



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS
MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD
DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RONAL PACORI ZAPANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

JULIACA - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS
MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD
DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RONAL PACORI ZAPANA

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

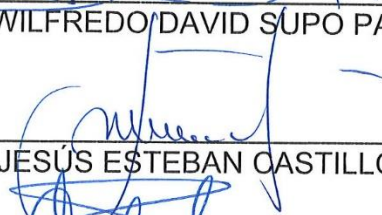
PRESIDENTE

: 
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

: 
Mgtr. WILFREDO DAVID SUÑO PACORI

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 1489-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 11 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 11235 presentado por el (la) Bachiller: **RONAL PACORI ZAPANA** 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. **RONAL PACORI ZAPANA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**, 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. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

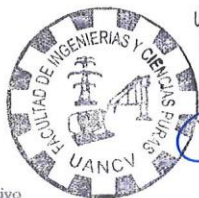
ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **RONAL PACORI ZAPANA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : miércoles 19 de noviembre del 2025
- * **HORA** : 09:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - 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.

cc.
Archivo
interesado (a)UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1233-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 07 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-8831 por el señor (a): **RONAL PACORI ZAPANA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 920-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 055 - 2025 del integrante del comité de investigación 1233 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): **RONAL PACORI ZAPANA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**, 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 **M.Sc. 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° 055 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN 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.

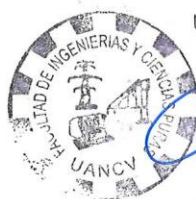
RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **RONAL PACORI ZAPANA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

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 Cs. PURAS

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



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Dr. Eric Villy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



TESIS UANCV

UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1090-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7745, presentado por el señor (a) **RONAL PACORI ZAPANA** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveedor del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 726-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **RONAL PACORI ZAPANA** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 726-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**.

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 del Director de la Unidad 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, 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 **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, designado al señor (a): **RONAL PACORI ZAPANA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**, se le asigna como:

ASESOR: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

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. VIAMONTE 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 2025
Interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 726-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 4724, presentado por el señor (a) **RONAL PACORI ZAPANA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO – N° 470 -2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 040-2025 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): **RONAL PACORI ZAPANA** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**, 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° 040-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024**.

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 merito 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): **RONAL PACORI ZAPANA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024** 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. MILTHON QUISPE HUANCA**.

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. PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURASDr. Fritz Wally Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo 2025
Interesado (a)



RONAL PACORI ZAPANA

EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE J...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::13016:543680254

Fecha de entrega

30 dic 2025, 21:59 GMT-5

Fecha de descarga

31 dic 2025, 6:46 GMT-5

Nombre del archivo

T036_74444434_T.docx

Tamaño del archivo

28.5 MB

110 páginas

14.363 palabras

81.055 caracteres



8% 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

- 7%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  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 - UANCV

TÍTULO	
EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	RONAL PACORI ZAPANA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74444434
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-5303-4858
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673
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	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Coordenadas Latitud: 15°29'27"S Longitud: 70°07'37"W  URL Google Maps https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1GCo_z4nXo-s5-PZ1HD-a9h8JXSJn_pI&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00 Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PUNO
Dr. César G. Camargo Najjar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, RONAL PACORI ZAPANA identificado con DNI Nro. 74444434
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:

EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE
TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE
EL AÑO 2024

Asesorado por: DR. LEONEL SUASACA PELINCO

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 10 de DICIEMBRE del 20 25


FIRMA ASESOR


FIRMA TESISTA


Huella



DEDICATORIA

Este estudio está dedicada al divino Padre, quien nunca me abandonó aun cuando mi vida parecía desvanecerse. Gracias por darme la fuerza necesaria para superar la enfermedad, por sujetarme en las circunstancias más arduas y por mostrarme tu amor infinito. Hoy estoy vivo gracias a tu misericordia y a esta nueva oportunidad que me regalaste.

A mi amado padre, Fabián Pacori Paricahua, quien desde el cielo dirige mi camino y está presente en cada uno de mis triunfos.

A mi madre, Gerarda Zapana, por su fortaleza inquebrantable, por ser una luchadora incansable y por sacar siempre adelante a sus hijos.

A mis hermanos, por su respaldo incondicional, su compañerismo a lo largo de mi preparación académica y, sobre todo, durante los períodos más difíciles de mi bienestar físico.

Ronal Pacori Zapana



AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincera gratitud a mi Madre, cuyo cariño y respaldo sin condiciones han sido la base de todos mis éxitos; a mis hermanos Ramiro y Vidal, por ser mi sostén en los momentos críticos y mi constante motivación; a mis profesores por sus lecciones invaluable y acertadas orientaciones que guiaron mi desarrollo profesional; a mis amigos y colegas de estudio, por su compañerismo, sus ánimos y por recorrer junto a mí cada fase de este proceso. A todos ustedes, mi más sincera gratitud por haber sido parte esencial en la realización de esta tesis.

Ronal Pacori Zapana



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Análisis de la situación problemática	16
1.2 Planteamiento del problema	17
1.2.1 Problema general	17
1.2.2 Problemas específicos	17
1.3 Justificación	18
1.4 Objetivos de la investigación	19
1.4.1 Objetivo general	19
1.4.2 Objetivo específico	19
1.5 Variables.....	19
1.5.1 Variable de Caracterización	19
1.5.2 Variable de Interés o Estudio.	19
1.6 Operacionalización de variables.	20



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1	Antecedentes Internacionales	21
2.1.2	Antecedentes Nacionales.....	23
2.1.3	Antecedentes Locales	25
2.2	Bases Teóricas	26
2.2.1	Contaminantes Atmosféricos.....	26
2.2.2	Monóxido de Carbono (CO)	27
2.2.3	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	28
2.2.4	Dióxido de Azufre (SO ₂).	29
2.2.5	Ozono (O ₃)	29
2.2.6	Formaldehído (HCHO)	30
2.2.7	Aerosoles.	31
2.2.8	Fuentes de Emisión.....	31
2.2.9	Métodos de Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos	32
2.2.10	Teledetección	33
2.2.11	Sensores y Satelitales	33
2.2.12	Programas Satelitales	33
2.2.13	Programa Sentinel.....	34
2.2.13.1	Sentinel – 5.....	34
2.2.13.2	Sensor TROMPONI (SENTINEL 5P).....	34
2.2.14	Google Earth Engine	35



2.3	Marco Conceptual.....	36
-----	-----------------------	----

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Tipo de la Investigación	38
3.2	Nivel de la Investigación	38
3.3	Diseño de la Investigación	39
3.4	Enfoque de Investigación.....	39
3.5	Población y Muestra	39
3.5.1	Población.....	39
3.5.2	Muestra	39
3.6	Ubicación del área de estudio.....	39
3.7	Técnica e instrumentos de Recolección de Datos	40
3.7.1	Técnicas empleadas	40
3.7.2	Instrumentos.....	40
3.8	Procedimiento Metodológico para cada Objetivo.....	40
3.8.1	Procedimiento Metodológico para el Objetivo Específico 1.....	40
3.8.2	Procedimiento Metodológico para el Objetivo Específico 2.....	45
3.8.3	Procedimiento Metodológico para el Objetivo Específico 3.....	46

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados por Objetivos.....	47
-----	-------------------------------	----



4.1.1 Recopilar imágenes satelitales de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.	47
4.1.2 Analizar la distribución espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024	49
4.1.3 Determinar las concentraciones máximo y mínimo de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles).	74
4.2 Discusiones.....	81
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXO.....	91



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de Variables	20
Tabla 2	Clasificación de las fuentes de emisión de los Contaminantes Atmosféricos.....	31
Tabla 3	Métodos de Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos	32
Tabla 4	Dataset y Bandas Empleada en Google Earth Engine	42
Tabla 5	Leguande de Programación JavaScrip Utilizado en GEE	48
Tabla 6	Prueba de Normalidad de Kolmogorov - Smirnov de los Contaminantes Atmosféricos Registrados por Sentinel - 5P	74
Tabla 7	Concentraciones Mensuales de Dióxido de Azufre en la Ciudad de Juliaca, 2024.	75
Tabla 8	Concentraciones Mensuales de Ozono en la Ciudad de Juliaca, 2024.....	76
Tabla 9	Concentraciones Mensuales de Dióxido de Nitrógeno en la ciudad de Juliaca, 2024.	77
Tabla 10	Concentraciones Mensuales de Monóxido de Carbono en la Ciudad de Juliaca, 2024.	78
Tabla 11	Concentraciones Mensuales de Formaldehído en la Ciudad de Juliaca, 2024.	79
Tabla 12	Concentraciones Mensuales de Aerosoles en la Ciudad de Juliaca, 2024.	81



