



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE
GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE
OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. KLEVER CANAZA CANAZA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. KLEVER CANAZA CANAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

: 

Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

: 


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

SEGUNDO MIEMBRO

: 

M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

: 

Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1246-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 07 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 9305 presentado por el (la) Bachiller: **KLEVER CANAZA CANAZA** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **KLEVER CANAZA CANAZA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la NOMINACIÓN DE JURADOS integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- * **1er Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO.**

ARTICULO TERCERO . - APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de él (la) bachiller: **KLEVER CANAZA CANAZA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental.** de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 23 de octubre del 2025
- * **HORA** : 15:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIALLENTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Wily Monsani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
Interesado (s)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1016-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 10 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 6041 por el señor (a): **KLEVER CANAZA CANAZA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 762 - 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 047-2025 del integrante del comité de investigación EPISA de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **KLEVER CANAZA CANAZA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación MSc. **Jesús Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 047-2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **KLEVER CANAZA CANAZA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VILLANORTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo
interesado (s)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 502-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 4197, presentado por el señor (a) **KLEVER CANAZA CANAZA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 378 -2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 026-2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **KLEVER CANAZA CANAZA** ha presentado su propuesta de investigación titulada: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 026-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **KLEVER CANAZA CANAZA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema titulada: **MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C.S. PURAS

Dr. OSCAR Y. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



Dr. Félix Víctor Almonacid Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

05.
Archivo 37.25
Interesado (a)



6% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



Metadatos complementarios

Título de la Tesis	
<p align="center">MODELAMIENTO DE COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025</p>	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	KLEVER CANAZA CANAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43282229
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-0044-5425
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02406088
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9858-2464
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821

Datos de investigación	
Línea de investigación	Contaminación y calidad ambiental - P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Roman</p> <p>Coordenadas: Latitud: 15°27'938"S Longitud: 70°34'174"O URL Maps: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1KPGzAqh-sm6zejX_ssfl06k7Y5CrBKs&usp=sharing</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2025 – Octubre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html Librería	<p>Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08</p>



INVESTIGACIÓN "ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS FÍSICAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo KLEVER CANAZA CANAZA, identificado con DNI Nro. 43282249, en mi condición de egresado de:

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

"INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL"

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:
" MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES
CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE
JULIACA, 2025 "

Asesorado por: Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

Es un tema original.

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

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

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

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 11 de NOVIEMBRE del 2025


Firma del Asesor


Firma del Estudiante


Huella



DEDICATORIA

A mi madre. Esta tesis es el resultado del amor, apoyo y sacrificio en mi viaje educativo. Pues sin ella no lo habría logrado. Te quiero con todo mi corazón.

"Y a mi querido padre: Aunque hoy tu luz no nos acompañe físicamente, tu recuerdo y tus enseñanzas son la fuerza que me impulsa a seguir adelante. Tu ausencia me recuerda cada día la riqueza de tu amor y la fortaleza que me inculcaste. Esta meta es también tuya, y siempre estarás en mi corazón.



AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quien me ha guiado y dado fortaleza para seguir adelante.

A mi familia, especialmente a mi madre, le agradezco profundamente su amor incondicional y su apoyo constante. Su fe en mí ha sido el motor que me permitió completar este camino. A mis hermanos, por sus palabras de aliento, gracias por ser mi pilar en los momentos difíciles.

A la Universidad Néstor Cáceres Velásquez, gracias por brindarme la oportunidad de crecer académica y profesionalmente.

A todos, gracias por ser parte de este viaje.



ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.5.1. Hipótesis general	5
1.5.2. Hipótesis específicas	6
1.6. VARIABLES.....	6
1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	7



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 8

 2.1.1. Antecedentes internacionales..... 8

 2.1.2. Antecedentes nacionales..... 10

 2.1.3. Antecedentes locales..... 11

2.2. MARCO TEÓRICO..... 12

 2.2.1. Modelamiento del comportamiento de las emanaciones de gases
 12

 2.2.2. Contaminación del aire 17

2.3. MARCO CONCEPTUAL 20

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN 22

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN..... 22

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN..... 23

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 23

3.5. LUGAR DE ESTUDIO 23

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA 24

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
E INSTRUMENTOS 24

 3.7.1. Técnicas..... 24

 3.7.2. Instrumentos 25

 3.7.3. Equipos y materiales..... 25

3.8. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN 25



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS 28

4.2. DISCUSIÓN..... 52

CONCLUSIONES 55

RECOMENDACIONES 57

BIBLIOGRAFÍA 58

ANEXOS 62



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	7
Tabla 2 Normativa para referencia de gases y su concentración.	35



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de laguna de oxidación en Sector Chilla	24
Figura 2 Modelamiento de Metano (CH ₄) en base a otras variables.	28
Figura 3 Modelamiento de Dióxido de Carbono (CO ₂) en base a otras variables.....	30
Figura 4 Modelamiento de Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) en base a otras variables.....	31
Figura 5 Modelamiento de la temperatura (°C) base a otras variables.....	32
Figura 6 Concentraciones promedio en los 4 puntos medidos (3 días)	35
Figura 7 Comparación de emisiones horarios de CH ₄	36
Figura 8 Comparación de emisiones horarios de dióxido de carbono CO ₂ ..	38
Figura 9 Comparación de emisiones horarios de sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	40
Figura 10 Gráfica de contorno sobre de metano, temperatura y CO ₂	42
Figura 11 Gráfica de contorno sobre de metano, H ₂ S y CO ₂	44
Figura 12 Gráfica de contorno sobre de Temperatura, H ₂ S y CO ₂	46
Figura 13 Gráfica de contorno sobre de Temperatura, H ₂ S y CH ₄	48



RESUMEN

La investigación tiene como objetivo determinar el modelo del comportamiento de emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025. Es importante por ello modelar el comportamiento de emanación de los gases contaminantes, generado en la laguna de oxidación de Juliaca, esto permite comprender la dinámica del espacio tiempo y con ello proponer las estrategias adecuadas para la mitigación basada en datos de medición. Su metodología toma un enfoque cuantitativo, de tipo aplicativo, de nivel explicativo, se hace mediciones de la contaminación por emisión de gases. La población de estudio son las emanaciones de gases en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, la muestra está representada por 3 días de emanación por medio de registro de concentración de gases, humedad relativa, dirección del viento, temperatura. El modelamiento se realizará en software libre R el cual integra modelos de dispersión atmosférica. El modelo permite identificar las zonas críticas de alta concentración de gases, esto en mayor cercanía a ligares de residuos orgánicos, para lo cual se ha demostrado emanaciones de metano y H_2S que incrementan en el periodo de 11 a 14 h y que los vientos suelen dispersar a otros sectores de la ciudad. En conclusión, la laguna de oxidación de Juliaca ha constituido una fuente importante en la contaminación del aire por gases, generando un impacto en el ambiente. El modelo permite prever el comportamiento de estas emanaciones, para lo cual será obtenido de discusión en material ambiental.

Palabras clave: Modelamiento, comportamiento de gases, laguna de oxidación, gases.



ABSTRACT

The research aims to determine the model of the emanation behavior of air polluting gases in the oxidation lagoon of the city of Juliaca, 2025. It is therefore important to model the emanation behavior of polluting gases generated in the Juliaca oxidation lagoon, this allows understanding the dynamics of space time and thereby propose appropriate mitigation strategies based on measurement data. Its methodology takes a quantitative approach, of an applicative type, at an explanatory level, it makes measurements of pollution by gas emissions. The study population is the gas emanations in the oxidation lagoon of the city of Juliaca, the sample is represented by 3 days of emanation by means of recording gas concentration, relative humidity, wind direction, temperature. The modeling will be carried out using free software R, which integrates atmospheric dispersion models. The model allows for the identification of critical areas with high gas concentrations, especially those closest to organic waste sites. Emissions of methane and H₂S have been shown to increase between 11 a.m. and 2 p.m., and winds often disperse them to other areas of the city. In conclusion, the Juliaca oxidation pond has been a significant source of gaseous air pollution, generating an environmental impact. The model allows for the prediction of the behavior of these emissions, and will be included in the environmental discussion.

Keywords: Modeling, gas behavior, oxidation pond, gases.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el tema de contaminación del aire se ha generado por muchos como es el caso de procesos industriales y urbanos lo que ha constituido de los principales problemas que enfrentan las ciudades en vías de desarrollo, las lagunas de oxidación, se han usado con frecuencia para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Esto representa una fuente considerable de emisión de gases, especialmente de compuestos como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), que son un factor de deterioro ambiental además de generar riesgos sanitarios en los habitantes cercanos.

En la ciudad de Juliaca, se cuenta con una laguna de oxidación la cual opera décadas atrás. Pero, pese a su importancia como una adecuada infraestructura de operación y saneamiento, esta ha presentado una alta carga a nivel orgánico, que ha tenido deficiencia en su mantenimiento que se complica por su ubicación cercana a zonas habitadas actualmente, estos factores han favorecido la generación de diversos gases de contaminantes para el aire. A su vez de manera local se ha tenido una limitada comprensión a nivel técnico del comportamiento dinámico espacial de dichas emisiones, lo cual ha generado dificultad en el proceso de planeamiento de toda estrategia efectiva en lo referente a la mitigación ambiental.

Entonces, ante esta problemática, el modelamiento ambiental se sitúa como una herramienta fundamental para la predicción y el análisis de la dispersión de contaminación a nivel atmosférico. Por medio del uso de programas de código abierto y los datos recolectados, es posible por ello generar la presentación a nivel estadístico y visual que permite entender el



comportamiento de estas emanaciones gaseosas, para lo cual se ha identificado las zonas de mayor exposición y con ello sustentar las decisiones y toma de acciones en lo referente a salud y materia ambiental.

Es por ello, que la investigación tiene como fin de determinar el modelo del comportamiento de emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, aplicando para ello técnicas de análisis espacial y el modelamiento matemático. Para lo cual el estudio será de contribución al conocimiento científico a nivel local sobre emisiones de gases y a la vez ser soporte técnico para la formulación de las intervenciones que están orientadas a la protección de aspectos como la calidad de aire y el cuidado de la salud de los habitantes.

La presente investigación se estructura mediante capítulos, los cuales se describen a continuación:

Capítulo I, enfocado en el problemas, objetivos, justificación e hipótesis, variables y su correspondiente tratamiento de dimensiones e indicadores de medición.

Capítulo II, se centra en la parte teórica, la consulta de la literatura, la ampliación de los conceptos y el desarrollo del marco conceptual basado en la investigación.

Capítulo III, se enfoca en la presentación de la metodología de investigación, el cual el procedimiento de realización de la investigación y su alcance.

Capítulo IV, basado en la presentación de los resultados.

Luego se presentan las conclusiones y sus respectivas recomendaciones.

Finalmente se presenta el resumen de referencias y anexos utilizados.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En el contexto de latinoamericano, el proceso de manejo inadecuado que se tiene de las aguas residuales es un problema ambiental frecuente, en especial en áreas urbanas que han tenido un crecimiento acelerado. Las lagunas de oxidación, han sido utilizadas por su bajo costo operativo, y se han encontrado por ello focos de contaminación importantes, en especial en el aire y sobre las emisiones de gases que han sido producidas por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, en especial de metano, sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono, que son los que afectan al cambio actual del clima, así como emisor de contaminación local y genera focos de afectación a la salud. Sin embargo, el impacto ambiental se ha limitado por una cantidad mínima de investigaciones acerca de este tema de emisiones y de la carencia de instrumentos para el modelamiento del comportamiento.

Dentro del contexto peruano, el tratamiento inadecuado de aguas residuales y las deficiencias estructurales de las plantas de saneamiento, especialmente en las regiones del sur, han generado que muchos sistemas convencionales operen en condiciones ineficientes. En diversas ciudades estas infraestructuras no logran manejar adecuadamente las altas cargas



contaminantes lo que favorece procesos anaeróbicos que liberan gases como metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno. A pesar de ello las emisiones gaseosas no forman parte de los monitoreos ambientales rutinarios, lo cual limita la capacidad de las autoridades para evaluar los riesgos asociados y tomar decisiones oportunas sobre control y mitigación.

A nivel de la ciudad de Juliaca, la laguna de oxidación presente en esta ciudad, ha sido objetivo de denuncias debido a la emanación de malos olores, afectación en la salud y emisión de gases, en zonas que están cerca a ella. Pese a estos impactos visibles, no se ha tenido estudios que hayan caracterizado u talvez modelado el comportamiento temporal de estos gases. Tomando así evidencia de una brecha de conocimiento científico y técnico que ha impedido el planteamiento de medidas sostenibles y la formulación de estrategias de mitigación adecuada, esto en especial dentro del contexto de vulneración del medio ambiente como es el caso de la ciudad de Juliaca.

Es así que la investigación permite desarrollar un modelamiento del comportamiento de las emanaciones gaseosas provenientes de la laguna de oxidación presente en la ciudad de Juliaca, por medio del uso de herramientas de monitoreo ambiental y el análisis estadístico. El objetivo por lo tanto permite dar soporte en materia ambiental que sean más eficientes y así generar mejor protección a la salud publica dentro de la zona.



1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es modelo de comportamiento de emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuáles son los principales gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025?

¿Cuál es el nivel de concentración de gases emitidos contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025?

¿Cuáles son las principales medidas de mitigación de la emanación de gases del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Determinar el modelo del comportamiento de emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

1.3.2. Objetivos específicos

Identificar los principales gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

Medir la concentración de gases contaminantes del aire emitidos en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

Proponer las principales medidas de mitigación de la emanación de gases del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025



1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación social se centra en que la laguna de oxidación en la emisión de gases, pueden afectar la calidad del aire de los habitantes que están ubicados en cercanías de la zona. La exposición a este tipo de contaminantes puede generar enfermedades de tipo respiratorio, malestares, dolores de cabeza entre otros, siendo un problema de salud pública, por ello la investigación genera la información con el fin de tener base para la toma de decisiones y con ello exigir las medidas de solución correspondientes.

En lo referido a la contaminación atmosférica afecta en la económica ya que la laguna de oxidación conlleva un costo elevado en salud pública y por ello pérdida del valor en las zonas colindantes a ella, una evaluación de estas emisiones permitirá proponer por ello mejoras de sistemas para el tratamiento, con ello optimizar los recursos económicos que son invertidos en la parte de saneamiento. Por ello la investigación brinda un inicio sostenible para el tratamiento más eficiente y el logro de menos contaminación.

En la parte ambiental, los gases de emanación, como el caso del metano, son potentes contribuidores del efecto invernadero, lo que implica que ello incrementa el cambio climático y a la vez deteriora los sistemas ecológicos a nivel urbano. Entonces a ello el modelamiento del comportamiento de gases permite ver de forma visual la dispersión y la dinámica que tiene, lo que a su vez permite identificar las horas críticas de afectación, y que servirá de insumo para el proceso de implementación de acciones con fines de mitigación a nivel ambiental, esto implica rediseñar el sistema de tratamiento y la reforestación como barrera natural.



En referencia a lo teórico, la investigación permite contribuir al conjunto de conocimientos acerca de la relación entre sistema de tratamiento y la contaminación del aire a nivel local. Por ello se debe de fortalecer el análisis de fenómenos de descomposición anaerobia y el impacto ambiental, lo que genera un aporte a nivel ingeniería y en campos afines, entonces, la investigación se enfoca en la apertura de líneas de estudio sobre el modelamiento de gases.

En lo metodológico, la investigación se centra en aplicación de técnicas como el uso de modelamiento en R Studio, lo que promueve la practica a nivel científico, de tal manera que sean accesibles y replicables. El enfoque no experimental y cuantitativo permite a la ves tratar los resultados con datos reales y elaborar los modelos predictivos para la dispersión, de la misma forma resulta útil para otras investigaciones venideras.

En lo práctico, los estudios de modelamiento pueden se aplicables como técnicas de acción para el sector público, salud, saneamiento, con el fin de implementar las acciones concretas, con ello se debe de rediseñar todo sistema de tratamiento, así como la planificación de zonas segura en lo urbano. La información puede ser usada también para el planeamiento urbano sostenible y para la gestión adecuada de riesgos en materia ambiental.

1.5. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis general

El modelamiento del comportamiento tiene permite describir la emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025



1.5.2. Hipótesis específicas

Los principales gases contaminantes emitidos en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca en 2025 corresponden a metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

La concentración de gases contaminantes emitidos en el aire presenta efectos directos en su comportamiento en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

Las medidas de mitigación tienen efecto directo en la emanación de gases del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

1.6. VARIABLES

Variable independiente

Modelo de modelamiento de gases

Variable dependiente

Contaminación del aire.



