ArcGIS Pro Workflow Manager		EFL990284402	
	ArcGIS Geostatistical Analyst for DTOP		EFL402624710	
	ArcGIS Data Interoperability for Desktop		EFL507606558	
	ArcGIS Data Interoperability for Server		ECP325729736	
	ArcGIS Workflow Manager for Desktop		EFL351283608	
	ArcGIS LocateXT for ArcGIS Desktop		EFL377920480	
	ArcGIS Network Analyst for Desktop		EFL811865460	

## ANEXO 13: Financiamiento de tesis

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 Coordinador del proyecto e Investigador principal	GANADOR
P6	BIOPELICULAS INTELIGENTES Y ACTIVAS A BASE DE BIOPOLIMEROS CON EXTRACTOS DE COMPUESTOS BIOACTIVOS REFORZADO CON NANOPARTICULAS PARA ENVASES DE ALIMENTOS	Dr. Noe Benjamín Pampa Quispe 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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
"Universidad Pública de Calidad"

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  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 FLORES VELÁSQUEZ  
PRESIDENTE  
COMISIÓN ORGANIZADORA

I-115-0020-2023



DISTRIBUCIÓN  
VFAcad.  
VP de Invest.  
DIA  
COP  
Arch./2023

\*\*\*

Página 2 de 2

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

[www.unaj.edu.pe](http://www.unaj.edu.pe)  
T. E. F. - 0784 00000

UNW