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Plataforma de Google Earth Engine	36
Figura 2	Mapa de ubicación de la ciudad de Juliaca	40
Figura 3	Data del satélite Sentinel 5P en la ´plataforma Google Earth Engine..	41
Figura 4	Elección de los contaminantes atmosféricos para ser exportados mediante imágenes satelitales	41
Figura 5	Delimitación de la ciudad de Juliaca en la plataforma de Google Earth Engine con un buffer de 15 km.....	44
Figura 6	Delimitación de la ciudad de Juliaca con shapefile en el programa ArcGIS	45
Figura 7	Extracción de los datos en el programa ArcGIS 7	45
Figura 8	Distribución de los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Juliaca.....	46
Figura 9	Análisis espacio - temporal del SO ₂ en la ciudad de Juliaca de Enero a Abril del 2024	50
Figura 10	Análisis espacio - temporal del SO ₂ en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024.....	51
Figura 11	Análisis espacio - temporal del SO ₂ en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024	52
Figura 12	Análisis espacio - temporal del O ₃ en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024.....	53
Figura 13	Análisis espacio - temporal del O ₃ en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024.....	54
Figura 14	Análisis espacio - temporal del O ₃ en la Ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024	55



Figura 15 Análisis espacio - temporal del NO ₂ en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024	56
Figura 16 Análisis espacio - temporal del NO ₂ en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024	57
Figura 17 Análisis espacio - temporal del NO ₂ en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024	58
Figura 18 Análisis espacio - temporal del CO en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024	59
Figura 19 Análisis espacio - temporal del CO en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024	60
Figura 20 Análisis espacio - temporal del CO en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024	61
Figura 21 Análisis espacio - temporal del Formaldehído en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024	62
Figura 22 Análisis espacio - temporal del Formaldehído en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024	63
Figura 23 Análisis espacio - temporal del Formaldehído en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024	64
Figura 24 Análisis espacio - temporal del Aerosol en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024	65
Figura 25 Análisis espacio - temporal del Aerosol en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024	66
Figura 26 Análisis espacio - temporal del Aerosol en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024	67



Figura 27 Variación mensual de la concentración del contaminante Dióxido de Azufre (SO_2).....	68
Figura 28 Variación mensual de la concentración del contaminante Ozono (O_3).....	69
Figura 29 Variación mensual de la concentración del contaminante Dióxido de Nitrógeno (NO_2).....	70
Figura 30 Variación mensual de la concentración del contaminante Monóxido de Carbono (CO).....	71
Figura 31 Variación mensual de la concentración del contaminante Formaldehído (HCHO).....	72
Figura 32 Variación mensual de la concentración del contaminante Aerosol.....	73



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia	92
Anexo 2 JavaScript del Contaminante NO ₂ usado para la Descarga de Datos. ...	93
Anexo 3 Java Script del Contaminante O ₃ usado para la Descarga de Datos.....	94
Anexo 4 JavaScript del Contaminante Formaldehído usado para la Descarga de Datos.	95
Anexo 5 JavaScript del Contaminante SO ₂ usado para la Descarga de Datos. ..	96
Anexo 6 JavaScript del contaminante Aerosol usado para la Descarga de Datos.	97
Anexo 7 JavaScript del Contaminante CO usado para la Descarga de Datos	98

RESUMEN

El actual análisis posee por fin evaluar el comportamiento temporal y espacial de las poluciones atmosféricas (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , formaldehído y aerosoles) de Juliaca durante el año 2024. Con respecto al método se enmarca en un enfoque cuantitativo, de diseño no experimental y nivel descriptivo. Para la ejecución de la investigación se empleó la teledetección satelital pasiva mediante el satélite Sentinel Copernicus – 5P esgrimiendo Google Earth Engine y la expresión de programación JavaScript, indispensables para la descarga y el proceso de los datos, subsiguientemente analizados en los softwares ArcGIS y Excel. En total se recopilaron 72 imágenes satelitales, lo que permitió analizar de manera mensual la distribución temporal y espacial de las poluciones atmosféricas (SO_2 , O_3 , CO , NO_2 , formaldehído y aerosoles) a través de mapas temáticos, serie de tiempo, tablas y gráficos, con la finalidad de establecer las reuniones máximas y mínimas. Los resultados evidenciaron concentraciones mínimas y máximas de: dióxido de azufre (SO_2) entre -0.000222572 y $0.000464788 \text{ mol/m}^2$; dióxido de nitrógeno (NO_2) entre $-2.79\text{E}-07$ y $1.78\text{E}-05 \text{ mol/m}^2$; ozono (O_3) entre 0.104734316 y $0.118163399 \text{ mol/m}^2$; monóxido de carbono (CO) entre 0.0161617 y $0.0282015819 \text{ mol/m}^2$; formaldehído (HCHO) entre $1.08\text{E}-06$ y $0.000190179 \text{ mol/m}^2$; y aerosoles entre -0.828496933 y $0.650384545 \text{ mol/m}^2$. Se concluye que el comportamiento de las poluciones atmosféricas (NO_2 , O_3 , SO_2 , CO , HCHO y Aerosol) es dinámico y heterogéneo. Debido a que el análisis asentado en datos de Sentinel-5P demostró que los contaminantes no se distribuyen de manera uniforme, sino que presentan variaciones significativas tanto en el espacio como en el tiempo.

Palabras Clave: Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, Ozono, Monóxido de Carbono, Formaldehido, Aerosol, Teledetección



ABSTRACT

The current analysis aims to evaluate the temporal and spatial behavior of atmospheric pollution (SO₂, O₃, NO₂, CO, formaldehyde, and aerosols) in Juliaca during the year 2024. The method used is quantitative, non-experimental, and descriptive in nature. The research was carried out using passive satellite remote sensing via the Sentinel Copernicus-5P satellite, Google Earth Engine, and JavaScript programming, which were essential for downloading and processing the data, which was subsequently analyzed using ArcGIS and Excel software. A total of 72 satellite images were collected, which allowed for monthly analysis of the temporal and spatial distribution of atmospheric pollutants (SO₂, O₃, CO, NO₂, formaldehyde, and aerosols) through thematic maps, time series, tables, and graphs, with the aim of establishing maximum and minimum concentrations. The results showed minimum and maximum concentrations of: sulfur dioxide (SO₂) between -0.000222572 and 0.000464788 mol/m²; nitrogen dioxide (NO₂) between -2.79E-07 and 1.78E-05 mol/m²; ozone (O₃) between 0.104734316 and 0.118163399 mol/m²; carbon monoxide (CO) between 0.0161617 and 0.0282015819 mol/m²; formaldehyde (HCHO) between 1.08E-06 and 0.000190179 mol/m²; and aerosols between -0.828496933 and 0.650384545 mol/m². It is concluded that the behavior of atmospheric pollutants (NO₂, O₃, SO₂, CO, HCHO, and aerosols) is dynamic and heterogeneous. This is because the analysis based on Sentinel-5P data showed that pollutants are not distributed uniformly, but rather vary significantly both in space and time.

Keywords: Sulfur Dioxide, Ozone, Nitrogen Dioxide, Carbon Monoxide, Formaldehyde, Aerosols, Remote Sensing



INTRODUCCIÓN

La polución del aire posee un impacto seguido en la salubridad de los sujetos y al medio ambiente, esto es preocupante a nivel mundial. Estas poluciones, derivados en su generalidad por diligencias humanas como la permuta, la industria y la quema de combustibles, incluyen SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , HCHO y aerosoles. Para comprender el conducta de estas poluciones en el aire y los peligros que representan, es fundamental la investigación.

Los avances tecnológicos, nos han permitido observar y analizar contaminantes sin depender exclusivamente de las estaciones de monitoreo in situ terrestres. Se pueden obtener datos precisos de la reunión de diversas poluciones presentes en el aire mediante la teledetección satelital pasiva utilizando el satélite Sentinel - 5P. Este método de monitoreo es adecuado para la ciudad de Juliaca, ciudad que se encuentra en el altiplano puneño del Perú, donde las problemáticas de polución atmosférica se han indispuerto debido al rápido crecimiento urbano y al parque automotor.

Además, Juliaca tiene condiciones geográficas y climáticas únicas que afectan la forma en que los contaminantes se propagan o acumulan, especialmente durante los períodos de mayor sequía. Sin embargo, los estudios sobre la condición de la corriente empleando la teledetección en esta urbe aún son escasos, por lo que es necesario contar con estudios que permitan comprender más detalladamente esta realidad.

En esta perspectiva, el actual análisis posee como fin valorar el conducta temporal y espacial de las poluciones atmosféricas en Juliaca a lo largo del año 2024 esgrimiendo datos del satélite Sentinel-5P procesados con herramientas como Google Earth Engine, ArcGIS y Excel. El objetivo de este trabajo no es solo



determinar las concentraciones mínimas y máximas de los principales contaminantes, sino también comprender cómo se distribuyen a lo largo del año 2024. De este modo, se espera aportar información útil que sirva de base para las gestiones medioambientales y el adelanto del nivel de existencia de los habitantes de Juliaca.