1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala
VI: Modelamiento de gases	Generación de gases	Concentración de CH ₄ , NH ₃ , H ₂ S	Rango (ppm o mg/m ³)
	Comportamiento dinámico Factores ambientales Herramientas de modelamiento	Variación horaria o estacional de los gases Temperatura, pH, carga orgánica Software R	Intercalar Numérica continua Categoría nominal
VD: Contaminación del aire	Composición del aire	Niveles de CH ₄ , NH ₃ , H ₂ S en el ambiente	Rango (ppm o mg/m ³)
	Efectos en la salud	Reporte de síntomas respiratorios	Ordinal (leve, moderado...)
	Impacto ambiental Cumplimiento normativo	Olor, visibilidad, afectación vegetal Comparación con LMP (límites máximos permisibles)	Ordinal Categoría dicotómica



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el estudio de Malerba et al. (2022) acerca de las emisiones de metano, tiene como objetivo evaluar la escala continental de las emisiones de metano de fuentes como estantes agrícolas. Su metodología se enfoca en la identificación de los principales focos de producción, se ha cuantificado las emisiones de metano de fuentes agrícolas, luego de ello se han modelado en función de la temperatura, de la misma manera de ha cuantificado la incertidumbre, finalmente se hace la comparación con valores de GEI. Sus resultados han encontrado una media de 204 kg de metano por hectárea durante un año, así como la emisión total de metano, así como la estimación de estudio, siendo estos resultados elevados y de intervención pronta. En conclusión, las emisiones de metanos de los estanques agrícolas se han subestimados, es por ello que se tiene urgencia en la generación de soluciones para la gestión adecuada de estas emisiones, lo cual contribuye al modelamiento en esta tesis.

Del estudio de Vroom et al. (2023) acerca de las emisiones de metano, en el cual se ha tenido el objetivo de cuantificar las magnitudes de las



emisiones de metano, así como evaluar las contribuciones de la ebullición y la investigación de los posibles impulsores, ello aplicado en el contexto de la acuicultura, las cuales emiten Gases de Efecto Invernadero (GEI). Su metodología se enfoca en el análisis de 52 estanques de piscicultura de agua dulce, para ello se ha medido el flujo difusivo de las emisiones de metano, así como la medición de flujo de 33 estanques, el análisis de biogeoquímicos, así como el análisis estadístico. Sus resultados se han mostrado altas en el centro, así como la producción de metano como gas contaminante se logró modelar su sedimento, también se tiene subestimación de emisión. La conclusión de esta investigación es que el dominio de la ebullición de metano esta muy extendida dentro de los estanques de acuicultura, así como niveles alto de huella de Carbono, teniendo valores medianos de 85% que son superiores a 42 y 77%.

En la investigación de Zhuang et al. (2023) en el cual se ha tenido el objetivo de reducir el nivel de incertidumbre de las estimaciones acerca de las emisiones de metanos y otros gases, ello con el fin de examinar el impacto del calentamiento global. La metodología contribuye al modelamiento como parte de la verificación y calibración de modelo biogeoquímico para el análisis de 60 lagos. Los resultados han destacado que las emisiones de metano en reservorios y lagos han sido altos, así de las proyecciones se han incrementado las emisiones de valores de 58% a 86%. En conclusión, se han tenido proyecciones del incremento de las emisiones de metano, así como el calentamiento global.

En la investigación realizada por Lambiasi et al. (2024) en el cual su objetivo es evaluar la emisión de metano en estanques agrícolas, ello



enfocado en el estudio de inventarios de gases de GEI. La metodología se centra en la identificación de fuentes de emisión de metano, ello generando un total de 286 registros. Ello se ha genera un modelo para ajuste de las emisiones en función de la temperatura y con ello realizar las correcciones de flujo de metano. Los resultados se han identificado la emisión de 204 kg de metano por hectárea y por año, ello enfocado en una temperatura media de 15°C, esto valores estimados para estanques. En conclusión, se ha analizado bastantes cuerpos de agua que pueden emitir metano, lo cual genera una necesidad de desarrollar la gestión de emisiones que pueden reducir el impacto ambiental.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Terry et al. (2020) en su investigación realizada en Lima acerca del modelo matemático de producción de gas metano en base a ecuaciones de tiempo continuo. Su metodología de enfoque cuantitativo se basa en ensayos de causa efecto entre las variables dependiente para este caso toma la variación de concentración en función del tiempo y la temperatura. Su muestra se bajo en una probabilista de 22 litros. El proceso consta de adicionar el inocular, luego verificar la temperatura del equipo, incluir la vinaza y la fermentación. El proceso de modelamiento es uno físico incorporando el caudal de ingreso y concentración de vinaza dentro del biorreactor y como salida el biogás generado. En conclusión, se ha definido el modelo cinético para el modelamiento del comportamiento de factores dentro del proceso biodegradable ello tomando tiempo y temperatura.

Guerrero y Jibaja,(2019) en su estudio realizado en Cajamarca su objetivo es evaluar el valor de eficiencia para la remoción de carga

contaminante, para ello se ha analizado las variaciones semanales y diarias de la laguna, su metodología se enfoca en la recolección de muestras tomando en consideración variables como temperatura y otros. Sus resultados de tratamiento han removido

2.1.3. Antecedentes locales

Chura (2019) en su estudio desarrollo en Puno acerca del modelamiento matemático de gases en botaderos, ello incluyendo al meano, ha tenido como objetivo la caracterización físico química de estos gases, su metodología se baja en la extracción de muestra para su experimentación y realización de regresión de lo observado. Sus resultados han determinado que los factores experimentales del modelo, identifican gases como el CO₂ y metano, con el fin de reducir su nivel de concentración. En conclusión el modelo matemático fue validado para la predicción del comportamiento de las emisiones, con los cuales establecer las medidas correspondientes para su remediación, ello influenciado en las condiciones meteorológicas como la temperatura y el comportamiento cinético de los gases.

Quispe (2024) ha estudiado en Sandía – puno, sobre las emisiones de gas metano en botaderos de Sandía, para la cual ha tenido como objetivo determinar el sistema de emisión de metano con el fin de modelarlos de forma espacial en producción y concentración. Su metodología se centra en mediciones de metano por medio de detectores portátiles aplicado en puntos estratégicos, ello implica el registro de las variables ambientales, así como el uso de SIG para el modelamiento y la correlación de factores locales. Los resultados lograron desarrollar un mapa de distribución de metano y con ello identificar las mayores concentraciones y zonificar la carga orgánica, en este



proceso identificar las variaciones espaciales, así como la forma de relacionarse con la temperatura local y el microclima. En conclusión, se ha identificado la presencia importante de gases como metano, para lo cual se debe de priorizar toda emisión de las acciones de mitigación dentro de los puntos de mas concentración, ello tomando en consideración la temperatura.

Ojeda (2019) en su estudio en Puno, tiene como objetivo la caracterización de las emisiones de gas con fines de reaprovecharlos, su metodología se basa en el muestreo y la caracterización, para ello realiza un análisis de varios factores incluyendo la temperatura, el metano y su concentración se estiman en base a la función de contenido sólido volátil biodegradable, ello enfocado en factores como la temperatura del agua y del entorno. Sus resultados han estimado una alta concentración de carga orgánica, así como la influencia de temperatura del agua, la producción de gas se realiza entre 10 a 14°C, se ha determinado problemas de acumulación de lodos, formación de áreas anaerobias que a la vez producen metano. En conclusión, la laguna de oxidación tiene un alto potencial de generación de biogás, la producción de metano está ligado a la temperatura, que es un factor de control para su procesamiento.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Modelamiento del comportamiento de las emanaciones de gases

Comportamiento de gases

La dispersión de contaminantes en la atmosfera son en su naturaleza fenómenos complejo que son influenciado por múltiples procesos químicos y físicos provenientes de la atmosfera (Parada et al., 2023)



Estos factores con comúnmente parámetros meteorológicos, ya que la atmósfera es un medio en el cual se liberan enormes cantidades de contaminantes y mucho de ellos se dispersan con mayor facilidad debido a estos parámetros meteorológicos, siendo comúnmente los siguientes:

- La magnitud, persistencia y dirección del viento, este tiene la capacidad de diluir los contaminantes y a la vez transportarlos. Es importante especificar que las condiciones de calma no generan su dispersión. Por lo tanto, la velocidad del viento tiende a incrementar con la altura y ello genera la dispersión aun más de emisiones dentro de la atmósfera (Vidal & Pérez, 2018).
- En lo referente a la temperatura y la presión, este juega un rol importante con la densidad, lo que determina así a la presión, dicho efecto tiene efecto directo en el comportamiento de gases (Araneda, 2024).
- En lo referente a la humedad y la pluviosidad, lo cual se refleja en la humectación de partículas, las cuales caen al suelo, es así que la lluvia hace el rol de removedor de contaminantes (Guerrero & Jibaja, 2019).
- Otro factor importante es la radiación solar, lo que implica que la formación de ozono se produzca y con ello permite la reacción de vapores a nivel orgánica, como el caso de óxidos de nitrógeno (Quispe, 2024).
- Se da por ello la turbulencia, que es el fenómeno enfocado en la mezcla y la dispersión de diversos contaminantes, generándose a escala media, en el cual las fluctuaciones de cada movimiento de las masas de aire que están se tornan como remolinos (Chura, 2019).



Estabilidad atmosférica.

En el caso de estabilización atmosférica se enfoca en el movimiento de tipo vertical en el cual el aire es inhibido o se genera por favorecimiento de las diferencias en la parte termina, debido al cuerpo de aire y su alrededor. Siendo ello importante para la dispersión de los contaminantes (Vidal & Pérez, 2018). Se producen algunas condiciones bajo este concepto, los cuales se detallan a continuación:

- Condiciones estables, en el cual los movimientos verticales se suelen inhibir, con ello se trapa el aire frío que se tiene en la superficie bajo una ligera capa cálida de aire, lo cual se conoce como inversión térmica. Este fenómeno impide la circulación vertical lo que incrementa el nivel de concentración de los contaminantes (Muñoz et al., 2021).
- Otro aspecto son las condiciones inestables, lo cual implica el movimiento permanente, esto a la vez promueve un mezclado significativo en el sentido vertical.
- Finalmente, se tiene las condiciones neutras, lo que se enfoca en el favorecimiento neutral, no se produce movimiento vertical. Se centra en categorías como la estabilidad, lo cual se usa para la estimación de diversos parámetros de dispersión

Otro aspecto, es la altura de la capa de mezcla, lo que se representa en la troposfera en el cual se produce un mezclado vertical de contaminantes. Por ello una capa más profunda se centra en un mayor índice de volumen de aire que está disponible para lo referente a la dilución. Los valores bajos que son menores a 1 500 metros suelen asociarse con episodios extensos de lo referente a la contaminación en el centro urbano (Rojas & Guerra, 2022).



A ello se suma, la influencia de la topografía, en el cual se centra el relieve, tiene impacto en la dispersión de los contaminantes, a ello se suma los accidentes geográficos que debido a la altura suelen reducir el nivel de concentración atmosférica de cada contaminante en lo referente al comportamiento en simples terrenos.

Herramientas para el modelamiento de la calidad de aire.

El modelamiento de la calidad de aire es utilizado bajo técnicas de la matemática y los estudios numéricos que permiten simular los procesos químicos y físicos y ello puede afectarse por la contaminación, lo que se centra en la predicción y concentración, para lo cual se debe de identificar el diseño y las fuentes de estrategias de control (Ordoñez & Gonzales, 2023).

La clasificación de los modelos de calidad del aire, se centran en los modelos de diseño que permiten clasificar bajo criterios como:

- Modelos físicos y matemáticos, los primeros se bajan en laboratorio y los últimos se centran en el mecanismo de dispersión, por medio de ecuaciones.
- Modelos determinísticos, lo cual tiene que ver con la estadística, en el se enfoca las descripciones matemáticas basado en proceso atmosféricos, y los estadísticos usan relaciones con datos de las emisiones, la concentración y la meteorología, pero son de alto requerimiento a nivel computacional para realizar las predicciones en el menor tiempo posible.

Modelamiento de gases.

El proceso de modelamiento de gases se enfoca en el parte de presentación matemática y computacional para el comportamiento y sobre la distribución de gases que han contaminado esto emitido en el lugar (Massolo,



2022). Esta herramienta permite a la vez establecer las predicciones de concentración, a la vez identificar los patrones necesarios para la toma de decisiones que sean basados en información de la gestión ambiental (Ojeda, 2019).

La generación de gases en especial de contaminantes del sistema como es el caso de lagunas de oxidación son generados por actividad anaerobia de todo material orgánico. Los gases que se identifican con mayor frecuencia se tiene el metano, el sulfuro de hidrogeno y el dióxido de carbono, siendo estas emisiones que están influenciadas por todo tipo de factor que están en la carga orgánica, así como el nivel de oxígeno disuelto y temperatura (Vidal & Pérez, 2018).

Entonces, se pueden determinar el comportamiento dinámico que se tiene de los gases y referente a las variaciones temporales y sobre el espacio de concentración en el aire. Todas estas variaciones pueden considerarse según el horario, el clima y la estación y por ello se pueden identificar los momentos críticos y los picos de emisión de estos gases. El análisis por ello es dinámico por fines de tener prevención de sus impactos y la proposición de medidas de control (Garavito et al., 2022).

Factores ambientales, lo cual se centra en cambios de temperatura, la carga orgánica o el pH que son importantes para la formación y sobre todo la liberación de gases que son contaminantes. Para ello se ha centrado en aspectos como la temperatura elevada que pueden elevar en mucho la actividad bacteriana, además de la producción de gases como el caso de metano. Para ello la carga orgánica es altamente favorable en la producción tanto de gases dentro de procesos anaeróbicos.



2.2.2. Contaminación del aire

La contaminación del aire ha sido y es un problema ambiental de preocupación constante y en los últimos tiempos de incremento, lo cual se centran en el impacto significativo de ecosistemas y de la salud humana. El estudio de este tipo de procesos se centra en los contaminantes emitidos bajo la atmosfera para ello se usan modelos numéricos que permiten la simulación de los fenómenos químicos como físico de este tipo de contaminantes (Vidal & Pérez, 2018). Todo este modelo de herramientas es importante para la toma de decisiones de las autoridades que están centradas en el control y monitoreo de la contaminación atmosférica, lo que permite identificar el origen de toda contribución, a la vez, evaluar el impacto de la calidad de aire en las regiones y luego con ello diseñar los medios estratégicos acerca de la prevención y el control estratégico (Martínez et al., s. f.).

El modelamiento será un complemento del monitoreo de contaminantes en la atmosfera, que suple parte de las deficiencias en las mediciones de campo esto enfocado en la resolución temporal y espacial, es importante considera los procesos de mantenimiento y la inversión requerida (Araneda, 2024).

La contaminación del aire se centra en aspectos como la composición de aire y las escalas de contaminación que se pueden producirse.

La composición del aire, en el cual se ha compuesto por oxígeno en un 20.96% y nitrógeno en un 78.09% y otros gases como complemento, a ello se enfoca las variables de vapor de agua. Las actividades del ser humano han alterado el ambiente y su equilibrio en su composición.



Fuentes de contaminación del aire

Dentro de las fuentes de contaminación se pueden clasificar de origen natural como artificial.

- Los de origen natural, se debe a las emisiones de volcanes, polvos arrastrado por el viento, los incendios forestales, así como la presencia de bacterias, esporas de plantas y demás. Lo que implica que la descomposición de materias orgánica, siendo el más común la de metano (Vidal & Pérez, 2018).
- En cuanto a las fuentes artificiales, siendo estos productos de las actividades del ser humano, en ellas se pueden distinguir dos aspectos uno de ellos de naturaleza fija, como el caso de generación de energía, actividades de industrial, residenciales y comerciales, las cuales se deben a la mayor dispersión y el transporte de contaminantes. También se tiene planta de tratamiento de aguas residuales siendo un agente importante en la contaminación del aire.

Estas están provenientes de chimeneas industriales y en lo referente a industrias y servicios de pequeña escala como las pollerías, grifos o panaderías (Massolo, 2022).

Mientras que las fuentes móviles, son producto del parque automotor y del tránsito. En otras actividades, se tiene la parte fugitivas, como emisiones que no han sido canalizadas, las quemas de residuos y las lagunas de oxidación, cuya actividad se centra en e tratamiento de aguas domésticas. Se genera olores debido a actividades de descomposición de materias de tipo orgánica.



Generación de gases en lagunas de oxidación

Las Lagunas de oxidación son sistema de tratamiento de aguas residuales que son utilizadas para proceso biológicos que permiten la descomposición de materias orgánicas, son sistema de fácil operación y de bajo costos, en el cual la materia orgánica produce gases como metano y CO₂ por proceso anaeróbicos (Detweiler et al., 2014).

Las lagunas de oxidación generan gases de efecto invernadero (GEI) ello en mayor frecuencia dióxido de carbono y metano, debido a la acción de descomposición anaeróbica ello aplicado a las materia orgánica, sobre la emisión de gases se han evidenciado diversos factores, ello incluyendo a la carga orgánico, la temperatura y los diversos factores medioambientales (Cotovicz et al., 2021).

En lo referente a los factores que tiene efecto en las emisiones de gases se tiene: La temperatura de metano ello tiene a que a mayores índices de temperatura en el verano se acelera la actividad microbiana, así como la carga orgánica que está relacionada con la emisiones de metano, de la misma forma se tiene influencia del viento que puede influencia en la emisión de metano (Leytem et al., 2017).

La oxidación de metano ha sido un proceso importante para la reducción de las emisiones de este gas en ambientes acuáticos, ello adicionando las carga de nitrógeno, en el cual se estimula la oxidación de metano por la sedimentación de las lagunas, lo que implica que es un factor limitante para el crecimiento de bacterias oxidantes en el metano (Enrich-Prast et al., 2022).