El actual estudio se organiza según las pautas establecidas por la UANCV de la siguiente forma: En el capítulo primero se presenta el análisis de la situación problemática, los problemas, la justificación y los propósitos. El segundo capítulo contiene los antecedentes, el marco teórico y conceptual. El tercer capítulo expone los hallazgos, las discusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y por ultimo los anexos.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Análisis de la situación problemática

La polución del aire personifica una de las primordiales amenazas para el ecosistema y el bienestar colectivo a nivel universal. Como la OMS (2024), la inhalación continua de sustancias nocivas como el dióxido de azufre (SO_2), el NO_2 , el O_3 y las partículas en suspensión ($\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}) provoca aproximadamente siete millones de fallecimientos anticipados anualmente. En Latinoamérica, esta problemática se intensifica en las áreas urbanas, donde las diligencias industriales, el embotellamiento y el aumento demográfico han elevado las concentraciones de contaminantes como el SO_2 , el NO_2 , el O_3 , el CO , el HCHO y el material particulado. Estas emisiones impactan de forma seguida en la salubridad de la urbe y en los sistemas ecológicos. Como datos de la OPS (2024), cada año fallecen alrededor de 367 000 personas en la región debido a la polución atmosférica.

El Perú no está exento de esta realidad. Numerosas urbes peruanas presentan deterioro en la calidad atmosférica, atribuible a la acelerada expansión urbana, el incremento del parque automotor y las operaciones industriales (Moretti et al., 2023). Sin embargo, uno de los mayores retos en el control de las condiciones del aire en el país es la limitada disponibilidad de estaciones terrestres, lo que dificulta contar con información continua, actualizada y espacialmente representativa, especialmente en ciudades del sur de país.

La ciudad de Juliaca, situada en el altiplano puneño, exhibe particularidades que incrementan su vulnerabilidad: expansión urbana rápida, intenso flujo vehicular, uso generalizado de combustibles fósiles y condiciones climáticas que pueden propiciar la concentración de contaminantes. Sin embargo, escasea la información sistemática sobre los niveles reales de contaminantes atmosféricos en el entorno urbano, así como datos geoespaciales que posibiliten delimitar las áreas más impactadas al interior de la urbe. Esta carencia de evidencia entorpece la gestión ambiental apropiada y reduce la capacidad de las autoridades para formular estrategias de mitigación y control.

Ante esta limitación, las tecnologías de teledetección y plataformas como Google Earth Engine (GEE) representan una alternativa de alto valor para el monitoreo ambiental. El satélite Sentinel-5P del programa Copernicus proporciona información diaria sobre diversos contaminantes atmosféricos, con amplia cobertura espacial y temporal, permitiendo analizar la distribución de gases traza y aerosoles a nivel urbano incluso en lugares donde no existen estaciones de monitoreo terrestre. Su integración con GEE facilita la descarga, procesos y exámenes de grandes cantidades de datos, lo que posibilita generar series temporales, mapas de concentración y evaluaciones de tendencias.

Ante este escenario, se hace necesario analizar la colocación espacial y la variación estacional de las poluciones atmosféricos en la ciudad de Juliaca durante el año 2024, empleando técnicas de percepción remota satelital. La inexistencia de investigaciones recientes en el área y la escasez de datos oficiales sobre calidad del aire representan una carencia que esta investigación pretende subsanar. Con ello, se pretende aportar evidencia científica que aporta a la elección de decisiones, la planificación ambiental y la protección de la salud pública en la ciudad.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos mediante teledetección satelital en la ciudad de Juliaca durante el año 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué datos satelitales pueden obtenerse mediante teledetección para determinar las concentraciones mensuales de los contaminantes atmosféricos (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024?
- ¿Cuál es la distribución temporalmente y espacial de los contaminantes atmosféricos (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024?
- ¿Cuáles son las concentraciones máximas y mínimas de los contaminantes atmosféricos (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO, formaldehído y aerosoles) registrados en la ciudad de Juliaca durante el 2024?

1.3 Justificación

La polución atmosférica constituye una de las mayores amenazas ecológicas y de salud pública de la era contemporánea. Organizaciones mundiales, como la OMS y la OPS, han alertado sobre el aumento de padecimientos respiratorios, cardiovasculares y fallecimientos anticipados vinculados a la exposición crónica a agentes contaminantes como el SO_2 , ozono superficial (O_3), NO_2 , CO, formaldehído y partículas suspendidas. Esta situación se intensifica en centros urbanos de expansión acelerada, como Juliaca, donde elementos como el incremento del tráfico vehicular, el comercio no regulado, la incineración de desechos y el consumo de combustibles fósiles generan emisiones elevadas.

Pese a la relevancia del asunto, Juliaca no dispone de una red continua de seguimiento de la calidad atmosférica que proporcione datos precisos sobre la reunión y distribución espacial de los contaminantes. Esta carencia obstaculiza el amparo de decisiones basadas y restringe el desarrollo de estrategias de prevención y regulación ambiental. En tal escenario, la percepción remota satelital emerge como soluciones tecnológicas eficiente, asequible y de inferior coste que facilita la obtención de datos sobre los contaminantes del aire, constituyéndose en una opción factible para urbes con limitada capacidad de monitoreo ambiental.

El presente estudio se sustenta en la urgencia de producir evidencia científica rigurosa acerca de la condición del aire en Juliaca a lo largo del período 2024, con el

propósito de respaldar la mejora de las políticas de gestión ambiental urbana, resguardar la salud colectiva y avalar el adiestramiento del derecho esencial a un entorno saludable establecido en la constitución.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos mediante teledetección satelital en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.

1.4.2 Objetivo específico

- Recopilar imágenes satelitales de los contaminantes atmosféricos (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.
- Analizar la distribución espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.
- Determinar las concentraciones máximas y mínimas de los contaminantes atmosféricos (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , formaldehído y aerosoles) registrados en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.

1.5 Variables.

Supo (2023) considera que, en el nivel descriptivo, existe únicamente una variable de estudio denominada variable de interés. Esta se acompaña de las variables de caracterización, las cuales permiten describir mejor al grupo estudiado. Además, el autor señala que no existe relación con otras variables, motivo por el cual el análisis en este tipo de estudios es estrictamente univariado.

1.5.1 Variable de Caracterización

Ubicación y tiempo

1.5.2 Variable de Interés o Estudio.

Contaminantes atmosféricos (SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , formaldehído y aerosoles)



1.6 Operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Escala de medición
Variable de caracterización				
Ubicación	Área geográfica	Delimitación del área de estudio por shapefile	Km ²	Razón
Tiempo	Variación temporal	Meses del año 2024	Mes	Nominal
		Concentración de SO ₂	mol/m ²	Razón
		Concentración de NO ₂	mol/m ²	Razón
Variable de interés				
Contaminantes atmosféricos	Tipo de contaminante	Concentración de O ₃	mol/m ²	Razón
		Concentración de CO	mol/m ²	Razón
		Concentración de formaldehído	mol/m ²	Razón
		Concentración de aerosoles	mol/m ²	Razón



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Jodhani et al. (2024) aborda cambios en la usanza y cubierta de la superficie son factores determinantes del cambio climático asociados a la urbanización, ya que la transformación del uso del suelo altera las propiedades físicas y térmicas de la superficie terrestre, afectando también la condición de la corriente. En este contexto, un análisis realizado en el estado de Gujarat, India, tuvo en fin examinar el efecto de la usanza y la LULC en la condición del aire en los años 2018, 2020 y 2023. Se analizaron seis categorías de uso del suelo —masas de agua, bosques, tierras agrícolas, tierras edificadas, tierras estériles y matorrales— utilizando el producto de cobertura del suelo de Landsat 8 procesado en Google Earth Engine (GEE), en la que se estimó el porcentaje de cada categoría. Los resultados revelaron que la respuesta de la contaminación al cambio de LULC presenta diferencias notorias según la región, determinadas por factores naturales o antrópicos como la deforestación y la urbanización. Entre 2018 y 2023, se pudo ver una mengua constante en la superficie agrícola y un crecimiento exponencial de las zonas urbanas. El porcentaje combinado de tierras agrícolas y bosques pasó de 61.08% a 60.7%, mientras que las masas de agua aumentaron de 4.07% a 5.13%. Asimismo, las tierras desnudas se redujeron del 29.59% al 27.56%, debido principalmente a su transformación en zonas edificadas por efecto de la urbanización. Para estimar la contaminación



atmosférica se emplearon datos satelitales Sentinel-5P, incluyendo contaminantes como NO_2 , CO , SO_2 , CH_4 , y HCHO . En la última década, se ha producido una conversión significativa de áreas boscosas a vegetación en la región occidental, mientras que el crecimiento urbano ha avanzado rápidamente en las zonas oriental y centro-occidental.

A nivel internacional Vásquez & Arboleda (2021), utilizaron para su tesis los datos del sitio web del MINAN de Quito, Ecuador, e imágenes satelitales de la tribuna Google Earth Engine para crear un enfoque innovador para el control de la condición de la atmosfera. Al aplicar el proceso de validación de datos, pudieron obtener correlaciones sustanciales. Llegaron a la conclusión de que existían patrones comparables en la mengua de NO_2 , CO y O_3 en la epidemia de COVID-19, basándose en el proyecto de su comportamiento a partir de mediciones satelitales y terrestres. Además, crearon una aplicación web para recopilar información sobre la condición de la corriente en Ecuador.

Camacho (2024) comparó en su investigación las concentraciones de NO_2 , CO , SO_2 y O_3 registradas por el sensor TROPOMI del satélite Sentinel-5P a lo largo el año 2024, centrándose en los periodos de incendios forestales asociados al fenómeno de El Niño. A través de imágenes PlanetScope y el cómputo de catálogos espectrales como NDVI, BAI, NDWI y OSAVI, se identificaron las zonas con mayores cambios en la cobertura del suelo. Los datos son comparados con la indagación proveniente de las etapas de control del IDEAM mediante interpolación y generación de mapas de diferencias digitales. Los hallazgos enseñan una elevada concordancia en niveles de CO y NO_2 entre ambas fuentes, estabilidad en las concentraciones de O_3 y una falta de correlación significativa en los niveles de SO_2 . El estudio resalta la utilidad de los índices espectrales para delimitar áreas afectadas por incendios y la importancia de integrar datos satelitales con mediciones terrestres para un estudio más cabal de la condición de la atmosfera.

Guerrero (2021) En su trabajo de investigación se examinó la variación espacio-temporal en las concentraciones de SO_2 , O_3 , NO_2 en diversos distritos del Ecuador continental, considerando el contexto del confinamiento por la COVID-19 y utilizando datos satelitales del sensor Sentinel-5P. El análisis estadístico, de tipo descriptivo y espacio-

temporal, abarcó la etapa entendida entre diciembre de 2019 y agosto de 2020, diferenciando tres etapas: precedentemente, en el transcurso y posteriormente del confinamiento, e identificando las regiones con mayores niveles de contaminantes. Los resultados evidenciaron una reducción significativa del NO_2 en Guayas, Santo Domingo y Pichincha de los Tsáchilas durante el confinamiento. En cuanto al SO_2 , se observó una disminución en el Distrito Urbano de Quito, en tanto que Morona Santiago, Chimborazo y Santa Elena registraron aumentos importantes, y Guayas no presentó cambios relevantes. Por otro lado, las concentraciones de O_3 aumentaron en Guayas, Pastaza, Sucumbíos y el Distrito Urbano de Quito. Se concluyó que el confinamiento no generó una disminución uniforme en los niveles de SO_2 y O_3 , siendo las variaciones de SO_2 atribuidas primariamente a las manifestaciones del volcán Sangay y las de O_3 a condiciones meteorológicas.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En el proyecto ejecutado por Bayona (2022), se modeló la condición de la atmosfera en la urbe de Cajamarca esgrimiendo datos satelitales del sensor TROPOMI de la antenna Sentinel-5P, permitiendo asemejar reuniones de poluciones atmosféricos como NO_2 , SO_2 , CO, formaldehído, ozono y aerosoles, los cuales fueron analizados y visualizados mediante el software ArcGIS y procesados estadísticamente con Excel. Los resultados revelaron variaciones mensuales significativas en las concentraciones de dichos contaminantes y se concluyó que la teledetección satelital, en ausencia de suficientes estaciones de monitoreo terrestre, representa una herramienta eficaz para valorar la condición del aire en áreas urbanas. Esta referencia se vincula con el actual proyecto, ya que también se utilizará el satélite Sentinel-5P para analizar los paralelismos de polución atmosférica en Juliaca, considerando la escasez de estaciones terrestres y la necesidad de aplicar tecnologías remotas para una gestión ambiental más precisa y actualizada.

Apaza & Nieto (2024), evaluaron la condición del aire en la urbe de Ilo a lo largo de los años 2021 y 2022 mediante la usanza de retratos satelitales Sentinel-5P, procesadas en Google Earth Engine, junto con datos de estaciones automáticas del OEFA ubicadas en

Bolognesi, José Pardo y Pacocha. Se fabricaron mapas de colocación espacial y sucesiones de lapso para analizar el comportamiento mensual de los contaminantes CO, NO₂ y SO₂, identificándose una distribución espacial predominante de suroeste a noroeste influenciada por fuentes fijas, además de un patrón estacional en el NO₂. Aunque se halló una alta similitud entre los datos satelitales y las estaciones automáticas para el CO en 2022, las correlaciones fueron bajas o nulas para el NO₂ y SO₂. Como aporte, se diseñó una aplicación web para apoyar la gestión ambiental en Ilo. Este antecedente se vincula directamente con el presente estudio en Juliaca, que también emplea datos satelitales Sentinel-5P para evaluar la polución atmosférica, especialmente ante la carencia de estaciones de control terrestres, destacando el potencial de la teledetección como herramienta eficaz para el control ambiental en ciudades con limitaciones tecnológicas similares.

Solís (2023), ejecuto un proyecto este análisis se enfoca en cuantificar la reunión de poluciones atmosféricos en la región de Apurímac entre 2018 y 2021, mediante el procesamiento de fotos de la antenna Sentinel-5P en Google Earth Engine. Mediante el uso de teledetección y parametros de machine learning, se detectaron niveles de contaminantes específicos: el CO registró sus picos más elevados (0.0236 – 0.0284 mol/m²) en Abancay y Chincheros durante 2019-2020, mientras que Aymaraes, Antabamba y Grau mostraron las concentraciones más bajas (0.0136 – 0.0160 mol/m²) en 2018. Por su parte, el dióxido de nitrógeno (NO₂) presentó sus máximos valores (0.000044 – 0.000046 mol/m²) en Abancay, Cotabambas y Andahuaylas durante 2020 y 2021. Por su parte, el dióxido de azufre (SO₂) mostró concentraciones elevadas de 0.000161 – 0.000247 mol/m² en Aymaraes, Cotabambas, Grau y Antabamba durante 2020 y 2021. El estudio concluye que estos dos últimos años fueron los de mayor carga contaminante, recomendando revisar las políticas ambientales vigentes para mitigar los efectos, lo cual es relevante para investigaciones como la presente, que también busca valorar la condición del aire mediante teledetección satelital en otras regiones del país.

Asimismo Zapana (2021), su estudio, poseyó como propósito principal identificar la reunión de poluciones atmosféricas como PM_{2.5}, SO₂, PM₁₀, NO₂ y O₃, y analizar su vínculo con variables atmosféricas en Pacocha, región Moquegua, durante el 2019 y 2020. El proyecto se encuadró adentro de un enfoque descriptivo-correlacional y aplicado. Para cumplir con el propósito determinado de cuantificar las reuniones en el aire, se calcularon promedios trimestrales. Entre los hallazgos se destaca que, en 2019, el SO₂ alcanzó su concentración máxima en el primer trimestre (enero-marzo) con un valor de 783,15 µg/m³, mientras que el NO₂ presentó su pico en el secundario trimestre (abril-junio) con 36,77 µg/m³. En 2020, las reuniones más elevadas de SO₂ también se registraron entre enero y marzo, alcanzando 610,64 µg/m³, y para el NO₂ el valor más alto se observó entre octubre y diciembre con 19,98 µg/m³. Finalmente, se ultima que las poluciones evaluadas presentan elevadas sensibilidades ante los cambios de las condiciones meteorológicas propias del distrito de Pacocha.

Ortega (2020), en su investigación señala como el SARS-CoV-2 (COVID-19) causó una interrupción notoria en el funcionamiento normal de las diligencias mercantiles y de traslado, lo que produjo modificaciones en la dinámica ambiental. A lo largo de esta etapa de confinamiento social, se observó un proceso de recuperación en varios ecosistemas; esto impulsó la medición de las concentraciones atmosféricas en varias ciudades latinoamericanas. En este marco, un estudio examinó la reducción de poluciones en las urbes de Bogotá, Lima, Quito, Buenos Aires y Santiago de Chile mediante imágenes satelitales. Los descubrimientos dieron que, en las urbes de Lima, Quito, Buenos Aires y Bogotá, el aislamiento social ayudó a menguar la cuantía de gases poluciones en el aire y, por lo tanto, a mejorar la calidad ambiental en las urbes estudiadas.