Las lagunas de oxidación son fuentes importante de GEI, ello en ecosistema costero que tiene alta contaminación, debido a que las emisiones de dióxido de carbono y metano provenientes de lagunas han sido de aporte al calentamiento global, para ello se debe de implementar tecnologías de tratamiento como el caso de oxidación aeróbica, útil para la reducción de las emisiones de GEI (Cotovicz et al., 2021).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Adsorción

Se debe a unión de las sustancias a la superficie de otra medida por las partes físicas y químicas (Chura, 2019).

Aerosoles

Conjunto de particular líquidas o sólidas dispersas en el aire (Massolo, 2022).

Balance de masa

Principio fundamental enfocado en la conservación de materia dentro de un mismo sistema (Garavito et al., 2022).

COV

Compuestos orgánicos volátiles, que se encuentran en estado gaseoso y son altamente volátiles en temperatura ambiente, estos pueden ser liberados por productos doméstico o por procesos de combustión (Guerrero & Jibaja, 2019)

Dispersión

Proceso en el que el contaminante se traslada de sitios alejados desde el origen de su emisión (Ordoñez & Gonzales, 2023).



ECA

Nivel más alto permitido como contaminante en el aire con fines de proteger el ambiente y la salud (Vidal & Pérez, 2018)

GEI

Gases de efecto invernadero, el cual se concentra con el calentamiento de la corteza terrestre, los más comunes con el dióxido de carbono, metano y óxidos nitrógeno (Guerrero & Jibaja, 2019).

LMP

Límite máximo permisible, el cual se centra como valor de concentración de cada contaminante bajo la emisión, puede ser superado y con ello generar daño (Vidal & Pérez, 2018).

Modelamiento

Todo proceso que permite la aplicación de conocimiento fundamental con el fin de simular y describir el funcionamiento del sistema real, esto centrado en la atmosfera (Chura, 2019).

Monitoreo atmosférico

Técnica que permite realizar la muestra, el análisis y el procesamiento continuo de las concentraciones de contaminantes dentro del aire (Ojeda, 2019).

Material particulado

Toda partícula líquida y sólida que están suspendidas en el aire. Se pueden clasificar en función del tamaño PM_{2.5} y PM₁₀ (Lambiasi et al., 2024).

Sobreevaluación dentro de la pluma

Toda elevación de una pluma que contiene contaminantes por encima del punto de descarga debido al momento y la fuerza boyante (Garavito et al., 2022).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Sobre el enfoque cuantitativo se basa en la recolección y el análisis de información numérica para el estudio de fenómenos tanto naturales y sociales, basados en las mediciones, la objetividad y el análisis estadístico (Sciberras & Dingli, 2023). El estudio se centra en el modelamiento de la regresión de metano en base a otros factores como la temperatura, CO₂ y otros para establecer las relaciones cuantificables entre los factores, ello para facilitar la comprensión ambiental ello afecta las emisiones de gases de efecto invernadero.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es aplicada, ya que permite resolver problemas específicos, con el uso de conocimiento ya existente a fin de desarrollar nuevas soluciones, es aplicación de principios dentro de contexto o situaciones reales (Chiroma & Abawjy, 2023). Para el caso de estudio el fin es reconocer las estrategias de mitigación para la gestión de las emisiones de metano.



3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es explicativo en el cual se busca identificar las causas en el efecto, lo que explica para la relación entre las variables (Chiroma & Abawjy, 2023). Por ello el nivel de investigación es explicativa se explica el efecto entre las variables, como la producción de GEI en función de la temperatura y sus interrelaciones respectivas.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño no experimental implica la no manipulación de las variables si no solo de la observación de los fenómenos y su ocurrencia dentro del contexto natural (Chiroma & Abawjy, 2023). Para el caso de estudio no se tiene manipulación de la temperatura ni de las emisiones de gases de GEI, se mide los indicadores y factores y se hace un modelo matemático de regresión.

3.5. LUGAR DE ESTUDIO

Región: Puno.

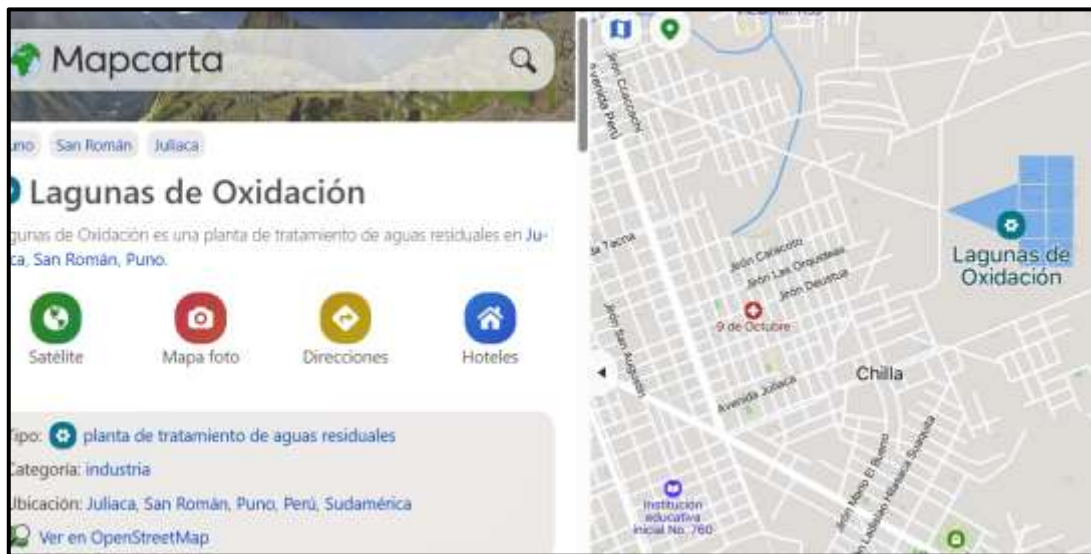
Provincia: San Román

Ciudad: Juliaca

Lugar: Laguna de oxidación de aguas residuales, ubicado en el sector Chilla.

Figura 1

Ubicación de laguna de oxidación en Sector Chilla



Nota: Map carta

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

El conjunto de análisis comprende a la emanación de gases de la laguna de oxidación, ubicada en la provincia de San Román.

Muestra

La muestra se ha centrado en el estudio de 3 días de las cantidades de emanación de gases como el dióxido de carbono, metano y otros, en cada hora.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS E INSTRUMENTOS

3.7.1. Técnicas

Las técnicas utilizadas son:

- La observación directa
- La medición de concentración de gases



- La revisión documental
- La simulación o del modelamiento

3.7.2. Instrumentos

Sus técnicas correspondientes son:

- La ficha de observación
- Fichas de análisis normativo
- Software R para el modelamiento estadístico y de dispersión

3.7.3. Equipos y materiales

Los equipos utilizados son:

- Detectores multigas portátil (para H₂S y CO₂ Dräger X-am 5600, metano con su sensor infrarrojo Dual IR Ex/CO₂ES, IR Ex ES, para H₂S con sensor electroquímico XXS H₂S LC y HC)
- Software R
- Laptop.
- Materiales de campo, EPP. Formularios, etc.

3.8. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

En lo referente a los procedimientos para realizar la investigación

- Revisión y diagnóstico inicial, en el cual se hace la revisión de los estudios anteriores y sobre la normativa. Para ello se hace la visita a la laguna de oxidación con el fin de establecer los 4 puntos de medición.
- La instalación y calibración de equipos, se hace por medio de los sensores y meteorología, así como la calibración de la ficha técnica de estos equipos.



- La recolección de datos, se hace por medio de registro periódico, la toma de muestra de temperatura, cada hora, de la cual se analizan los datos de gases como el metano, dióxido de carbono y H₂S.
- El proceso de análisis se hace por modelamiento para ello se aplica el modelo de software R, así como el análisis de correlación de niveles de gases y las condiciones ambientales.
- La validación se hace por comparación de cada resultado en el cual se obtiene los datos de límite máximos permisibles dentro de la normativa nacional.
- Luego se establecen las propuestas de mejora enfocadas en el mapeo de calor o la elaboración de gráficas con fines de formular las estrategias preventivas, correctivas y mitigadoras.

La determinación e identificación de los gases contaminantes.

La identificación de los gases CH₄, CO₂ y H₂S se realizó mediante detectores portátiles de lectura directa, calibrados según especificaciones del fabricante antes de cada jornada. La medición se tomó a 1.5 m de altura, registrando valores cada hora. Este procedimiento permitió determinar de forma técnica y cuantificable la presencia y concentración de cada gas.

Las concentraciones de metano y los demás gases se han determinado por medio de la combinación de mediciones de campo por parte del laboratorio que figura en Anexo, en el cual se emplean las cámaras de flujo por tiempo y procedimientos de análisis propios de laboratorio. También a la disponibilidad de equipos medidores de estos gases con los que cuenta el laboratorio solicitado.



Además, estos gases como metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno se justifican porque son indicadores críticos para el análisis de desempeño ambiental ello implica su contexto de uso en industria y sistema biológicos, específicamente hablando de lagunas de oxidación, plantas y proceso de tratamiento.

Otro factor para la identificación de gases es que el metano es 28 veces más potente que el CO₂ como GEI, propios de lagunas de oxidación, sulfuro de hidrogeno propio de actividad anaerobia y de impacto odorífero.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Con respecto al objetivo general:

Determinar el modelo del comportamiento de emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

Para el metano:

Figura 2

Modelamiento de Metano (CH₄) en base a otras variables.

Análisis de regresión: CH₄_ppm vs. Temperatura_C; CO₂_%; H₂S_ppm

La ecuación de regresión es

$$\text{CH}_4\text{ ppm} = 2.84 + 0.0381 \text{ Temperatura}_C + 0.78 \text{ CO}_2\% + 1.5 \text{ H}_2\text{S ppm}$$

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	2.8359	0.2241	12.65	0.000
Temperatura_C	0.03814	0.01319	2.89	0.004
CO ₂ _%	0.778	3.605	0.22	0.829
H ₂ S_ppm	1.54	16.68	0.09	0.926

$$S = 0.720813 \quad R\text{-cuad.} = 7.8\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 6.8\%$$

Nota: Análisis del metano en función de las variables de temperatura, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.

De la Figura 1, se tiene las siguientes interpretaciones:



- El valor de 2.84, indica el valor de correlación de metano en 2.80 ppm sin la existencia de los demás valores.
- Los valores de coeficiente de temperatura de 0.0381 indica que por cada incremento de un grado Celsius en la temperatura, se espera un incremento de 0.0381 ppm en el nivel concentración de metano, manteniendo constante el resto de variables.
- El valor de 0.78 en lo referente al CO₂, indica que por cada incremento en un 1% se espera un incremento de 3.09 ppm en la concentración de metano, esto manteniendo constante la temperatura y el valor de sulfuro de hidrógeno.
- En lo referente el Sulfuro de Hidrógeno el valor de 1.5, esto indica que el valor de incremento de 1ppm en la concentración de H₂S incrementa en 1.5 el nivel de concentración de CH₄, manteniendo constante la temperatura C y CO₂.

La interpretación de los valores p:

- En lo referente a la constante P, es altamente significativo, lo que implica que es altamente probable que no llegue a un valor 0.
- Los valores de Temperatura con p de 0.004, siendo ello es estadísticamente significativo, ya que es menor a 0.05.
- El valor de CO₂ en el p de 0.829, no es estadísticamente significativo, ni el valor de H₂S, de 0.926.

Solamente el valor de la Temperatura dentro del modelo tiene una relación directa con el valor del Metano.

En relación a los valores de R, indica un valor de 7.8% de la variabilidad de CH₄ por las variables predictoras dentro del modelo.

En relación al R cuadrado el incremento de 6.3 % a 7.8%, en el cual la temperatura se ha vuelto significativo, generado un nivel explicativo al modelo, pero muy bajo, debido a que se tiene variabilidad del CH4 ppm y requiere de otros factores que sean más influyentes.

Dióxido de carbono

Figura 3

Modelamiento de Dióxido de Carbono (CO₂) en base a otras variables.

Análisis de regresión: CO₂_% vs. Temperatura_C; CH₄_ppm; H₂S_ppm

La ecuación de regresión es

$$\text{CO}_2\% = 0.0453 + 0.00169 \text{ Temperatura}_C + 0.000211 \text{ CH}_4\text{ppm} + 0.570 \text{ H}_2\text{Sppm}$$

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	0.045348	0.003747	12.10	0.000
Temperatura_C	0.0016864	0.0001961	8.60	0.000
CH ₄ _ppm	0.0002108	0.0009766	0.22	0.829
H ₂ S_ppm	0.5700	0.2724	2.09	0.037

S = 0.0118638 R-cuad. = 43.3% R-cuad. (ajustado) = 42.7%

Nota: Análisis del CO₂ en función de las variables de temperatura, metano y sulfuro de hidrógeno.

Para este modelo, la temperatura es un factor estadísticamente significativo, mientras que el metano y el sulfuro de hidrogeno no lo son.

En relación a los valores de R, se tiene un 43.3% de variabilidad en la concentración de CO₂ que es explicado por las variables de temperatura, CO₂ y H₂S como combinación en el modelo. El valor R ajustado indica 42.7% de la variabilidad de CO₂ que explicada por los factores predictores.

Por lo tanto, el modelo de regresión de CO₂ tiene mayor nivel de explicación que el modelo de Metano, lo que significa que estas variables incluyentes son factores de importancia en la variabilidad que presenta el CO₂.

Sulfuro de hidrógeno

Figura 4

Modelamiento de Sulfuro de hidrógeno (H₂S) en base a otras variables.

Análisis de regresión: H2S_ppm vs. Temperatura_C; CH4_ppm; CO2_%

La ecuación de regresión es

$$\text{H2S_ppm} = 0.00436 + 0.000447 \text{ Temperatura_C} + 0.000020 \text{ CH4_ppm} + 0.0266 \text{ CO2_}\%$$

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	0.0043554	0.0009632	4.52	0.000
Temperatura_C	0.00044652	0.00003955	11.29	0.000
CH4_ppm	0.0000195	0.0002111	0.09	0.926
CO2_%	0.02664	0.01273	2.09	0.037

$$S = 0.00256487 \quad R\text{-cuad.} = 50.9\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 50.4\%$$

Nota: Análisis del (H₂S) en función de las variables de temperatura, metano y dióxido de carbono.

Del modelo se tiene un nivel estadísticamente significativo de $p=0.000$ para la variable de temperatura. Es por ello que, por cada incremento de temperatura en un grado, se espera un incremento de 0.000447 ppm en la concentración de H₂S.

Para los valores de R cuadrado, indica que el valor de 50.9% es moderado a bueno, lo que puede explicar las variaciones de la concentración por los cambios de temperatura, metano y CO₂, siendo este modelo significativo. De la misma manera se puede indicar que el valor de R cuadrado es de 50.4% siendo el modelo conservado, acorde a los valores predictores

En relación a la temperatura:

Figura 5

Modelamiento de la temperatura (°C) base a otras variables.

Análisis de regresión: Temperatura_C vs. CH4_ppm; CO2_%; H2S_ppm

La ecuación de regresión es

$$\text{Temperatura_C} = - 7.11 + 0.750 \text{ CH4_ppm} + 122 \text{ CO2_}\% + 694 \text{ H2S_ppm}$$

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	-7.108	1.169	-6.08	0.000
CH4_ppm	0.7502	0.2594	2.89	0.004
CO2_%	122.47	14.24	8.60	0.000
H2S_ppm	693.77	61.45	11.29	0.000

$$S = 3.19707 \quad R\text{-cuad.} = 62.0\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 61.6\%$$

Nota: Análisis de la temperatura en función de las variables de H2S, metano y dióxido de carbono,

Para esta variable se tiene:

- El valor de la temperatura sería de -7.11 °C, debido a la ausencia de estos gases, por lo que generan un efecto invernadero. En los meses de Julio que es invierno, y con ello caen el valor de temperatura.
- Con el incremento de 1 ppm de metano se logra un 0.750 °C de incremento en la temperatura.
- Con un incremento de 1% en concentración de CO2, se logra un 122°C.
- Con un 1ppm de H2S se logra incrementa en 692°C en la temperatura.

En la relación a la significancia se tiene:

- El valor de p para la constante es de 0.000 menor a 0.05 lo que lo hace estadísticamente significativo.



- El valor de p para el metano es de 0.004 que es menor a 0.05 lo que implica que es estadísticamente significativo en la predicción de la temperatura, lo que hace fuerte la relación de estas dos variables.
- El p valor de CO₂, es 0.000 menor a 0.05, esto implica que altamente significativo a nivel estadístico, en la predicción de la temperatura.
- De la misma manera el valor de 0.000 de p-valor para el H₂S, hace que sea estadísticamente significativo en la predicción de la temperatura.

Por lo tanto, el modelo de temperatura en un 62% puede ser predecido por la concentración de gases. El 61.6% de R cuadrado, es explicado por el modelamiento de estos predictores, siendo ello una relación fuerte entre la existencia de los gases y la temperatura.

Para el objetivo específico 1:

Identificar los principales gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

Para el presente estudio de la identificado tres tipos de gases, siendo ellos también aplicados para su tratamiento como estadística y su comportamiento de la variabilidad de la temperatura.