2.1.3 Antecedentes Locales

La indagación ejecutada por Quispe (2024), donde analizó la distribución lugar-temporal de gases polucionados NO₂, SO₂, CH₄, CO y HCHO en las 13 jurisdicciones de

Puno, abarcando el ciclo de julio de 2018 a junio de 2024. La metodología empleó fotos de la antena Sentinel-5P, procesadas en Google Earth Engine y analizadas con QGIS y RStudio. Mediante la creación de mapas temáticos, series de etapas, la aplicación el examen de Mann-Kendall y el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la correspondencia con las lluvias, se detectaron tendencias significativas. Los hallazgos revelaron niveles de SO_2 de hasta $511.339 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, concentrados en las provincias de Puno, Lampa, Yunguyo y San Román de mayo a julio, además de una fuerte correlación inversa (-0.834) con la precipitación. Se documentaron concentraciones máximas de diversos contaminantes: el NO_2 alcanzó $59.57 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ en septiembre de 2022, con aumentos significativos en Puno, Yunguyo, Chucuito y San Román, y una correspondencia pluvial positiva de 0.656. El CO registró su pico de $0.049 \text{ mol}/\text{m}^2$ en Sandia durante septiembre-octubre de 2020. Por su parte, el CH_4 llegó a 1881 ppb en San Román en 2024 (4% más que en 2019), en tanto que el HCHO expuso valores máximos de $201.398 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ en octubre de 2023 en Sandia, Yunguyo y Carabaya. Pese a los niveles registrados, el examen de Mann-Kendall determinó la ausencia de directrices estadísticamente significativas en las concentraciones de las poluciones. En resumen, San Román, Puno y Yunguyo fueron las más impactadas por SO_2 y NO_2 en el período de estiaje (junio a diciembre), en tanto que Carabaya y Sandia exhibieron las mayores reuniones de HCHO y CO durante septiembre y octubre.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Contaminantes Atmosféricos

Los poluentes atmosféricos son compendios o clases de energía asistentes en aire que, en determinadas concentraciones, pueden resultar perjudiciales para el ecosistema y la salubridad humana. Según Amable et al. (2017), estos poluentes pueden tener comienzo natural como los gases liberados durante erupciones volcánicas, por la ignición natural de materiales prehistóricos o por actividades antrópicas, incrementando sus niveles por encima de los valores que el equilibrio natural de la atmósfera puede tolerar.

La atmósfera, en condiciones normales, mantiene un arqueo químico y potente que asegura los contextos necesarios para la existencia. Trastornar este equilibrio resulta en procesos ambientales esenciales, como el ciclo del H₂O, y puede generar impactos en la estabilidad climática (Vásquez & Arboleda, 2021). En este sentido, la presencia de contaminantes atmosféricos implica la introducción de sustancias ajenas o en proporciones inadecuadas a la composición natural del aire, ya sea como consecuencia de procesos industriales, emisiones vehiculares, combustión de combustibles fósiles u otras actividades antrópicas.

Los compuestos presentes en el aire abarcan tanto sustancias gaseosas como aserrines suspendidos (aerosoles), siendo clasificados como "críticos" aquellos que reflejan un riesgo considerable para la salubridad de la gente: partículas finas (PM_{2.5} y PM₁₀), SO₂, NO₂, CO, O₃, HCHO y CH₄ (Aránguez et al., 1999) Estas sustancias pueden dañar órganos y esquemas fundamentales como en el pulmón y el corazón, a la vez que propician fenómenos de deterioro ambiental como la precipitación ácida, la alineación de smog fotoquímico y el efecto invernadero.

2.2.2 Monóxido de Carbono (CO)

El CO es un gas traza con características inodoras, incoloras, insípidas, no irritantes y elevadamente venenosas (Bolaños & Chacón, 2017). Se localiza predominantemente en la capa atmosférica más cercana a la superficie terrestre, y su peligrosidad se debe a que posee una capacidad superior al oxígeno para combinarse con la hemoglobina, lo que compromete el transporte de O en la sangre hacia los tejidos corporales (OMS, 2004).

Las primordiales fuentes de CO son el resultado de técnicas de combustiones truncada de combustibles que tienen carbono, gasolina, gas, carbón, kerosene, petróleo, tabaco o madera (OMS, 2024). De forma natural, puede originarse durante la degradación de la clorofila en las plantas o a través de emisiones procedentes de incendios forestales y erupciones volcánicas (Carolina & Calisto, 2015).

La inhalación de CO incita una mengua significativa en la cabida de exportación de oxígeno en la sangre, lo cual se traduce en sintomatologías como dolores de cabeza, fatiga,

visión borrosa, mareos y confusión. En casos graves, la formación de carboxihemoglobina en niveles elevados puede ocasionar hipoxia severa, colapso, daño cerebral irreversible e incluso la muerte (US EPA, 2024b).

A partir del punto de panorama ambiental, el CO contribuye indirectamente al cambio climático, ya que participa en resistencias fotoquímicas que crean O_3 , un pujante gas de efecto invernadero, y eventualmente se oxida para formar dióxido de carbono (CO_2) permaneciendo aproximadamente tres meses en la atmosfera, periodo en el que interviene en procesos químicos de la atmosfera (Kain, 2024).

2.2.3 Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

El NO_2 es un mezclado gaseoso integrado por oxígeno y nitrógeno, reconocido como la polución más significativa dentro del grupo de los NO_x . Presenta una coloración pardo-amarillenta y se genera fundamentalmente como resultado secundario de reacciones de combustión a elevadas tempestades, donde la incineración de recursos fósiles (carbón, gas y petróleo) constituye su principal fuente de emisión (OMS, 2024). Otras fuentes incluyen la quema de biomasa, procesos industriales como la industria de ácido nítrico y vidrio, así como emisiones provenientes del transporte motorizado (Guerrero, 2021).

El NO_2 desempeña un papel esencial en la química atmosférica, pues actúa como precursor en la formación de ácido nítrico, nitratos y partículas finas ($PM_{2.5}$), lo que incrementa los niveles de aerosoles en la atmósfera y agrava la contaminación del aire (Guerrero, 2021). Asimismo, participa en reacciones fotoquímicas en figura de luz, en las que interactúa con el O_3 y el NO, estableciendo un ciclo dinámico que contribuye a la formación de smog fotoquímico, un problema recurrente en áreas urbanas con alta actividad vehicular.

A partir de la perspectiva de la sanidad, las exposiciones al NO_2 simboliza un riesgo significativo por su naturaleza tóxica e irritante. La inhalación de este gas puede provocar inflamación de los ductos respiratorios, agravando enfermedades como la bronquitis crónica y el asma. Las exposiciones prolongadas están vinculadas con una baja de la

función pulmonar, tos persistente, producción excesiva de flema y un mayor fallo de infecciones, primordialmente en poblaciones sensibles como infantes y ancianos (US EPA, 2025a).

En el ambiente, el NO_2 ayuda a la alineación de aguacero ácida al transforma en ácido nítrico en presencia de agua, lo que deteriora suelos, cuerpos de agua, bosques y cultivos. También puede inhibir el crecimiento de las plantas al alterar procesos fisiológicos esenciales.

2.2.4 Dióxido de Azufre (SO_2).

El SO_2 es un vapor sin color, no combustible, con un hedor perspicaz e irritante característico. Se caracteriza por su alta solubilidad en agua, lo que le permite formar soluciones ácidas al disolverse, propiedad que explica gran parte de sus efectos ambientales (OMS, 2024). Debido a su naturaleza irritante, el SO_2 afecta directamente al sistema respiratorio, generando tos, dificultad al respirar e inflamación en pulmones y mucosas húmedas. La exhibición dilatada o en reuniones eminentes puede desencadenar enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares, además de afectar al sistema nervioso (García et al., 2013).

Los orígenes de manifestación de SO_2 son tanto natural como antrópico. De manera natural se destaca su liberación durante erupciones volcánicas, lo que puede generar emisiones masivas y de gran alcance. En cuanto a las fuentes antrópicas, las principales corresponden a las combustiones de inflamables fósiles en plantas termoeléctricas y calderas industriales, la fundición de metales, la refinación de petróleo y el uso de fertilizantes (US EPA, 2025b) Estas actividades son especialmente relevantes en entornos urbanos e industriales, donde la densidad poblacional incrementa la exposición humana.

2.2.5 Ozono (O_3)

El O_3 es un vapor elevadamente reactivo compuestos por 3 partículas de O. Su existencia en la atmósfera puede poseer efectos buenos como malos pendiendo del manto en la que se halle. En la estratósfera, entre los 9 y 48 kilómetros de altitud, se forma de manera natural mediante la interacción de la radiación ultravioleta (UV) con el O átomo O_2 .