- Como el caso de metano: El cual se produce debido a las condiciones anaeróbicas que se producen dentro de laguna de oxidación. Esto debido a la sobre carga que se tiene en la laguna y sobre la acumulación de lodos dentro del fondo del lago, esto implica la predominación de los procesos sin la presencia de oxígeno, lo que favorece aún más su producción.
- El dióxido de carbono (CO₂) de debe a la producción de descomposición de la materia orgánica por los microorganismos que actúan sin oxígeno



dentro de las lagunas, generándose así, el efecto invernadero que esta comentado con frecuencia en estudio de contaminación.

- El sulfuro de hidrogeno (H_2S) como tiene un característico olor a huevo podrido, lo que se ha generado con las condiciones reductoras. Este tipo de características como mal olor dentro de la laguna de oxidación, que generalmente se debe a la sobre carga o en lo referente a la alta concentración que se tiene de sulfatos. Genera un malestar de irritabilidad al ser inhalado, también puede irritar pulmones y garganta, en muy altas concentraciones puede ser muy tóxico. Entonces, los niveles de H_2S se incrementar por medio del incremento de la temperatura.

Vale decir, que, en la ciudad de Juliaca, por el mal funcionamiento de este tipo de lagunas, lo cual se puede apreciar por las tardes, cuando se siente un olor fétido por causa del cambio de dirección del viento. Se produce más olores de forma intensa en la tarde por el incremento de la temperatura.

Por lo tanto, se tiene prevalencia de metano y dióxido de carbono por la actividad digestiva sin oxígeno y por acción de sulfuro de hidrogeno que aporta el mal olor, con la aparición de estos gases, son indicadores de mala operación en la laguna de oxidación.

Para el objetivo específico 2:

Medir la concentración de gases emitidos contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025

Figura 6

Concentraciones promedio en los 4 puntos medidos (3 días)

Estadísticas descriptivas: Temperatura_C; CH4_ppm; CO2_%; H2S_ppm

Variable	N	N*	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Mínimo	Q1
Temperatura_C	288	0	13.288	0.304	5.157	5.090	8.800
CH4_ppm	288	0	3.4205	0.0440	0.7468	1.8300	2.8125
CO2_%	288	0	0.075528	0.000924	0.015676	0.042300	0.063725
H2S_ppm	288	0	0.012368	0.000215	0.003642	0.004000	0.010025

Variable	Mediana	Q3	Máximo
Temperatura_C	13.550	18.105	21.940
CH4_ppm	3.4400	4.0400	4.9500
CO2_%	0.075350	0.085525	0.111800
H2S_ppm	0.012200	0.015075	0.020500

Nota: Resumen de las estadísticas descriptivas de concentración de gases emanados.

Esto

Tabla 2

Normativa para referencia de gases y su concentración.

Gas	LMP y ECA Perú	Valor referencia a nivel internacional
H2S	No regulado por ECA.	0.03 ppm (media de 30min) - OMS
CH4	No regulado por ECA.	5% en el aire es explosivo (50 000ppm)
CO2	No regulado por ECA.	1000 ppm recomendado, 5000 Limite laboral.

Nota: Basado en DS N° 003-2017 – MINAM y OMS

Según lo observado en la Figura 5, se tiene valores por debajo de los límites internacional, no se tiene referencias de ECAS aplicados a este tipo de gases a nivel nacional.

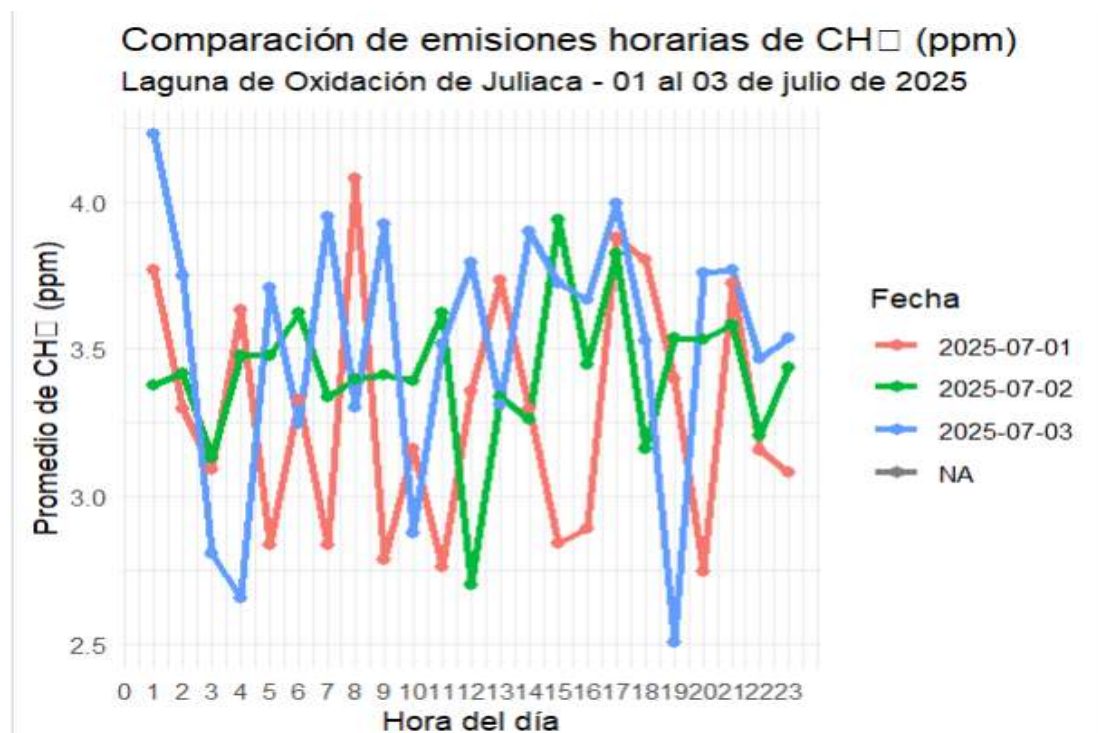
Para el objetivo específico 3:

Proponer las principales medidas de mitigación de la emanación de gases del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025.

Comportamiento del Metano

Figura 7

Comparación de emisiones horarios de CH₄



Nota: Expresado para los días 01, 02 y 03 de julio del 2025

De la figura 6, se aprecia la alta volatilidad diario, lo implica una alta fluctuación en lo referente a la concentración de CH₄ en las horas del día, lo cual indica que los procesos generados han liberado metano. No se tiene patrones específicos para los días, se tiene variación persistente de valores. Las concentraciones de metano se estiman entre los rangos de 2.5 y 4.2 ppm.

Para el día 1:

Para la interpretación de los picos se tiene un pico amplio para 00:00 horas con cerca de 4.2 ppm, para las 8:00 AM con 4.0ppm, los valores más



bajo se han registrado a las 3:00 AM con 3.1 ppm, en fin, el comportamiento general, empieza alto, luego baja en la madrugada, y vuelve a subir en la mañana y presenta fluctuaciones diversas a través del día.

Para el día 2.

De línea verde, se ha tenido el pico claro alrededor de las 14:00 horas que se acerca a 4ppm, otro pico entre las 16:00 y 17:00 horas supera los 3.8 ppm, y se tiene unos valles para las 10:00 AM, que cae por debajo de 2.8ppm, se tiene otro valle de 18:00 bajando cerca de 3.0ppm.

El comportamiento general, para este día es relativamente estable durante la primera parte del día entre 3.3. y 3.7ppm, con una caída notable a media mañana, luego se incrementa y se genera las fluctuaciones para la tarde.

Para el día 3.

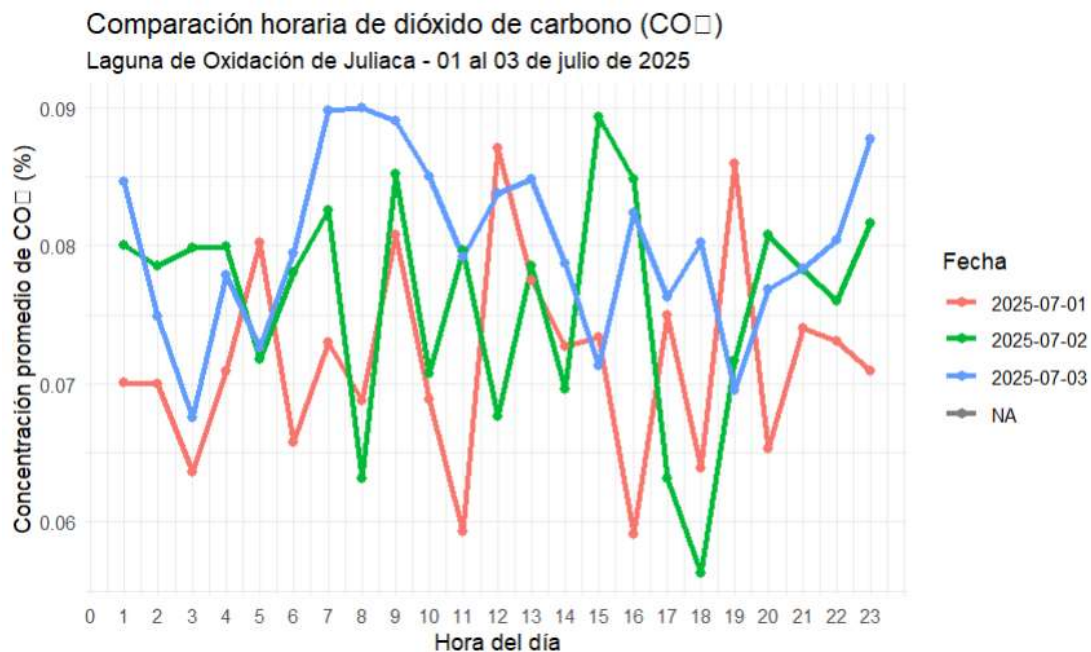
Específicamente halando para la línea azul, se tiene un pico alto alrededor de las 9:00 de la mañana, cerca de 4ppm, también se tiene un pico en la tarde, alrededor de las 19:00 horas que supera las 3.7ppm. Se tiene caídas importantes de concentración más baja en todos días analizados, a las 19:00 horas se tiene un valor de 2.5ppm, lo cual hace se aprecia un comportamiento inusual, puede ser dependiente del viento que se haya producido en ese momento.

El comportamiento del día, es que empieza con una caída, sube a un pico y luego tiene fluctuaciones en la caída para la tarde y noche.

En consecuencia, el impacto que tiene otros factores externos, como el cambio de temperatura, a radiación solar, el viento, y la carga de agua residual tiene influencia también en la liberación del metano.

Figura 8

Comparación de emisiones horarios de dióxido de carbono CO₂



Nota: Expresado para los días 01, 02 y 03 de julio del 2025

Con respecto a las emisiones del dióxido de carbono, se tiene alta variabilidad durante el día con alta fluctuación, esto implica que se han producido CO₂ en la laguna de oxidación, lo cual se ha reflejado por factores meteorológicos que han sido dispersos. Los rangos de concentración, han variado de 0.055% y 0.09%. En consideración de la perspectiva los valores de concentración de CO₂, se ha aproximado de 0.04% a (400ppm), por ello, se tiene concentraciones elevadas en comparación con el aire natural, lo cual se espera por actividad propia de la laguna de oxidación. Se tiene patrones menos consistentes, lo cual implica que una mayor producción en el día por actividad de la fotosíntesis debido a la presencia de alga, esta respiración es ligada a la respiración microbiana,

Para el día 1, la línea roja, se ha tenido picos elevado de 0.075% a las 5:00 AM, un pico de 0.088% a las 12:00 horas y 0.088% a las 19:00 horas, En



cuanto a los valles, se ha tenido, caídas de 0.063% a las 4:00AM, 0.059% a las 10:00 y 0.065% a las 18:00 horas.

En general su comportamiento ha presentado varias picos y valles durante todo el día 1.

Para el día 2, la línea de color verde, se ha tenido un pico de 0.82% para las 8:00 de la mañana, un 0.09% para las 15:00 horas y 0.082% para las 20:00 horas, en cuanto a los valles, se ha tenido 0.071% para las 6:00 horas, 0.062% para las 9:00AM y 0.055% para las 18:00 horas, lo que implica caída de puntos más frecuentes en comparación con los demás días.

El comportamiento para el día 2 del dióxido de carbono es de curva errática, con concentraciones elevadas en la madrugada y tarde, con un valle medio para la tarde.

Para el día 3, se tiene un valor pico de 7:00 horas y 9:00 horas con valores de 0.09% siendo los valores máximos observados, se cuenta con picos a las 12:00 horas y 19:00 horas, además del incremento notable entre las 22:00 y 23:00 horas. Se aprecia valles, para las 4:00 horas con un valor de 0.076%, valles de 0.074% para las 11:00 horas y 0.073% para las 18:00 horas.

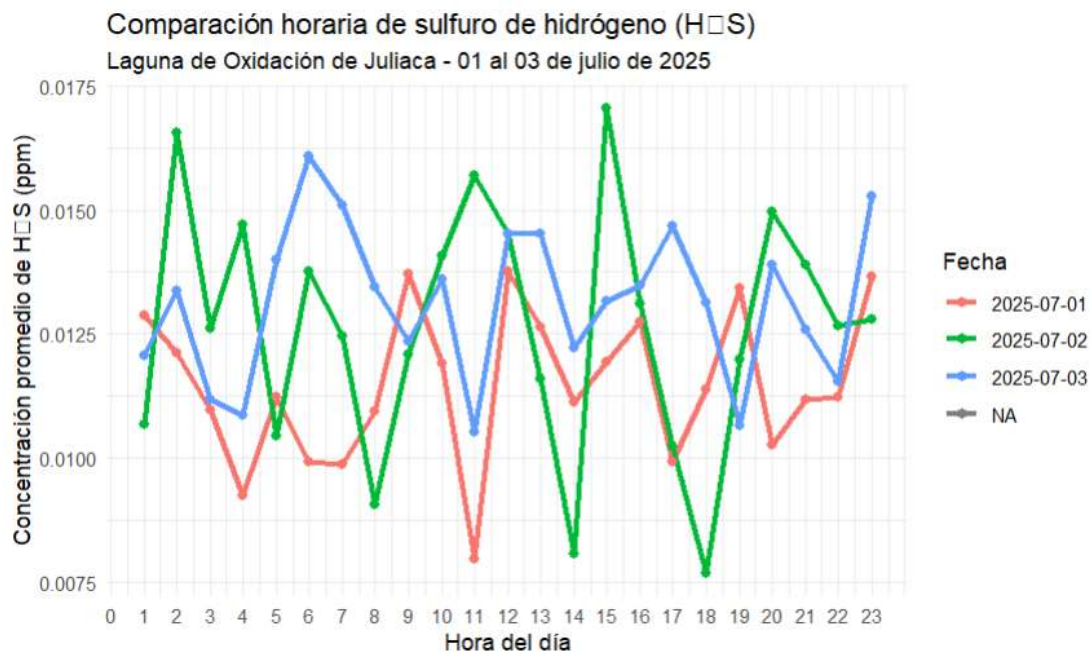
En general el comportamiento ha empezado con un nivel alto, ha tenido un pico matutino, y se ha generado una fluctuación antes de finalizar el día. Con respecto a las comparaciones, se ha tenido picos elevados entre las 07:00 y 09:00 horas, más apreciable para el día 3, picos para la tarde entre las 12:00PM y 3:00PM, más apreciable en los días 1 y 2.

Fuentes de dióxido de carbono, que son parte de la actividad vegetal de la zona, sumado a la carga de materia orgánica por acción anaeróbica.

Por lo tanto, las emisiones de CO₂, de esos puntos de muestreo han tenido variaciones altas durante el día, no se ha tenido un patrón repetitivo, se ha tenido picos durante varios momentos en cada día.

Figura 9

Comparación de emisiones horarios de sulfuro de hidrógeno (H₂S)



Nota: Expresado para los días 01, 02 y 03 de julio del 2025

En relación a la figura 8, se tiene concentraciones bajas pero presente, entre el rango de 0.0075ppm y 0.0175 ppm, siendo su olor a huevo podrido, estas concentraciones en alta cantidad pueden generar toxicidad y afectar la salud de los pobladores cercanos, se tiene alta variabilidad en horario y día, se tiene fluctuación constante, esto influye la producción y liberación dinámica de este gas. Se presenta patrones diurnos de menor consistencia.

- Para el día 1, el color rojo, se tiene un pico inicial de 0.0125ppm, y otro de 0.015 a las 5AM, picos menores de 0.014 entre las 10:00 y 11:00 horas, luego en la tarde de 0.014ppm a las 18:00 horas. En relación a los valles, se tiene 0.009ppm a las 3:00 horas, 0.01ppm a las 9:00 horas y el más



bajo a las 12:00 horas con 0.008ppm. El comportamiento en general tiene curvas con mucha fluctuación, con picos entre la tarde y la madrugada, y un valle específicamente en el mediodía.