La denominada capa de ozono cumple una función esencial, ya que actúa como un filtro protector que disminuye la cuantía de irradiación ultravioleta dañina que llega al área terrestre, reduciendo así el peligro de cataratas y cáncer de piel en humanos (US EPA, 2025c).

En cambio, cuando el O_2 se encuentra en la troposfera se convierte en un poluante secundario. No se emite directamente por ninguna fuente, sino que se genera mediante complejas reacciones fotoquímicas entre NO_x y los COV, cuando existe una intensa radiación solar (Belmonte & Gutiérrez, 2013).

2.2.6 Formaldehído (HCHO)

El HCHO es un gas destañado con un tono agudo propio, empleado en la elaboración de bienes de edificación, mobiliario y diversos compuestos químicos de usanza doméstica y en agencias. Debido a sus propiedades físico-químicas, constituye una fuente significativa de contaminación de la corriente interior, ya que se libera gradualmente de los materiales que lo contienen. Su tasa de emisión se incrementa en presencia de calor y altos grados de humedad, lo que beneficia su persistencia en espacios cerrados (US EPA, 2024a).

El formaldehído es una sustancia química que produce reacciones adversas en la salud personal, incluyendo irritación en ojos, garganta y nariz a concentraciones de 0,4–3 ppm, mientras que a niveles de 20 ppm representa un riesgo inmediato para la vida según el NIOSH. Aunque algunas personas con asma parecen ser más sensibles, los estudios no son concluyentes. La exposición a dosis elevadas por ingestión o contacto directo puede provocar dolor agudo, vómitos, coma o irritación cutánea. Investigaciones en animales han demostrado que la exposición crónica puede inducir cáncer nasal, y algunos estudios en trabajadores también sugieren una mayor incidencia de cáncer nasofaríngeo, aunque los resultados son variables. En base a esta evidencia, el DHHS considera que el formaldehído es carcinogénico en humanos, mientras que la IARC y la EPA lo clasifican como probablemente carcinogénico, sustentado en evidencia limitada en humanos y suficiente en animales de laboratorio (ATSDR, 2016).

2.2.7 Aerosoles.

Marino (2011) Conceptúa los aerosoles como un sistema heterogéneo compuesto por partículas líquidas o sólidas en suspensión dentro de un gas, que mantienen su presencia atmosférica durante períodos superiores a una hora. Estos componentes deterioran la salubridad del aire y provocan consecuencias adversas en la salubridad pública y los sistemas naturales, acelerando la degradación ecológica. Su clasificación distingue entre primarios (emitidos directamente a partir de la fuente) y secundarios (generados mediante transformaciones químicas en la atmósfera). Proceden tanto de fuentes nativas (volcanes, polvo mineral, sal marina) como antropogénicas (combustión fósil, operaciones industriales o agrícolas).

2.2.8 Fuentes de Emisión

Se consideran fuentes de emisión todas aquellas actividades, procesos u operaciones que generan contaminantes atmosféricos, las cuales se dividen en dos categorías: naturales y antropogénicas, como se irradia en la Tabla 2.

Tabla 2

Clasificación de las fuentes de emisión de los Contaminantes Atmosféricos

Clasificación	Fuentes de Emisión
Fuentes Naturales	Erupciones de volcanes, igniciones forestales, aerosoles marinos, descomposiciones de elemento orgánico en suelos y pantanos, partículas de polvo generadas por la acción del viento, así como la dispersión de polen.
Fuentes Antrópicas	Producción de energía, procesos de combustión, emisiones vehiculares, actividades mineras y de canteras, industria de materiales de construcción, procesos de calefacción, operaciones metalúrgicas y químicas, extracción de combustibles, así como el funcionamiento de centrales nucleares.

Nota: Datos tomados de Guerrero (2021)

2.2.9 Métodos de Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos

De acuerdo con la OMS (2004) las técnicas de muestreo pasivo, los sistemas de muestreo activo, los indagadores en tiempo real y la teledetección son las cuatro categorías genéricas principales de técnicas de monitoreo, cada una con diferentes costos y niveles de rendimiento.

Tabla 3

Métodos de Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos

Métodos de Monitoreo	Descripción
Muestreadores Pasivos	Son económicos para valorar la condición de la atmosfera lugares específicos, pues recogen muestras mediante difusión molecular en un material absorbente durante periodos de una semana a un mes.
Muestreadores Activos	Las muestras de contaminantes atmosféricos se recolectan mediante métodos químicos o físicos y se analizan en laboratorio. La calidad de los resultados depende de los sistemas de muestra, la preparación de las muestras, el pesaje de partículas y las prácticas en el laboratorio.
Analizadores Automáticos	Los analizadores automáticos permiten obtener cálculos en tiempo existente y de elevada resolución de diversos contaminantes, empleando métodos electroópticos como absorción UV o IR, fluorescencia y quimioluminiscencia. Para avalar la confidencialidad de los datos, requieren adecuados procedimientos de operación, mantenimiento y examen de condición.
Sensores Remotos o Teledetección	Los sensores remotos, basados en técnicas espectroscópicas de larga trayectoria, permiten medir en cosecha existente las reuniones de diferentes poluciones.

Nota: Guía de la Calidad del Aire, OMS (2004).

2.2.10 Teledetección

Consiste en recopilar datos de objetos sin entrar en contacto físico con ellos. Este método utiliza una interacción energética entre el suelo que se analiza y un sensor espacial para obtener datos a partir de fotografías de la superficie terrestre (D. Pérez, 2007).

Existen dos categorías de teledetección: pasiva y activa. En el primer caso, los sensores registran la radiación que los objetos emiten o reflejan a partir de la energía solar; en el segundo caso, el sensor produce la radiación requerida, que luego el objeto refleja. Ambas situaciones implican la interacción de la energía radiante, conocida como radiación electromagnética, que proviene de los objetos y viaja hasta el sensor (Chuvieco, 2008).

2.2.11 Sensores y Satelitales

Las plataformas de teledetección, a veces denominadas satélites, son naves espaciales que llevan sensores encargados de capturar, almacenar y transmitir imágenes desde el espacio a la Tierra. Estos sensores a bordo esgrimen radiación electromagnética para recopilar datos sobre la superficie terrestre y otros objetos espaciales (Chuvieco, 2008). Su capacidad para medir una gran gama de λ de onda, del infrarrojo hasta el ultravioletado cruzando por el espectro perceptible, permite recopilar información importante sobre la atmósfera, el clima, los océanos y el medio ambiente en general del planeta. Los sensores satelitales se clasifican en varios grupos según sus características y usos, lo que permite un uso más eficaz de los datos recopilado (Camacho, 2024).

2.2.12 Programas Satelitales

Los programas espaciales son iniciativas tecnológicas y científicas que implican el lanzamiento de un satélite artificial fuera de la Tierra para investigar el espacio y examinar diferentes cuerpos celestes y fenómenos (Camacho, 2024). El propósito primordial de estas misiones espaciales es coleccionar datos de forma remota utilizando uno o más sensores instalados en satélites. Tal como indico (Chuvieco, 2008) estos datos se transmiten de forma remota a la Tierra para su procesamiento y análisis, con el fin de aprovecharlos al máximo en el sector pertinente.

2.2.13 Programa Sentinel

Desarrollado por la ESA en el cuadro del programa Copernicus, el programa Sentinel consiste en una serie de satélites lanzados desde 2014 para recopilar datos extremadamente precisos sobre zonas de cultivos, bosques y masas de agua con el fin de ayudar a supervisar estos recursos y el clima. Hasta ahora se han lanzado seis naves espaciales Sentinel con distintos objetivos de supervisión de la Tierra (Camacho, 2024).

2.2.13.1 Sentinel – 5

El fin del Sentinel-5 está concertada por dos antenas, Sentinel 5 y Sentinel 5P, siendo un componente del programa europeo Copernicus (anteriormente conocido como transmisión de GMES, es un dispositivo de vigilancia atmosférica que ofrece un seguimiento operativo de las concentraciones de gases traza para su uso en química atmosférica y climatología (ESA, 2025). Este sensor proporciona cobertura diaria en todo el mundo, lo cual es concluyente para el monitoreo continuo de la polución atmosférica (Sanucci et al., 2020).

2.2.13.2 Sensor TROMPONI (SENTINEL 5P)

Un componente importante del programa Copernicus, que monitoriza la atmósfera, es el satélite Sentinel-5P. Su objetivo principal es monitorizar la condición de la corriente, la radiación UV, el ozono O_3 y el clima mediante mediciones atmosféricas con alta resolución geográfica y temporal (CDSE, s. f.). El instrumento TROPOMI, cofinanciado por los Países Bajos y la ESA, es transportado por el satélite. Con TROPOMI se miden gases como CO , NO_2 , SO_2 , O_3 , $HCHO$, CH_4 y otros (NASA, s. f.).