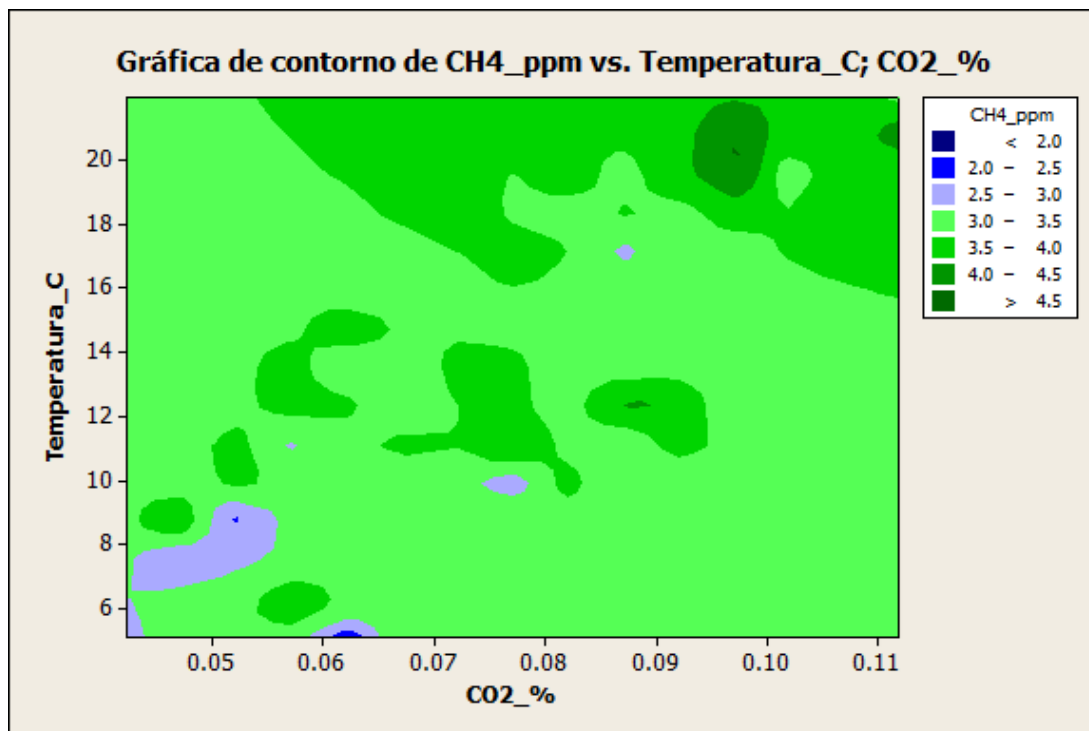
- Para el día 2, se tiene un pico de 0.017ppm a las 2:00 horas, siendo uno de los mayores de los datos observados, otro a las 0.016ppm a las 10:00AM, luego se tiene un valor de 0.0175ppm a las 15.00 horas, que es una de las concentraciones más elevadas en el proceso de observación, picos adicionales presente entre las 19:00 y 21:00 horas. Los valles se hacen presentes a las 9:00 horas con 0.09ppm, siendo uno de los picos más bajos en el proceso de observación. El comportamiento general, es de fluctuación fuerte, se han tenido los valores máximos y mínimos de la observación, con presencia de picos y valles en la madrugada, media tarde.
- El día 3, de línea azul, se ha tenido un pico notable al inicio del día con valores de 0.0125ppm a las 1:00 horas, con picos de 0.016ppm a las 5:00 y 7:00 horas, picos menores cerca de las 12:00 horas y el incremento de 0.016ppm a las 23:00 horas. Los valles se han apreciado de 0.011ppm a las 4:00 horas, 0.11ppm a las 10:00 horas y 0.011ppm a las 17:00 horas. Por lo tanto, el comportamiento general se ha tenido picos elevados, luego desciende, se tiene periodos prolongados de pico matutino y fluctuaciones y ascensos durante la parte final del día.

Se ha tenido alta variabilidad en el comportamiento de las emisiones de H₂S en la laguna de oxidación, esto debido a la temperatura, radiación solar y en mucho a la actividad del viento.

Gráficas de contorno

Figura 10

Gráfica de contorno sobre de metano, temperatura y CO₂.



Nota: Expresado para los días 01, 02 y 03 de julio del 2025

Con relación al estudio del comportamiento de gases emitidos en la laguna de oxidación, respecto al metano y el dióxido de carbono: La Figura 9 permite apreciar una distribución de metano entre valores de 3.0 a 3.5ppm (color verde claro), se muestran zonas de mayor concentración (mayores a 4ppm) esto especial en zonas de baja temperatura (6 a 10°C) y baja concentración de CO₂ (<0.06%). De la misma manera en altas temperatura (>18°C) con niveles de 0.10% para el CO₂.

En relación a al CO₂ y CH₄ en general se aprecia altas concentraciones de CO₂ que están asociada a menores concentraciones de CH₄. Esto es consistente con las condiciones aerobias, ya que tiene mayor



concentración de CO₂, además la producción de metano (producción anaeróbica) lo cual se reduce.

Con respecto a la relación entre la temperatura y el metano, las temperaturas moderadas que se encuentran entre 10 a 16°C, es decir hay homogeneidad de niveles de metano. Por lo cual, los extremos de temperatura (por debajo de 8°C o sobre los 18°C), se encuentran valores variables de metano, esto incluso en niveles altos.

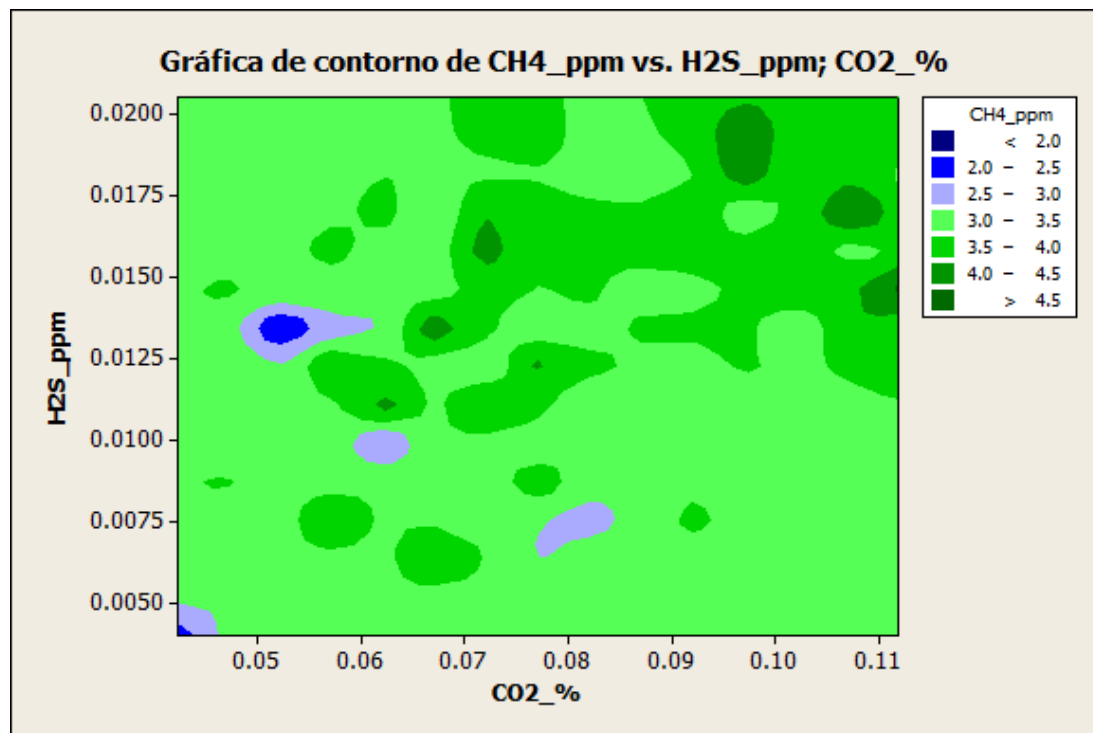
Por lo tanto, la producción de metano (CH₄) es mayor en condiciones más anaerobias (menor concentración de CO₂), lo cual concuerda con el proceso natural de la digestión de tipo anaerobia esto ubicado en el fondo de la laguna. También, las temperaturas extremas (muy altas y muy bajas) pueden favorecer a la generación de metano esto por la actividad microbiana de la laguna. El Metano se distribuye de forma heterogénea, lo que indica que la laguna presenta espacios en el cual el comportamiento físico y biológico es diferente.

En lo referente al modelamiento, la figura 9 permite identificar las zonas mas criticas en el cual se produce mayor concentración de metano, lo cual permite intervenir con las medias que se propondrán más adelante, como la aireación, las coberturas o el mezclado. También el modelo puede validar la simulación sobre las emisiones de gases en lagunas, esto considerando factores como el dióxido de carbono y la temperatura.

A continuación, se analizará la combinación del comportamiento de metano, H₂S y el dióxido de carbono.

Figura 11

Gráfica de contorno sobre de metano, H₂S y CO₂.



Nota: Expresado para los días 01, 02 y 03 de julio del 2025

De la Figura 10 se aprecia el comportamiento de tres gases como el metano, el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno, lográndose apreciar lo siguiente:

- La distribución de metano, predominan valores entre 3.0 a 3.5 representado de color verde claro, se tiene a la vez áreas de concentración mas altas de 4.0 ppm que están relacionadas a nivel de concentración de CO₂ mayores a 0.09% y zonas con H₂S de valores entre 0.0125 a 0.0175 ppm, esto implica que se tiene condiciones altamente anaerobias, lo que favorece a la producción tanto de sulfuros como de metano.
- Con relación al H₂S y metano, se aprecia que a mayores concentraciones de H₂S (>0.0125ppm), se tiene zonas de mayor concentración de metano.

También se aprecia que las condiciones estrictamente anaerobias se tiene



ambas concentraciones de metano y sulfuro de hidrógeno. En contraparte a ello en zonas de menos concentración de H₂S es decir por debajo de 0.0075 ppm, se tiene una mayor dispersión con algunas zonas con menor concentración de metano.

- Respecto al comportamiento de dióxido de carbono y metano, el incremento de CO₂, tiene una tendencia a la reducción de concentración de metano. Ello implica que las condiciones aeróbicas, es decir con mayor concentración de CO₂, reduce la producción de metano. Pero, se aprecia algo particular, la coexistencia de CO₂ alto y metano alto, en la presencia de niveles altos de H₂S, lo que implica que se genera una estratificación de las condiciones aeróbicas superficiales y anaeróbica profundas.

En conclusión, la concentración de metano se incrementa cuando existe mayor concentración de H₂S y menores concentraciones de dióxido de carbono, lo que implica que zonas con condición anaerobias existente en la laguna. También se tiene la distribución de metano que no es uniformes, lo que revela que existe macrozonas con diferente nivel de actividad microbiológica constante. La combinación entonces de H₂S y CO₂ (valores medios y altos) parece especialmente importante y significativo en la producción de picos de metano, lo cual implica que es por los procesos anaerobios intensos en zonas profundas del lago, que tiene cierta influencia en la parte superficial que es aerobia.

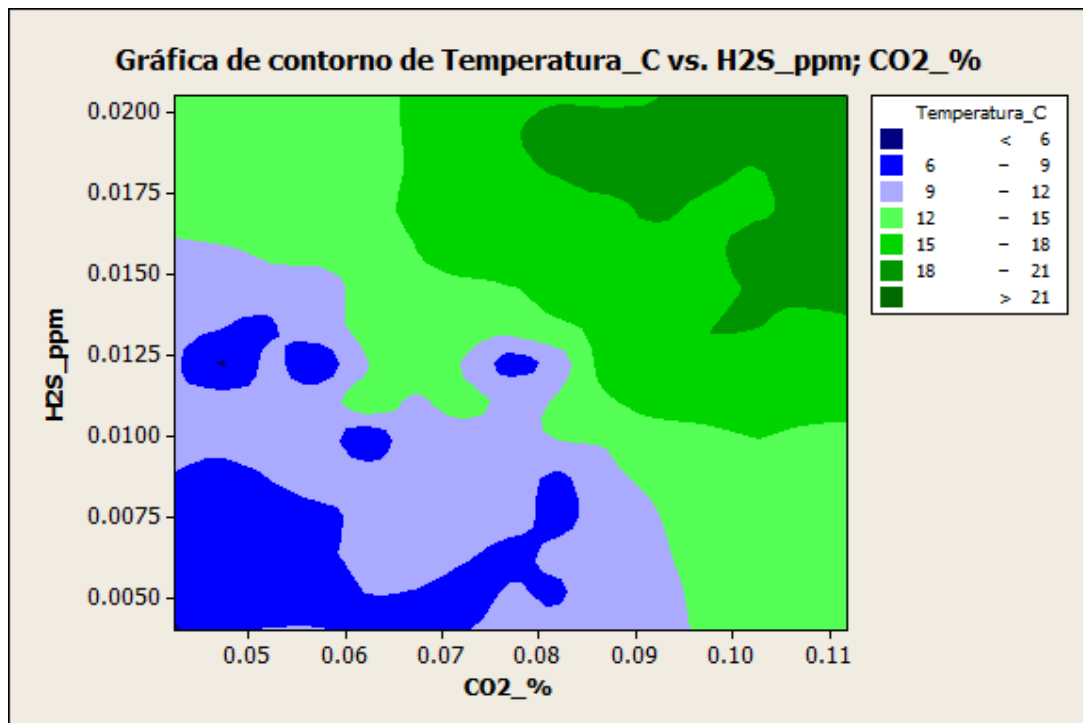
Entonces, la figura 10 brinda un soporte a la necesidad de generar modelos multivariantes que consideran la interacción de dióxido de carbono, temperatura y H₂S, También pone a la luz los efectos de la profundidad y la estratificación de la presencia de oxígeno.

Este tipo de modelado sirve para zonificar áreas críticas de producción de gases, con el cual proponer las estrategias para la mitigación, como también para el control de cargas y la localización de la aireación modo medida correctiva.

Se realizará el análisis de la temperatura, el H₂S y el dióxido de carbono.

Figura 12

Gráfica de contorno sobre de Temperatura, H₂S y CO₂.



Nota: Expresado para los días 01, 02 y 03 de julio del 2025

De la figura 11 se aprecia el comportamiento de la temperatura, en el cual se nota, la transición térmica, para verificar las zonas de baja concentración de CO₂ y bajo H₂S en valores menores a 0.06% y menores de 0.01 ppm respectivamente para ambos gases, esto manteniendo temperaturas bajas menores a 12°C de colores azules y celestes. Desde el punto de vista de incrementado de concentraciones de CO₂ y H₂S, se



incrementa también la temperatura, esto alcanzando niveles mayores a los 21°C en zonas en las cuales se tiene concentración de CO₂ mayores al 0.09% y concentraciones de H₂S superiores a 0.015 ppm, también se aprecian relaciones como las que se describen a continuación:

- La relación entre el CO₂ y la temperatura, brinda la existencia de la correlación positiva en el cual mayores concentraciones genera mayor temperatura. Esto implica que en zonas donde se tiene mayor actividad biológica se genera mayor concentración de CO₂ esto debido a la descomposición aerobia o anaeróbica, que se producen en temperaturas calientes. Es por ello que se debe a la actividad exógena que se genera mayor calor, o en zonas de menor profundidad en donde la temperatura del medio influye con mayor impacto.
- En relación al H₂S y la temperatura, la concentración del gas incrementa a la par con la temperatura, dentro de zonas con mayor concentración que es de color verde oscuro en el que coincide con la mayor concentración de H₂S en específico en niveles mayores a 0.0175 ppm. Lo que indica que las bacterias sulfatorreductoras, son las responsables en la producción de H₂S, lo que podría genera mas actividad en condiciones de mayor temperatura, dándose ello en zonas con mayor profundidad y en zonas con escaso oxígeno.

En conclusión, los mayores niveles de temperatura tienen coincidencia con mayores concentraciones de gases esto debido a la descomposición anaerobia de H₂S y por parte del CO₂ en condiciones aerobias. Por lo general, se tiene un gradiente de temperatura que se alinea con la producción de gases, lo que indica que existe una fuerte influencia por parte de la

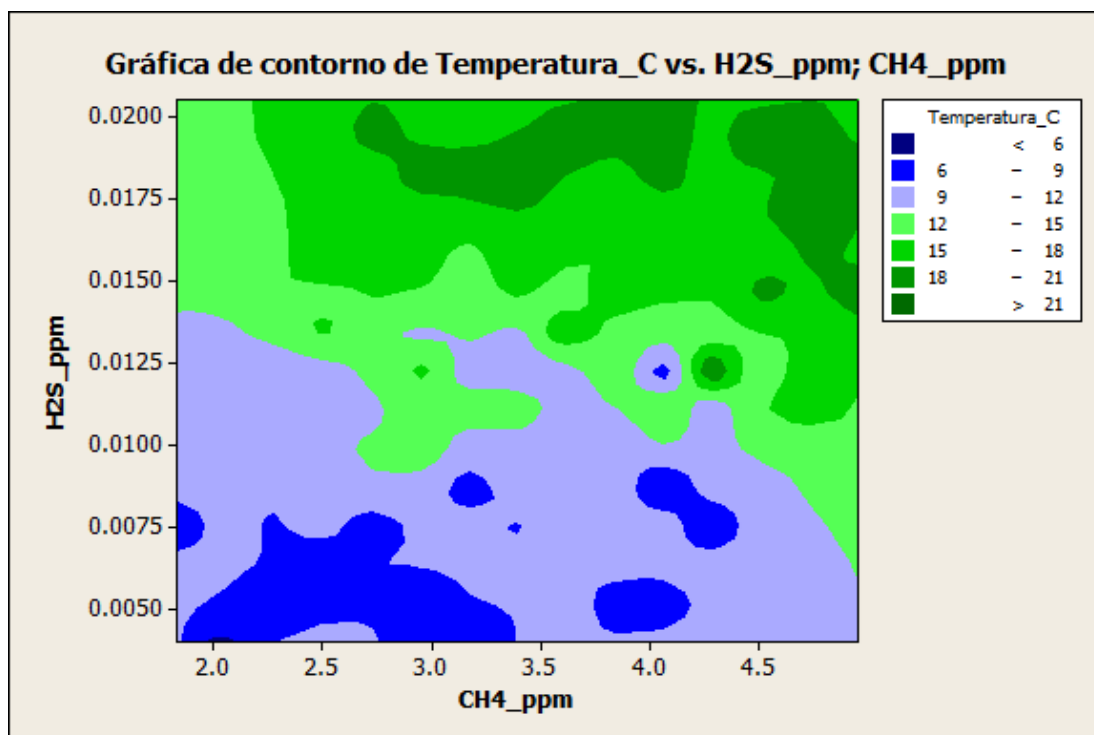
actividad biológica. Esto implica que zonas frías y con poca concentración de gases pueden generar áreas de menores cargas a nivel orgánico, también mejor nivel de oxigenación o en zonas de mayor profundidad con menor penetración de luz solar.