Gracias a su extenso campo de visión de 108° (que abarca unos 2600 km de la corteza terrestre), el instrumento logra una cobertura diaria general de radiación y reflectancia. Su alcance incluye latitud mayor a 7° y menor a -7° , con una eficiencia de cobertura superior al 95% en la banda ecuatorial $[-7^\circ, 7^\circ]$. En el ámbito de la condición del aire, permite cuantificar el esparcimiento de gases poluentes, monitorear la capa de ozono estratosférico, evaluar su estado y analizar la interacción entre la composición atmosférica

y el clima, contribuyendo así a comprender mejor la relación entre los componentes atmosféricos y el climático (Quispe, 2024).

El despliegue del TROPOMI por parte del Sentinel-5P ha transformado el control del aire al proporcionar datos de elevado valor que son cruciales para la investigación sobre el ambiente y la salubridad pública (Reshi et al., 2024). Además, TROPOMI ofrece una comprensión exhaustiva de la condición del aire tanto en region como global gracias a su cabida para identificar muchos gases traza a la vez (Vásquez & Arboleda, 2021).

2.2.14 Google Earth Engine

La amplia base de datos gratuita de Google Earth Engine (GEE), un sitio creado por Google, permite realizar operaciones geoespaciales exhaustivas. La reducción del tiempo de preprocesamiento, que facilita el examen de datos geográficos, es una de las principales ventajas de GEE(Solórzano & Perilla, 2022).

Los usuarios de la plataforma GEE pueden modificar libremente el diseño de los resultados y llevar a cabo una serie de procedimientos previos a la extracción de información. Una vez obtenido el elemento conclusivo, se pueden extraer y exportar los datos pertinentes (J. Pérez et al., 2022). También le admite desarrollar aplicaciones que se pueden publicar libremente. La Figura 1 presenta la disposición visual del entorno de programación dentro de la aplicación Google Earth Engine.

Figura 1

Plataforma de Google Earth Engine



Nota: Adaptado de Solórzano & Perilla (2022)

La plataforma GEE incorpora como interfaz principal la API de JavaScript, la más utilizada actualmente y que se presenta como opción predeterminada al acceder a su editor de código. Esta API cuenta con mayor documentación y recursos de soporte, siendo más accesible para principiantes en programación. Complementariamente, GEE da una API en Python que, tras su instalación, habilita el uso de bibliotecas especializadas para ejecutar operaciones avanzadas y funcionalidades complejas no disponibles en la versión JavaScript (Solórzano & Perilla, 2022).

2.3 Marco Conceptual

Para facilitar una comprensión más profunda de este trabajo, formulo los siguientes conceptos básicos:

- **Aerosoles.** - Son de átomos compactos y líquidas se hallan elevadas en la atmósfera.
- **Dióxido de Azufre.** - Es una polución atmosférica primario causado primariamente por la quema de combustibles fósiles y las diligencias industriales compuesta por azufre y oxígeno.



- **Dióxido de Nitrógeno.** – Es una polución primaria generado por procesos de combustión que asiste a la alineación de ozono (O_3).
- **Formaldehído.** – Es un poluante primario que causa irritación y es carcinógeno para la salud, es precursor en la formación de ozono (O_3).
- **Monóxido de Carbono.** - Es vapor sin olor e incoloro que se genera en los inflamables fósiles se queman de forma incompleta su exhibición a altas reuniones de monóxido de carbono (CO) puede provocar intoxicación e incluso la muerte.
- **Ozono.**- Es un poluante subsidiario formado por la mezcla del formaldehído, dióxido de nitrógeno y la radiación solar su presencia en la troposfera es precursora del smog.
- **Satélite Sentinel 5P.** – Es un satélite que tiene la función de monitorear la condición del aire, el cambio del clima y advertir riesgos ambientales.
- **Teledetección.** – Es un método que da recopilar indagaciones en elementos o regiones sin necesidad de tener empalme con ella, por sensores situados.
- **Google Earth Engine.** - Es una app que da el uso de sofisticadas técnicas analíticas mediante scripts y da acceso a una gran colección de fotos satelitales.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de la Investigación

Según Supo (2014), toda investigación es exhaustiva y excluyente, por lo que puede tipificarse en una de las dos opciones. Por lo expuesto el estudio corresponde a:

Estudio observacional: Los datos o imágenes satélites reflejan la reunión real de poluentes en el ambiente sin ser manipuladas.

Estudio retrospectivo: Se recopilará las imágenes satelitales correspondientes al año 2024, es decir ya registrados previamente y almacenado en la plataforma GEE.

Estudio longitudinal: considerando que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos fueron medidas de forma repetida a lo largo de los 12 meses del 2024

Estudio descriptivo: Por presentarse sola una variable de estudio que son los contaminantes atmosféricos.

3.2 Nivel de la Investigación

El diseño metodológico adoptado pertenece a un nivel **descriptivo**, pues tiene como finalidad caracterizar y analizar la variación temporal y la colocación espacial de las poluciones atmosféricas en la urbe de Juliaca a lo largo del año 2024, sin proponer inferencias causales entre los factores involucrados.

3.3 Diseño de la Investigación

El actual examen se ajusta al esquema **no experimental**, según Hernández et al. (2014), debido a que no se manejan las variables, sino que se examina la información ya registrada por sensores satelitales.

3.4 Enfoque de Investigación

El proyecto se enmarca en un enfoque **cuantitativo**, según Sampieri (2014), el enfoque cuantitativo es una reunión de procedimientos que usan la recopilación de datos para poner a prueba teorías derivadas del análisis estadístico de medidas.

3.5 Población y Muestra

3.5.1 Población

La urbe está desarrollada por todas las concentraciones diarias de los contaminantes atmosféricos registrados por el satélite Sentinel-5P en Juliaca a lo largo del 2024.

3.5.2 Muestra

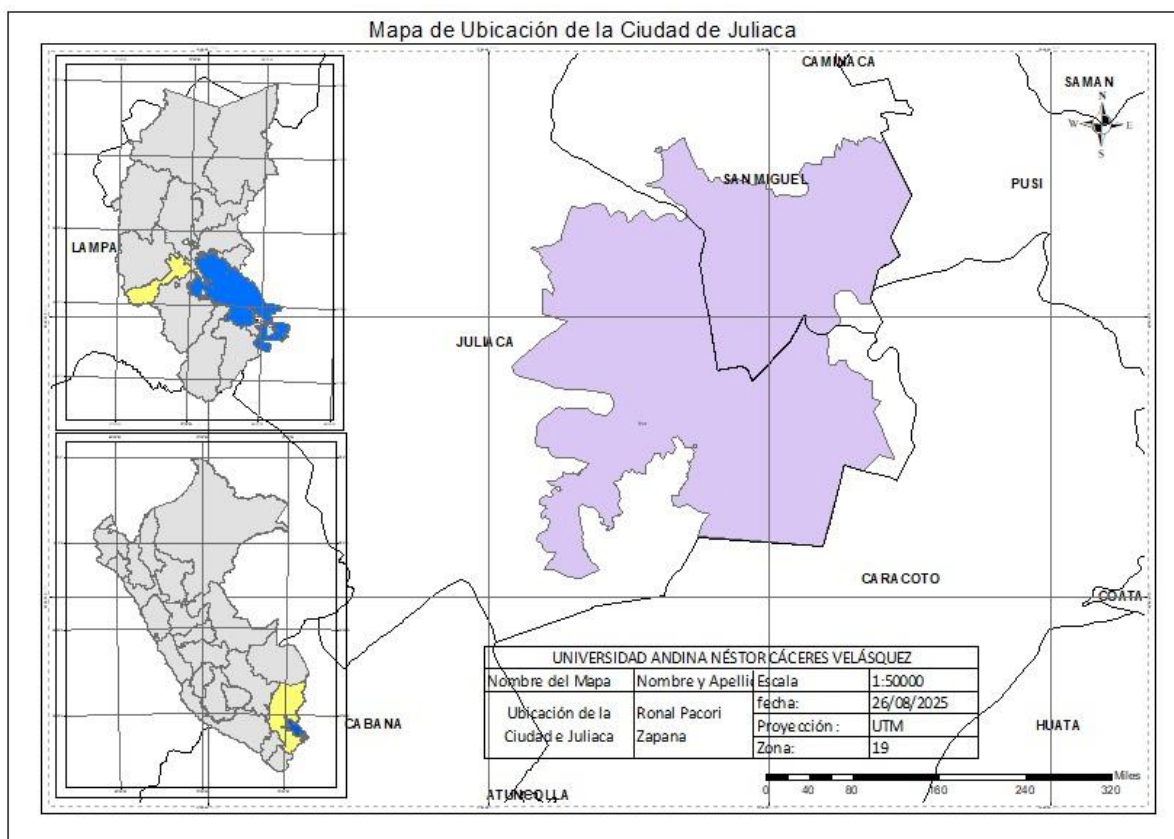
La muestra está conformada por los valores mensuales (mínimo, máximo y promedio) de cada contaminante atmosférico (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , formaldehído y aerosol) en la ciudad de Juliaca obtenidas a partir del proceso de las ilustraciones satelitales Sentinel-5P correspondientes a los doce meses del año 2024.