Para el modelamiento, la figura permite validar este comportamiento que favorece a la estimación de la influencia que tienen los gases en presencia de temperaturas de microzonas dentro de la laguna. Para ello identificar las zonas con estratificación térmica, lo que influye en la difusión y por ende en la concentración de gases. También, sirve para la ubicación de áreas en condiciones críticas de producción de metano y H₂S por acción de temperaturas elevadas.

Se realizará el análisis de la temperatura, el H₂S y el metano:

Figura 13

Gráfica de contorno sobre de Temperatura, H₂S y CH₄



Nota: Expresado para los días 01, 02 y 03 de julio del 2025



Para el estudio de comportamiento de gases como el metano y sulfuro de Hidrógeno con la temperatura, se tiene las siguientes conexiones entre variables:

- Las zonas azules y celestes implican temperaturas menores a 12°C , en estas zonas se tienen concentraciones menores a 0.01 ppm de H_2S , tiene valores variados en el referente al Metano que están en el margen de 2.0 a 4.5ppm. Lo que tiene que ver las condiciones de baja emisión de H_2S , además esto con la temperatura del sistema cuando esta baja.
- Otro aspecto importante son las zonas verdes que están entre temperatura de 15°C e inferiores a 21°C , en el cual se observan concentraciones de H_2S que superaban los valores de 0.0125ppm. esto implica que el metano tiene concentraciones moderadas o altas. A ello se suma que la correlación positiva entre la temperatura del medio ambiente y las concentraciones de H_2S , vale decir, que a mayores concentraciones de H_2S , también se tiene mayores niveles de temperatura.
- En relación al comportamiento de CH_4 y H_2S , en el cual se tiene temperaturas que influyen en la concentración de H_2S por la concentración de metano. Esto implica que las combinaciones de CH_4 que fluctúan entre 3.5 a 4.5ppm, están relacionado con el incremento de la temperatura cuando se tiene mayor concentración de H_2S .

Por lo tanto, la laguna de oxidación tiene un comportamiento dinámico en la concentración de H_2S como un indicador de zonas con mayor temperatura, lo que esta asociado a niveles de actividad microbiana a nivel anaeróbico y de la descomposición de la materia orgánica. El metano por ello



es un gas clave, que tiene un impacto menos directo por lo referente a la temperatura, ya que tiene efectos relacionados con otros factores climáticos.

En el modelamiento permite identificar las zonas críticas en la laguna, en el cual se puede priorizar las acciones de mitigación o acciones de monitoreo más efectivo.

Medidas recomendadas.

Con respecto a las medidas recomendadas en base a la gestión de emisiones para la laguna de oxidación.

La laguna de oxidación se ha centrado en el sistema de tratamiento de aguas residuales dependiendo la parte de biológicos y la parte de física con fines de depurar el agua. El proceso de generación de este tipo de gases con inherente a todo el proceso, esto específicamente en condiciones anaeróbicas.

El objetivo no es eliminar por completo, si no la optimización del proceso para la reducción o la minimización de las emisiones que sean indeseables y con ello la mejora de eficiencia en el tratamiento.

Entonces, las estrategias son:

- La optimización del diseño y de la operación dentro de la laguna. Por ello se ha centrado en la consideración de la instalación de las mejoras de sistemas sobre la aireación, como el uso de difusores con el cual se deben tener secciones específicas en la laguna o en casi toda. Este proceso permite introducir oxígeno, lo que favorece la actividad a nivel bacteriano en lo correspondiente a la aerobia que no genera la producción de metano y sulfuro de hidrogeno. El proceso debe de incluir la medición de oxígeno disuelto en puntos diferentes y en las profundidades con el fin de asegurar



cada nivel óptimo. También se debe controlar la carga organiza, para ello medio la demanda bioquímica del oxígeno, también la demanda química de oxígeno en la entrada y salida. Otro aspecto a considerar seria la gestión del lodo, para ello medir la altura de la capa de lodo.

- El manejo estratificado térmico y la mezcla, tiene que enfocarse en la estratificación de las capas de agua, para ello la implementación de mezclas de bajo consumo en los puntos específicos que permiten promover la mejora en el proceso de transferencia de oxígeno, además de las mejorar de perfil de temperatura.
- Otra estrategia es el monitoreo avanzado de análisis de datos, para ello establecer los sensores en línea de los principales sensores de emisión, lo cual permite correlación la emisión de estos gases, lo cual permite realizar los monitoreos.

Para cada gas se debe de:

- Metano, para ello se debe realizar la aireación, además del control de carga, la remoción de lodos, si es posible se puede captar el biogás con el fin de generar energía, siendo los más comunes los digestores anaeróbicos en son aplicables a lagunas de oxidación abiertas.
- Para el dióxido de carbono, se puede optimizara el proceso, con la reducción de carga, lo que reduciría la optimización de este gas, a la vez eliminar la materia orgánica,
- Para el sulfuro de hidrogeno, una alternativa seria la aireación lo cual permitiría reducir este gas, ya que promueve de la oxidación de lo sulfuros a sulfatos no volátiles. Puede ser también realizar la dosificación de nitratos que son específicos, lo que implicaría una inversión alta.



4.2. DISCUSIÓN

Los gases que han prevalecido por la emanación propia de lagunas de oxidación, se han centrado en la actividad de estabilización de carga orgánica, siendo estos gases en específico el metano, el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrogeno, la existencia y el comportamiento están relacionados al proceso de descomposición de las materias organizas en diversas condiciones (Davila, 2024).

De la misma manera la presente investigación se ha centrado en estos tipos de gases y se han reflejado con mayor énfasis en su comportamiento y fluctuación debido a la temperatura, el incremento de ella a elevado aún mas la concentración de este tipo de gases.

Para el metano, que el gas cuyo origen se por la producción bajo condiciones anaeróbicas, dentro del alaguna de oxidación por su proceso de estabilización (García, 2018). Este gas de forma de manera natural debido a la descomposición de sustancias de tipo organiza en ambiente donde no existe el oxígeno, siendo ello las lagunas y los pantanos, los cuales tiene baja carga de materia orgánica debido a la degradación microbiana que se da en entornos anaeróbicos (López, 2018). También se origina desde proceso de digestión, la quema de biomasa y combustión fósil (Moncada, 2021).Bajo este contexto el tratamiento de aguas residuales, además de la producción se asocia con el proceso de aceptación de electrones, ya que el CO₂ o de la porción de materia orgánica dentro de sistema que operan sin oxígeno.

Las fuentes de emisión de estas lagunas con los gases como el metano. En el cual este gas se produce en forma de redes de distribución de aguas y en sistema de tratamiento de lodos. El proceso se acumulación de



este tipo de lodos se produce dentro de la laguna, en el el cual se producen procesos con ausencia de oxígeno, lo que favorece aún más la producción de metano. El proceso de descomposición de estos lodos o de rellenos sanitarios ha generado de forma importante la producción de gas metano, bajo condiciones anaeróbicas.

Por lo tanto, el impacto ambiental de este tipo de gases comúnmente incrementa el efecto invernadero. El metano es por ello considerado como 25 veces más perjudicial que el dióxido de carbono esto en el contexto de calentamiento global. Por ello se estima que la concentración de este gas en atmósfera se ha duplicado en relación de las actividades de los últimos 2 siglos, lo que afecta a la capacidad de afectar la calidad de vida. Entones por ello se produce el daño directo de la salud y bienestar de los organismos vivos, también ha generado un efecto invernadero en ellos últimos años.

Respecto al dióxido de carbono, la producción de este gas es por la descomposición de materia orgánica debido a microorganismo que realizan sus procesos en ausencia de oxígeno. Por ello, se produce bajo la fermentación de cada compuesto orgánico en aguas negras. Para ello se tiene directa afectación en la atmosfera en los últimos años, debido a la eliminación de nitrógeno y carga organiza en fuentes de depuración de aguas residuales.

El impacto de este gas es el efecto invernadero. En un principio se ha tomado en consideración que es un subproducto que no afecta, pero últimamente se ha calificado como nocivo, ya que proviene de actividades y procesos de combustión.

El sulfuro de hidrogeno, es de naturaleza incoloros, pero con un fuerte olor a huevo podrido. Se produce por medio de reducción. Por lo tanto, se



produce por descomposición de las materias orgánicas, así como la presencia de azufre.

El comportamiento de este gas, es por su mal olor dentro de las lagunas de oxidación. Su existencia es un indicador del estado de agua residual. Por lo tanto, los niveles de este gas incrementan debido al cambio de temperatura. Sumado a la acción del oxígeno disuelto dentro del agua residual puede evitar la generación de estos olores desagradable.

El efecto en la salud, se debe a la respiración, debido a que irrita sentidos como el olfato, irritación de pulmones y garganta. Su concentración elevada es nociva y tóxica.

Un indicador importante sobre este gas, es la emanación junto con el metano, lo que condiciona la operación de lagunas de estabilización o de oxida

ción. Por lo tanto, la producción de olores desagradables y el mal funcionamiento o la ausencia de mantenimiento adecuado dentro de estas instalaciones son indicadores de esta falencia. A ello se suma el pH que si es alcalino implica que se tiene alta actividad a nivel biológico debido a la descomposición de carga orgánica y al inicio de eutrofización, lo que implica la presencia de olores fétidos. La percepción de olores se va aumentando con el incremento de temperatura, siendo estos más intensos a horas de la tarde.



CONCLUSIONES

PRIMERA: Se determinó el modelo de desarrollo que permite describir de forma confiable el comportamiento de la emanación de los gases contaminantes, ello en función de las variables ambientales, ello basado en la temperatura como variable predominante. El análisis ha determinado que la temperatura es la principal variable de la generación de metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, ello asociado a los procesos microbianos. El modelo ha determinado ser una herramienta predictiva útil para la anticipación de mayor emisión gaseosa, ello optimizando la gestión ambiental y sobre la toma de decisiones que se aplican en laguna de oxidación.

SEGUNDA: Se determinó los principales gases contaminantes que son emitidos por la laguna de oxidación en la ciudad de Juliaca son los gases CH_4 , CO_2 y H_2S , así como su modelamiento y comportamiento, lo cual son generados por los procesos de descomposición anaerobia de la materia orgánica en ese sistema. Los gases son caracterizados en laguna de oxidación presentan alta carga orgánica, ello en condiciones de baja oxidación y de temperaturas variadas, ello confirma la presencia de emisiones típicas de sistemas biológicos.

TERCERA: Se midió la concentración de gases emitidos contaminantes por mediciones directas, en las cuales las mediciones han demostrado las concentraciones de estos gases y su comportamiento, ello elevándose en horario de mayor



temperatura y con mayor actividad microbiológica. Se ha evidenciado que el metano ha mostrado fluctuaciones que están asociados a la respiración microbiana y sulfuro de hidrogeno se ha incremento puntualmente en la zona de menos circulación. Los valores se han obtenidos para la caracterización del nivel de grado ambiental y la validación del comportamiento que tienen las emisiones.

CUARTA: Se propuso las medidas de mitigación que se han propuesto en el sustento de los patrones que se han identificado durante el modelamiento y la medición. Se ha determinado que la implementación de la aireación localizada, así como el mejoramiento de lodos, el mantenimiento periódico y la reducción de zonas de estancamiento, ello permite reducir las emisiones de metano y sulfuro de hidrogeno.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a las futuras investigaciones incluir el análisis del impacto en la salud pública, así como la percepción de la población cercana, la calidad de aire local, así como la integración del estudio a un enfoque socioambiental que complemente parte de los análisis técnicos de emisión de gases.

SEGUNDA: Se recomienda ampliar la identificación de otros componentes que pueden tener presencia de menor proporción como el caso de NH_3 , COVS o la presencia de aerosoles microbiológicos, ello utilizando los equipos de mayor sensibilización y sobre las técnicas cromatográficas para la obtención de la caracterización de forma integral del aire emitido en las lagunas de oxidación.

TERCERA: Se recomienda realizar evaluaciones en diversos periodos o climas, estaciones lluviosas o secas, con el fin de validar la tendencia a nivel estacional para el comportamiento de los gases, de la misma manera se debe utilizar los sensores de mayor resolución y sobre todo registrar variables complementarias como pH, DOQ, DBO, así como los sólidos sedimentables, ello para la obtención de los modelos más robustos.

CUARTA: Se recomienda evaluar otros medios de experimentación de los efectos reales de las medidas propuestas, como la aireación, así como la extracción de lodos, de la misma manera la mejora del sistema de anaeróbico con el fin de validar el nivel de efectividad en las condiciones y la cuantificación de las emisiones.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Araneda, A. (2024). La densidad del aire seco y su impacto en el cambio climático. *Revista Avante de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1), 71-79. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14025581>
- Chiroma, H., & Abawjy, J. H. (2023). *Computing Research Survival Manual: A practical handbook for beginners*. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-5017-4>
- Chura, Y. (2019). *Tratamiento de lixiviados y gases de los residuos sólidos del botadero de la ciudad de puno mediante el proceso de aditivos tensioactivos*.
- Cotovicz, L., Ribeiro, R., Régis, C., & Bernardes, M. (2021). *Greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) and inorganic carbon behavior in an urban highly polluted tropical coastal lagoon (SE, Brazil) | Environmental Science and Pollution Research*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13362-2>
- Detweiler, A. M., Bebout, B. M., Frisbee, A. E., Kelley, C. A., Chanton, J. P., & Prufert-Bebout, L. E. (2014). Characterization of methane flux from photosynthetic oxidation ponds in a wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*, 70(6), 980-989. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.317>
- Enrich-Prast, A., Figueiredo, V., Machado-Silva, F., Peixoto, R. B., Amora-Nogueira, L., Cugler, G., Dos Santos, M. C. B., de Sá Felizardo, J. P., Valle, J., Barreto, D. P., Valladares, L., Rodrigues, L., Santoro, A. L., Pinho, L. Q., Signori, C. N., Pollery, R., Silva, E., & Marotta, H. (2022). INORGANIC NITROGEN STIMULATES METHANE OXIDATION IN



- COASTAL LAGOON SEDIMENTS. *Oecologia Australis*, 26(2), 326-338. <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2602.18>
- Garavito, Y., Daza, C., & Ramirez, W. (2022). *Cultura organizacional y cultura de seguridad: Una revisión de la literatura*. <https://www.redalyc.org/journal/7337/733776333008/html/>
- Guerrero, J., & Jibaja, F. K. (2019). *Tratamiento del Afluente de la Laguna de Oxidación Mediante Fitorremediación del Eichhornia crassipes y Lemna minor; en Jaén-Cajamarca*. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/156>
- Lambiasi, L., Ddiba, D., Andersson, K., Parvage, M., & Dickin, S. (2024). Greenhouse gas emissions from sanitation and wastewater management systems: A review. *Journal of Water and Climate Change*, 15(4), 1797-1819. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.603>
- Leytem, A. B., Bjorneberg, D. L., Koehn, A. C., Moraes, L. E., Kebreab, E., & Dungan, R. S. (2017). Methane emissions from dairy lagoons in the western United States. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6785-6803. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12777>
- Malerba, M. E., de Kluyver, T., Wright, N., Schuster, L., & Macreadie, P. I. (2022). Methane emissions from agricultural ponds are underestimated in national greenhouse gas inventories. *Communications Earth & Environment*, 3(1), 306. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00638-9>
- Martínez, A. T., Pérez, I. R. M., Rodríguez, N. C., & Zacarías, E. T. (s. f.). *El presente libro aborda temas ratura y la humedad del aire d formal, la termodinámica del capítulo a los instrumentos d hasta los más modernos. Enl cálculos de la humedad y ot punto de rocío, los flujos de*



h efectos de la humedad en la s humanos, la relación de la hum alimentaria, del papel, textil y f sus efectos en dos tipos de ins ción cultural: Las plantas indus.

Massolo, L. A. (Ed.). (2022). *Modelos de dispersión y distribución de contaminantes en el ambiente*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/149176>

Muñoz, S., Salcedo, J., & Sotomayor, A. (2021). *Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: Revisión de literatura*. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/671/6713690008/html/>

Ojeda, L. (2019). *Análisis y alternativas de solución para la producción de biogás con residuos sólidos de la laguna de oxidación espinar – puno, periodo 2018*.

Ordoñez, C., & Gonzales, G. F. (2023). Calidad del aire en Perú no se ajusta a los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). *Revista Médica Herediana*, 34(4), 236-238. <https://doi.org/10.20453/rmh.v34i4.5155>

Parada, M., Manobanda, P., & Tapia, V. (2023). *Gestión Ambiental de la Contaminación Atmosférica*. Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador. <https://doi.org/10.33996/cide.ecuador.GA2616296>

Quispe, F. (2024). *Emisión de metano por la disposición de residuos sólidos urbanos en el botadero a cielo abierto del Distrito de Sandia 2023*. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4652>

Rojas, A., & Guerra, M. (2022). Nivel de contaminación del aire urbano por partículas suspendidas respirables (PM-10 y PM-2,5). *Revista*



Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas, 1(2), e373-e373.

<https://doi.org/10.51252/reacae.v1i2.373>

Sciberras, M., & Dingli, A. (2023). Quantitative Research. En *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 568, pp. 43-115). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19900-4_11

Terry, V., Taramona, L., & Candela, J. (2020). Modelo matemático para la generación de gas metano por tratamiento anaeróbico de vinaza en proceso semi continuo. *TAYACAJA*, 3. <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.69>

Vidal, O. A., & Pérez, A. (2018). Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos por una Industria Papelera Mediante el Modelo AERMOD. *Ingeniería*, 23(1), 31-47. <https://www.redalyc.org/journal/4988/498858053003/html/>

Vroom, R. J. E., Kosten, S., Almeida, R. M., Mendonça, R., Muzitano, I. S., Barbosa, I., Nasário, J., Oliveira Junior, E. S., Flecker, A. S., & Barros, N. (2023). Widespread dominance of methane ebullition over diffusion in freshwater aquaculture ponds. *Frontiers in Water*, 5. <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1256799>

Zhuang, Q., Guo, M., Melack, J. M., Lan, X., Tan, Z., Oh, Y., & Leung, L. R. (2023). Current and Future Global Lake Methane Emissions: A Process-Based Modeling Analysis. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 128(3), e2022JG007137. <https://doi.org/10.1029/2022JG007137>



ANEXOS



ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES				METODOLOGÍA
			VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN	
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	V.I.				Método -Cuantitativo Diseño -Diseño no experimental Tipo -Aplicativo Nivel -Explicativo Población - Emanaciones por la laguna de oxidación Juliaca Muestra - 24 días de Emanaciones por la laguna de oxidación Juliaca Técnicas -Observación -Medición de ruido -Análisis documental Instrumentos -Fichas de observación y análisis documental, estadísticas y otros.
¿Cuál es modelo de comportamiento de emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025?	Determinar el modelo del comportamiento de emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025	El modelamiento del comportamiento tiene permite describir la emanación de gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025	Modelo de comportamiento de gases	Generación de gases Comportamiento dinámico Factores ambientales Herramientas de modelamiento	Concentración de CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S Variación horaria o estacional de los gases Temperatura Software/simulación aplicada	Rango (ppm) Numérica continua Categórica nominal	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	V.D.				
¿Cuáles son los principales gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025? ¿Cuál es el nivel de concentración de gases emitidos contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025? ¿Cuáles son las principales medidas de mitigación de la emanación de gases del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025?	Identificar los principales gases contaminantes del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025 Medir la concentración de gases contaminantes del aire emitidos en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025 Proponer las principales medidas de mitigación de la emanación de gases del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025	Los principales gases contaminantes emitidos en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca en 2025 corresponden a metano (CH ₄), dióxido de carbono (CO ₂) y sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025 La concentración de gases contaminantes emitidos en el aire presenta efectos directos en su comportamiento en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025 Las medidas de mitigación tienen efecto directo en la emanación de gases del aire en la laguna de oxidación de la ciudad de Juliaca, 2025	Contaminación del aire	Composición del aire Efectos en la salud Impacto ambiental Cumplimiento normativo	Niveles de CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S en el ambiente Reporte de síntomas respiratorios Olor, visibilidad, afectación vegetal Comparación con LMP (límites máximos permisibles)	Rango (ppm o mg/m ³) Ordinal (leve, moderado...) Ordinal Categórica dicotómica	



OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Modelo de comportamiento de gases	Es el proceso de representación matemática, computacional o física de los patrones de generación, concentración y desplazamiento de gases contaminantes (como metano, amoníaco o sulfhídrico) en entornos específicos, como las lagunas de oxidación, con el fin de predecir su comportamiento bajo diversas condiciones ambientales.	Se medirá mediante la simulación o análisis experimental del comportamiento de los gases en función de parámetros ambientales, utilizando software de modelado o análisis de campo.	Generación de gases Comportamiento dinámico Factores ambientales Herramientas de modelamiento	Concentración de CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S Variación horaria o estacional de los gases Intervalar Temperatura, Software/simulación aplicada
Contaminación del aire	Es la presencia de sustancias químicas, físicas o biológicas en la atmósfera que alteran su composición natural y afectan negativamente la salud humana, el medio ambiente y la calidad de vida. En el contexto de las lagunas de oxidación, se refiere a la acumulación de gases contaminantes producto de procesos anaerobios de descomposición.	Se medirá mediante el registro de concentraciones de gases contaminantes en el aire y la percepción comunitaria sobre los efectos ambientales y en la salud.	Composición del aire Efectos en la salud Impacto ambiental Cumplimiento normativo	Niveles de CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S en el ambiente Reporte de síntomas respiratorios Olor, visibilidad, afectación vegetal Comparación con LMP (límites máximos permisibles)



ANEXO 3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Datos de las mediciones

Fecha_Hora	Punto_Medicion	Latitud	Longitud	Temperatura_C	CH4_ppm	CO2_por	H2S_ppm
2025-07-01 00:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	11.37	4.45	0.082	0.0121
2025-07-01 01:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	7.65	2.27	0.0476	0.0126
2025-07-01 02:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	15.22	4.03	0.0613	0.0173
2025-07-01 03:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	19.15	2.99	0.0756	0.0122
2025-07-01 04:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	10.17	3.32	0.0676	0.0087
2025-07-01 05:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	15.4	2.62	0.0725	0.012
2025-07-01 06:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	12.75	4.1	0.0635	0.012
2025-07-01 07:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	15.07	2.37	0.0844	0.0101
2025-07-01 08:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	6.11	4.18	0.0808	0.0113
2025-07-01 09:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	10.18	2.25	0.0777	0.0101
2025-07-01 10:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	7.07	3.09	0.0455	0.0127
2025-07-01 11:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	9.4	3.63	0.0613	0.0104
2025-07-01 12:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	14.29	2.68	0.0974	0.0151
2025-07-01 13:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.97	4.79	0.0959	0.0198
2025-07-01 14:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	6.5	2.32	0.0448	0.0072
2025-07-01 15:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	11.61	2.76	0.0864	0.01
2025-07-01 16:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	9.78	3.35	0.0552	0.0131
2025-07-01 17:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	6.27	4.28	0.0734	0.0059
2025-07-01 18:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	5.09	3.79	0.0685	0.0101
2025-07-01 19:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	18.11	2.59	0.0806	0.0111
2025-07-01 20:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	19.67	4.04	0.0826	0.0114
2025-07-01 21:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	10.29	2.83	0.0798	0.0119
2025-07-01 22:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.08	3.68	0.0749	0.0175
2025-07-01 23:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	17.93	3.8	0.0967	0.0144
2025-07-02 00:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	13.89	3.26	0.0588	0.0089
2025-07-02 01:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	5.53	3.37	0.0536	0.0083



2025-07-02 02:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.43	3.14	0.0873	0.018
2025-07-02 03:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	8.89	2.14	0.0594	0.0069
2025-07-02 04:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.8	4.56	0.0969	0.0192
2025-07-02 05:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	18.66	2.9	0.103	0.0152
2025-07-02 06:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	18.73	4.68	0.0802	0.0114
2025-07-02 07:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	8.87	3.01	0.0805	0.0132
2025-07-02 08:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	5.12	3.03	0.0569	0.0056
2025-07-02 09:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	7.04	2.7	0.0818	0.0074
2025-07-02 10:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	13.82	3.95	0.0722	0.0167
2025-07-02 11:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	21.36	3.2	0.0926	0.0144
2025-07-02 12:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	9.84	2.08	0.0741	0.0104
2025-07-02 13:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	5.88	2.49	0.0781	0.0061
2025-07-02 14:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	7.46	3.1	0.0844	0.0069
2025-07-02 15:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	16.43	4.23	0.0724	0.0158
2025-07-02 16:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	11.25	3.64	0.0778	0.0114
2025-07-02 17:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	6.53	3.92	0.0559	0.0059
2025-07-02 18:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	5.69	3.26	0.0685	0.004
2025-07-02 19:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	13.71	2.75	0.0832	0.0094
2025-07-02 20:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	16.75	3.3	0.101	0.0106
2025-07-02 21:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	10.8	2.32	0.0886	0.0143
2025-07-02 22:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	9.39	3.62	0.0815	0.0107
2025-07-02 23:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	14	2.8	0.0617	0.0161
2025-07-03 00:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.31	4.1	0.0842	0.0143
2025-07-03 01:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	17.34	4.61	0.1002	0.0167
2025-07-03 02:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	15.91	2.51	0.0683	0.017
2025-07-03 03:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	15.31	2.29	0.0647	0.0146
2025-07-03 04:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	5.09	2.16	0.0621	0.0098
2025-07-03 05:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	16.08	2.86	0.0907	0.0112
2025-07-03 06:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	10.53	3.89	0.077	0.0139
2025-07-03 07:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	16.18	3.73	0.0661	0.0124



2025-07-03 08:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	9.51	2.59	0.0879	0.0093
2025-07-03 09:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.16	4.09	0.1021	0.0156
2025-07-03 10:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	14.81	3.47	0.0674	0.0149
2025-07-03 11:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	9.77	2.05	0.0754	0.0075
2025-07-03 12:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.99	4.93	0.1086	0.0148
2025-07-03 13:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	5.26	4.08	0.0577	0.0123
2025-07-03 14:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	21.38	4.7	0.0845	0.0152
2025-07-03 15:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	19.47	3.27	0.0757	0.0157
2025-07-03 16:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.91	4.29	0.0946	0.0123
2025-07-03 17:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	15.46	4.75	0.0665	0.0134
2025-07-03 18:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	19.92	4.35	0.0977	0.0173
2025-07-03 19:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	11.11	2.79	0.0846	0.0138
2025-07-03 20:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	19.74	4.77	0.0899	0.0154
2025-07-03 21:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	18.57	4.05	0.0952	0.0174
2025-07-03 22:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	20.13	3.35	0.0853	0.0119
2025-07-03 23:00:00	Punto_A	-15.4871	-70.1332	14.83	2.33	0.0783	0.0133
2025-07-01 00:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	9.87	3.47	0.051	0.0063
2025-07-01 01:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	18.98	3.35	0.0731	0.0152
2025-07-01 02:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	18.09	2.94	0.0911	0.0108
2025-07-01 03:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	5.88	3.12	0.0634	0.0097
2025-07-01 04:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	17.34	4.81	0.0853	0.0126
2025-07-01 05:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	18.52	3.1	0.0846	0.011
2025-07-01 06:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	5.43	4.18	0.0743	0.01
2025-07-01 07:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	11.95	2.53	0.0602	0.0092
2025-07-01 08:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	14.34	4	0.0851	0.0107
2025-07-01 09:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	21.23	4.41	0.0946	0.0171
2025-07-01 10:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	12.13	2.73	0.0685	0.0139
2025-07-01 11:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	5.24	2.05	0.0423	0.004
2025-07-01 12:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	19.54	4.24	0.0881	0.0117
2025-07-01 13:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	13.36	3.35	0.0636	0.0116



2025-07-01 14:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	11.77	3.63	0.079	0.0073
2025-07-01 15:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	11.37	3.63	0.0729	0.0144
2025-07-01 16:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	16.2	2.72	0.0652	0.0149
2025-07-01 17:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	5.45	3.24	0.0785	0.0089
2025-07-01 18:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	11.6	3.69	0.0715	0.0117
2025-07-01 19:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	21	3.52	0.1105	0.0197
2025-07-01 20:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	8.33	2.09	0.0507	0.0053
2025-07-01 21:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	6.61	3.54	0.0461	0.0072
2025-07-01 22:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	19.36	2.53	0.1013	0.0132
2025-07-01 23:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	7.01	3.59	0.0692	0.0124
2025-07-02 00:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	17.5	4.38	0.0763	0.0113
2025-07-02 01:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	17.76	4.41	0.1051	0.0136
2025-07-02 02:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	11.32	4.01	0.0663	0.015
2025-07-02 03:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	19.59	3.55	0.0992	0.0176
2025-07-02 04:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	6.75	4.09	0.0637	0.0118
2025-07-02 05:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	10.44	4.26	0.0664	0.0063
2025-07-02 06:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	20.39	2.75	0.0836	0.0197
2025-07-02 07:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	21.16	3.99	0.0976	0.0156
2025-07-02 08:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	9.98	2.82	0.0769	0.0128
2025-07-02 09:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	18.46	4.4	0.0706	0.0147
2025-07-02 10:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	5.98	3.17	0.0596	0.012
2025-07-02 11:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	10.97	2.34	0.0577	0.0133
2025-07-02 12:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	15.51	2.53	0.0644	0.0151
2025-07-02 13:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	6.24	3.87	0.0707	0.0049
2025-07-02 14:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	6.44	4.29	0.0579	0.0076
2025-07-02 15:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	18.82	4.81	0.1071	0.0172
2025-07-02 16:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	11.4	2.28	0.0839	0.0117
2025-07-02 17:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	12.21	4.38	0.0589	0.0115
2025-07-02 18:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	5.19	2.93	0.0426	0.0047
2025-07-02 19:00:00	Punto B	-15.4865	-70.1315	7	3.47	0.0738	0.0097



2025-07-02 20:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	21.36	3.51	0.0841	0.0195
2025-07-02 21:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	8.8	4.35	0.0481	0.0141
2025-07-02 22:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	5.73	4.01	0.0626	0.0128
2025-07-02 23:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	6.25	3.2	0.0813	0.0088
2025-07-03 00:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	15.7	4.02	0.0796	0.0145
2025-07-03 01:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	14.93	4.5	0.0617	0.011
2025-07-03 02:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	21.16	4.78	0.0905	0.0172
2025-07-03 03:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	9.72	2.46	0.068	0.009
2025-07-03 04:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	14.92	2.44	0.0988	0.0173
2025-07-03 05:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	16.87	3.68	0.0761	0.0168
2025-07-03 06:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	16.64	2.74	0.0997	0.0167
2025-07-03 07:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	21.15	4.37	0.0968	0.0153
2025-07-03 08:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	20.86	4.71	0.0735	0.0117
2025-07-03 09:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	11.4	4.1	0.0923	0.0081
2025-07-03 10:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	15.1	3.21	0.099	0.0161
2025-07-03 11:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	19.25	3.63	0.0851	0.0131
2025-07-03 12:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	5.96	3.96	0.0744	0.013
2025-07-03 13:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	21.94	3.99	0.1046	0.0205
2025-07-03 14:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	19.44	3.09	0.0869	0.0119
2025-07-03 15:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	21.22	4.08	0.0816	0.0177
2025-07-03 16:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	15.51	3.17	0.0656	0.0148
2025-07-03 17:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	13.85	4.12	0.0785	0.0156
2025-07-03 18:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	14.38	3.62	0.0938	0.0118
2025-07-03 19:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	7.28	1.94	0.0748	0.0102
2025-07-03 20:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	16.97	2.88	0.0694	0.0096
2025-07-03 21:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	10.96	3.52	0.0676	0.0104
2025-07-03 22:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	20.37	3.39	0.0913	0.0182
2025-07-03 23:00:00	Punto_B	-15.4865	-70.1315	11.74	3.64	0.088	0.0154
2025-07-01 00:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.5	4.19	0.0647	0.0071
2025-07-01 01:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	12.81	4.59	0.0753	0.0104



2025-07-01 02:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	15.77	2.89	0.0646	0.01
2025-07-01 03:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.18	2.24	0.0499	0.0104
2025-07-01 04:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.09	2.77	0.0821	0.0093
2025-07-01 05:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	16.35	2.75	0.0704	0.0095
2025-07-01 06:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.87	2.59	0.0528	0.0057
2025-07-01 07:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.05	3	0.0524	0.0078
2025-07-01 08:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	13.56	3.9	0.0587	0.015
2025-07-01 09:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	15.67	2.49	0.0963	0.0171
2025-07-01 10:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	6.04	2.49	0.0743	0.0108
2025-07-01 11:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.14	2.43	0.0611	0.0094
2025-07-01 12:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	15.51	3.2	0.0795	0.0155
2025-07-01 13:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	5.62	2.41	0.0698	0.0119
2025-07-01 14:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	13.7	3.52	0.0617	0.0119
2025-07-01 15:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	14.05	2.81	0.0689	0.0114
2025-07-01 16:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	5.34	2.57	0.0491	0.0066
2025-07-01 17:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.04	4.08	0.0678	0.0106
2025-07-01 18:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	18.42	3.67	0.0703	0.015
2025-07-01 19:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	14.98	4.11	0.0772	0.0096
2025-07-01 20:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	9.82	2.9	0.0755	0.011
2025-07-01 21:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	11.05	4.52	0.0763	0.0087
2025-07-01 22:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	6.73	2.22	0.0533	0.0058
2025-07-01 23:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.17	2.62	0.0533	0.0132
2025-07-02 00:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	6.36	3.13	0.0591	0.013
2025-07-02 01:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	6.9	2.84	0.0826	0.0122
2025-07-02 02:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	18.89	3.09	0.0746	0.0165
2025-07-02 03:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	20.8	3.93	0.0945	0.0139
2025-07-02 04:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	18.08	2.87	0.0791	0.0139
2025-07-02 05:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	13.63	2.79	0.0619	0.0133
2025-07-02 06:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	9.91	3.45	0.056	0.0103
2025-07-02 07:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	14.05	2.33	0.0716	0.0092



2025-07-02 08:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	6.08	4.28	0.055	0.0113
2025-07-02 09:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	9.33	3.67	0.0791	0.011
2025-07-02 10:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	13.02	3.18	0.07	0.0159
2025-07-02 11:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	19.12	4.87	0.0732	0.0171
2025-07-02 12:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	20.95	3	0.0746	0.0181
2025-07-02 13:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	14.77	4.34	0.0651	0.0155
2025-07-02 14:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.43	2.33	0.0534	0.0125
2025-07-02 15:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	16.31	3.62	0.077	0.017
2025-07-02 16:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	11.67	4.13	0.0709	0.0102
2025-07-02 17:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	12.87	2.9	0.0856	0.012
2025-07-02 18:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.95	4.2	0.0633	0.0104
2025-07-02 19:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	20.41	4.08	0.0755	0.0197
2025-07-02 20:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	15.67	3.12	0.0669	0.016
2025-07-02 21:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	15.54	3.61	0.0968	0.0159
2025-07-02 22:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.58	2.66	0.0551	0.0115
2025-07-02 23:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	5.57	3.2	0.0716	0.0117
2025-07-03 00:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	10.82	4.09	0.0561	0.014
2025-07-03 01:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.17	2.85	0.0762	0.0059
2025-07-03 02:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.9	3.75	0.0766	0.0112
2025-07-03 03:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	16.8	3.7	0.0737	0.0125
2025-07-03 04:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.09	4.18	0.0695	0.0087
2025-07-03 05:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	12.85	4.51	0.0618	0.0127
2025-07-03 06:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	13.6	3.71	0.0579	0.0156
2025-07-03 07:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	20.85	3.96	0.0996	0.0197
2025-07-03 08:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	17.02	2.73	0.0871	0.015
2025-07-03 09:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	12.21	3.95	0.0918	0.0154
2025-07-03 10:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	12.66	2.42	0.0947	0.0149
2025-07-03 11:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.12	4.16	0.079	0.0092
2025-07-03 12:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	15.05	3.25	0.0623	0.0115
2025-07-03 13:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	18.65	2.44	0.0806	0.0139



2025-07-03 14:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	14.14	4.51	0.0721	0.0112
2025-07-03 15:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	17.54	3.51	0.0741	0.0138
2025-07-03 16:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.39	2.31	0.0647	0.0085
2025-07-03 17:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	20.55	3.43	0.0943	0.017
2025-07-03 18:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	5.22	3.42	0.0476	0.0123
2025-07-03 19:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	7.53	2.91	0.0485	0.0137
2025-07-03 20:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	13.54	3.67	0.0598	0.0145
2025-07-03 21:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	8.57	4.17	0.0553	0.007
2025-07-03 22:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	5.62	2.96	0.0638	0.0044
2025-07-03 23:00:00	Punto_C	-15.488	-70.132	18.18	3.54	0.0873	0.0141
2025-07-01 00:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	11.81	3.49	0.0598	0.0085
2025-07-01 01:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.65	4.85	0.0842	0.0133
2025-07-01 02:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	15.95	3.32	0.0629	0.0104
2025-07-01 03:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	17.17	4.01	0.0654	0.0116
2025-07-01 04:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.93	3.63	0.0486	0.0064
2025-07-01 05:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	18.6	2.88	0.0933	0.0124
2025-07-01 06:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	6.69	2.44	0.0723	0.012
2025-07-01 07:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.11	3.45	0.095	0.0124
2025-07-01 08:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.98	4.24	0.0505	0.0068
2025-07-01 09:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.53	1.99	0.0543	0.0105
2025-07-01 10:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	12.16	4.34	0.087	0.0102
2025-07-01 11:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.41	2.92	0.0724	0.0081
2025-07-01 12:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	15.61	3.3	0.0833	0.0127
2025-07-01 13:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	10.01	4.37	0.0806	0.0073
2025-07-01 14:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.76	3.71	0.1053	0.0181
2025-07-01 15:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	12.23	2.17	0.0652	0.012
2025-07-01 16:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	15.77	2.93	0.0671	0.0164
2025-07-01 17:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	21.73	3.9	0.0803	0.0143
2025-07-01 18:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	5.31	4.05	0.0453	0.0088
2025-07-01 19:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.66	3.37	0.0754	0.0133



2025-07-01 20:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.51	1.95	0.0525	0.0134
2025-07-01 21:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.86	3.99	0.0937	0.0169
2025-07-01 22:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	7.98	4.19	0.0627	0.0084
2025-07-01 23:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	13.82	2.31	0.0643	0.0146
2025-07-02 00:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	6.41	3.33	0.0526	0.0077
2025-07-02 01:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.91	2.88	0.0786	0.0086
2025-07-02 02:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	14.63	3.42	0.0858	0.0167
2025-07-02 03:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	17.45	2.91	0.0662	0.0121
2025-07-02 04:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	15.12	2.38	0.0801	0.0139
2025-07-02 05:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	10.68	3.96	0.0556	0.007
2025-07-02 06:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	17.38	3.61	0.0923	0.0136
2025-07-02 07:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.19	4.01	0.0804	0.0118
2025-07-02 08:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.63	3.46	0.0637	0.0066
2025-07-02 09:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	20.59	2.87	0.1092	0.0153
2025-07-02 10:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.15	3.26	0.0812	0.0117
2025-07-02 11:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	18.71	4.08	0.0951	0.018
2025-07-02 12:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.24	3.19	0.0573	0.0145
2025-07-02 13:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	21.05	2.65	0.1003	0.0199
2025-07-02 14:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.07	3.32	0.0828	0.0053
2025-07-02 15:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	16.86	3.09	0.1007	0.0182
2025-07-02 16:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	21.05	3.74	0.1066	0.0191
2025-07-02 17:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	10.42	4.09	0.0523	0.0116
2025-07-02 18:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.91	2.25	0.0509	0.0117
2025-07-02 19:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	10.78	3.85	0.0542	0.0092
2025-07-02 20:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	14.17	4.19	0.0711	0.0137
2025-07-02 21:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	20.06	4.04	0.0794	0.0113
2025-07-02 22:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.79	2.54	0.1046	0.0157
2025-07-02 23:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	20.96	4.55	0.1118	0.0146
2025-07-03 00:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	18.04	3.41	0.0853	0.0157
2025-07-03 01:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.85	4.95	0.1004	0.0147



2025-07-03 02:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	12.16	3.95	0.0639	0.0081
2025-07-03 03:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	11.03	2.77	0.0639	0.0086
2025-07-03 04:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	5.72	1.83	0.0809	0.0077
2025-07-03 05:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	11.53	3.78	0.0618	0.0153
2025-07-03 06:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	18.37	2.64	0.0834	0.0181
2025-07-03 07:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	21.06	3.72	0.0967	0.013
2025-07-03 08:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	21.85	3.17	0.1114	0.0178
2025-07-03 09:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	15.33	3.55	0.0699	0.0103
2025-07-03 10:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.75	2.4	0.0787	0.0085
2025-07-03 11:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	5.98	4.22	0.0773	0.0123
2025-07-03 12:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	21.91	3.03	0.0897	0.0188
2025-07-03 13:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	16.83	2.73	0.0963	0.0114
2025-07-03 14:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	8.8	3.28	0.0713	0.0106
2025-07-03 15:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	6.56	4.02	0.0537	0.0054
2025-07-03 16:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	20.11	4.89	0.1047	0.0183
2025-07-03 17:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	16.14	3.68	0.0658	0.0127
2025-07-03 18:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	11.34	2.72	0.0816	0.0111
2025-07-03 19:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	6.38	2.37	0.0701	0.0049
2025-07-03 20:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.47	3.71	0.0882	0.0161
2025-07-03 21:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.02	3.32	0.0952	0.0156
2025-07-03 22:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	9.54	4.17	0.081	0.0117
2025-07-03 23:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.134	19.46	4.64	0.0973	0.0183

Procedimiento de información y datos en Minitab

Minitab - modelamiento.MPJ

Archivo Edición Datos Calc Estadísticas Gráfica Editor Herramientas Ventana Ayuda

La ecuación de regresión es
 $H2S_ppm = 0.004336 + 0.000447 \text{ Temperatura_C} + 0.000020 \text{ CH4_ppm} + 0.0266 \text{ CO2_}\%$

Predictor	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante	0.0043554	0.0009632	4.52	0.000
Temperatura_C	0.00044652	0.00003955	11.29	0.000
CH4_ppm	0.0000195	0.0002111	0.09	0.926
CO2_%	0.02664	0.01273	2.09	0.037

S = 0.00256487 R-cuad. = 50.9% R-cuad. (ajustado) = 50.4%

Análisis de varianza

Hoja de trabajo 1 ***

	C1-D	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Fecha_Hora	Punto_Medicion	Latitud	Longitud	Temperatura_C	CH4_ppm	CO2_%	H2S_ppm	
280	2025-07-03 15:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	6.56	4.02	0.0537	0.0054	
281	2025-07-03 16:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	20.11	4.89	0.1047	0.0183	
282	2025-07-03 17:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	16.14	3.68	0.0658	0.0127	
283	2025-07-03 18:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	11.34	2.72	0.0816	0.0111	
284	2025-07-03 19:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	6.38	2.37	0.0701	0.0049	
285	2025-07-03 20:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	19.47	3.71	0.0882	0.0161	
286	2025-07-03 21:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	19.02	3.32	0.0952	0.0156	
287	2025-07-03 22:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	9.54	4.17	0.0810	0.0117	
288	2025-07-03 23:00:00	Punto_D	-15.4875	-70.1340	19.46	4.64	0.0973	0.0183	
289									
290									

Procedimiento de información en RStudio

RStudio

File Edit Tools View Plots Session Build Debug Profile Task Help

Environment History Connections Plots

Global Environment

Data

- datos 288 obs. of 10 variables
- datos_c10 70 obs. of 1 variable
- datos_d1a 95 obs. of 9 variables
- datos_d1a2 92 obs. of 9 variables
- datos_H2S 70 obs. of 1 variable
- datos_pymedio 70 obs. of 1 variable
- datos_TF 288 obs. of 7 variables

Plots

Comparación horaria de sulfuro de hidrógeno (H₂S)
Laguna de Otación de Juliaca - 01 al 03 de julio de 2025

```

library(tidyverse)
library(sf)

# linking to QGIS 3.18.0, QGIS 3.10.1, PROJ 9.1.1; sf.utils(2) is
# TRUE

datos = read_csv("C:/Users/usuario/Desktop/datos/Laguna_Juliaca.xlsx")
library(dplyr)

datos_sf = datos %>%
  mutate(longitud = as.numeric(longitud), latitud = as.numeric(latitud))
  %>%
  ggplot(data = datos_sf) %>%
  filter(Fecha_Hora == "2025-07-01 12:00:00") +
  aes(color = CH4_ppm, ylab = "H2S") +
  theme_minimal() +
  labs(title = "Concentración de H2S a las 12:00 - Laguna de Juliaca",
       color = "CH4_ppm")
datos_sf = datos %>%
  mutate(longitud = as.numeric(longitud), latitud = as.numeric(
  
```



Código fuente para el modelamiento en RStudio

```
> library(readxl)
> library(dplyr)
> library(ggplot2)
> library(lubridate)
> datos <- read_excel("C:/Users/usuario/Downloads/Emisiones_Laguna_Juliaca.xlsx")
> datos <- read_excel("C:/Users/usuario/Downloads/Emisiones_Laguna_Juliaca2.xlsx")
> datos$Fecha_Hora <- ymd_hms(datos$Fecha_Hora)
> datos <- datos %>%
+   mutate(
+     Fecha = date(Fecha_Hora),
+     Hora = hour(Fecha_Hora)
+   )
>
> datos_co2 <- datos %>%
+   group_by(Fecha, Hora) %>%
+   summarise(CO2_promedio = mean(CO2_%, na.rm = TRUE), .groups = 'drop')
> datos_co2 <- datos %>%
+   group_by(Fecha, Hora) %>%
+   summarise(CO2_promedio = mean(CO2_por, na.rm = TRUE), .groups = 'drop')
> ggplot(datos_co2, aes(x = Hora, y = CO2_promedio, color = as.factor(Fecha))) +
+   geom_line(size = 1.2) +
+   geom_point(size = 2) +
+   theme_minimal() +
+   labs(
+     title = "Comparación horaria de dióxido de carbono (CO2)",
+     subtitle = "Laguna de Oxidación de Juliaca - 01 al 03 de julio de 2025"
+   ),
+   x = "Hora del día",
```



```
+   y = "Concentración promedio de CO2 (%)",
+   color = "Fecha"
+ ) +
+   scale_x_continuous(breaks = 0:23)
> ggplot(datos_h2s, aes(x = Hora, y = H2S_promedio, color = as.factor(Fecha))) +
+   geom_line(size = 1.2) +
+   geom_point(size = 2) +
+   theme_minimal() +
+   labs(
+     title = "Comparación horaria de sulfuro de hidrógeno (H2S)",
+     subtitle = "Laguna de Oxidación de Juliaca - 01 al 03 de julio de 2025"
+   ,
+     x = "Hora del día",
+     y = "Concentración promedio de H2S (ppm)",
+     color = "Fecha"
+   ) +
+   scale_x_continuous(breaks = 0:23)

> datos <- datos %>%
+   mutate(
+     Fecha = date(Fecha_Hora),
+     Hora = hour(Fecha_Hora)
+   )
> datos_h2s <- datos %>%
+   group_by(Fecha, Hora) %>%
+   summarise(H2S_promedio = mean(H2S_ppm, na.rm = TRUE), .groups
= 'drop')
> ggplot(datos_h2s, aes(x = Hora, y = H2S_promedio, color = as.factor(Fecha))) +
+   geom_line(size = 1.2) +
+   geom_point(size = 2) +
+   theme_minimal() +
+   labs(
```



```
+ title = "Comparación horaria de sulfuro de hidrógeno (H2S)",  
+ subtitle = "Laguna de Oxidación de Juliaca - 01 al 03 de julio de 2025"  
,  
+ x = "Hora del día",  
+ y = "Concentración promedio de H2S (ppm)",  
+ color = "Fecha"  
+ ) +  
+ scale_x_continuous(breaks = 0:23)
```

VALIDACION DE INSTRUMENTO

MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL

AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

OPINIÓN DE EXPERTO

I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	MIGUEL A. MORALES ARIZACA
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	KLEVER CANAZA CANAZA

II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXLENTE
		0 - 20%	21 - 40%	41 - 60%	61 - 80%	81 - 100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%


III. OPINION DE APLICATIBILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

IV. PROMEDIO DE VALORACION:

98.22%




Miguel A. Morales Arizaca
ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
CIP. 112664

VALIDACION DE INSTRUMENTO

MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

OPINIÓN DE EXPERTO

I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	LUDVER EFRAIN QUILLÉ SALGUERO
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	KLEVER CANAZA CANAZA

II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 – 20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81 – 100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

III. OPINION DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

IV. PROMEDIO DE VALORACION:

91.42%


LUDVER EFRAIN QUILLÉ SALGUERO
Ingeniero Sanitario y Ambiental
CIP N° 268708

VALIDACION DE INSTRUMENTO

MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

OPINIÓN DE EXPERTO

I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	SILVIA V. QUISPE LAURA
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	KLEVER CANAZA CANAZA

II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 – 20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81 – 100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

III. OPINION DE APLICATIBILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

IV. PROMEDIO DE VALORACION:

96.52%


SILVIA V. QUISPE LAURA
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL
CIP: 369398



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 11 - 11 - 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: KLEVER CANAZA CANAZA

Dirección: CALLE NUEVA MZ A-2 LT-13 URB. CESAR VALLEJO

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 43282249

Teléfono: 998004866 email: klevercnz55@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): MODELAMIENTO, COMPORTAMIENTO DE GASES, LAGUNA DE OXIDACIÓN

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

11 - 11 - 2025

Fecha