3.6 Ubicación del área de estudio

Juliaca se encuentra en la jurisdicción de la Municipalidad de San Román, en el departamento de Puno al sudeste de Perú, y está situada a 3825 m.s.n.m.

Figura 2

Mapa de ubicación de la ciudad de Juliaca



3.7 Técnica e instrumentos de Recolección de Datos

3.7.1 Técnicas empleadas

- Método de examen cálculo de datos.
- Método de Teledetección Satelital Pasiva
- Leguaje de Programación

3.7.2 Instrumentos

- Programa para el proceso Software Arcgis 10.5
- Ilustraciones Satelitales del satélite Sentinel – 5P (TROMPONI).
- Notas y Bloc de Notas.

3.8 Procedimiento Metodológico para cada Objetivo.

3.8.1 Procedimiento Metodológico para el Objetivo Específico 1

Para cumplir con el primer fin específico 1 se actuará de la siguiente:

Selección de la plataforma y las herramientas: El proceso de los datos del Sentinel-5P se ejecutó mediante la App Google Earth Engine en su catálogo podemos visualizar los datos que se pueden extraer desde esta plataforma, aerosoles, dióxido de azufre, ozono, formaldehído, etc.

Figura 3

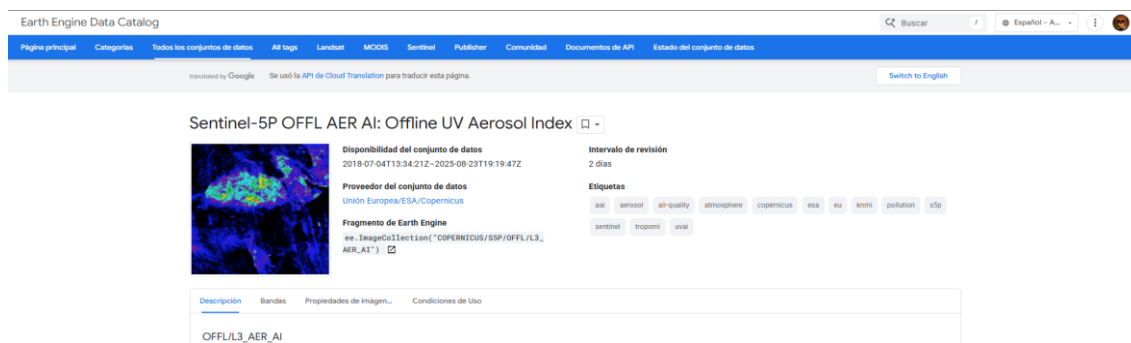
Data del satélite Sentinel 5P en la plataforma Google Earth Engine



Identificación y acceso a los datos satelitales: Seleccione los conjuntos de datos de Sentinel-5P que incluyen datos sobre las poluciones atmosféricas pertinentes (CO , SO_2 , O_3 , NO_2 , formaldehído y aerosoles) iniciando sesión en el catálogo Google Earth Engine.

Figura 4

Elección de los contaminantes atmosféricos para ser exportados mediante imágenes satelitales



Preprocesamiento y filtrado de datos: Antes de realizar la extracción y procesamiento de indagación se hizo un script con el lenguaje de JavaScript.

Tabla 4

Dataset y bandas empleadas en Google Earth Engine

Contaminante	Dataset en GEE	Banda
Formaldehído	COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_HCHO	tropospheric_HCHO_column_number_density
CO	COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO	CO_column_number_density
O3	COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_O3	O3_column_number_density
NO2	COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2	tropospheric_NO2_column_number_density
SO2	COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_SO2	SO2_column_number_density
Aerosoles	COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_AER_AI	absorbing_aerosol_index

Nota. La Tabla presenta los datasets oficiales del satélite Sentinel-5P disponibles en GEE y las bandas específicas empleadas para la obtención de cada contaminante atmosférico. Cada banda corresponde al parámetro necesario para la extracción correcta de las concentraciones troposféricas o densidades columnales de formaldehído, CO, O₂, NO₂, SO₂ y aerosoles en el área de estudio.

Tabla 5

Script Empleado para la Descarga del Contaminante Monóxido de Carbono (CO)

Script del Contaminante Monóxido de Carbono
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000); // 2. Cargar la colección Sentinel-5P CO para diciembre 2024 var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO') .select('CO_column_number_density') .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31') .filterBounds(juliaca) .mean() .clip(juliaca);

```
// 3. Parámetros de visualización para CO
var visParams = {
  min: 0.01,
  max: 0.05,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};

// 4. Visualizar en el mapa
Map.centerObject(julaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'CO - diciembre 2024');
// 5. Exportar como GeoTIFF a Google Drive
Export.image.toDrive({
  description: 'CO_Julaca_Diciembre2024',
  image: collection,
  fileNamePrefix: 'CO_Julaca_Diciembre2024',
  folder: 'GEE_CO',
  scale: 1000,
  region: julaca.bounds(),
  maxPixels: 1e13,
  crs: 'EPSG:4326',
});

// 6. Calcular estadísticas (min, max, promedio)
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: julaca.bounds(),
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});

// 7. Mostrar estadísticas en la consola
print('Estadísticas de CO - Diciembre 2024', stats);
```

Nota. Para la descarga de los POLUANTES SO₂, ozono, NO₂, formaldehído y aerosoles, es ineludible seleccionar la banda y el dataset correspondiente a cada contaminante atmosférico, tal como se detalla en la Tabla 4.

Extracción de Datos y delimitación del área de estudio: Utilice archivos shapefiles que representan a la ciudad de Juliaca con coordenadas geográficas para delimitarlo en el programa ArcGIS. A su vez se establecí un buffer de 15 km en el script para la delimitación en la aplicación de GEE. La extracción de los datos se hará con el Javascript para se escribió en la parte superior (New Script) de GEE y se click en correr y para su descarga se guardó en la sección de tareas para descargarlo mediante Drive en formato Geto.tif.

Figura 5

Delimitación de la ciudad de Juliaca en la plataforma de Google Earth Engine con un buffer de 15 km

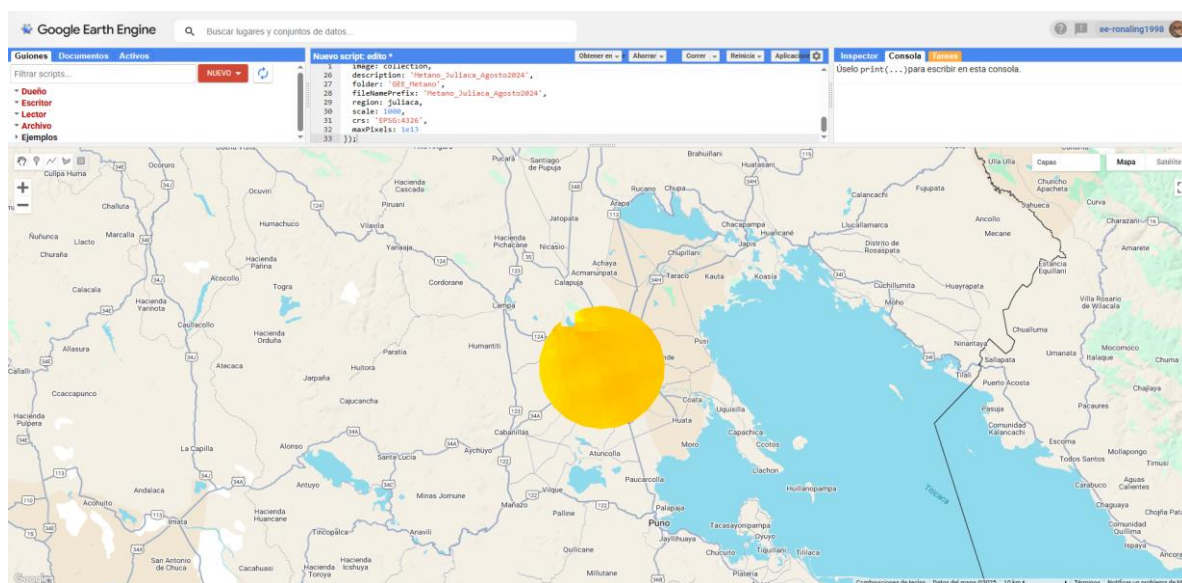
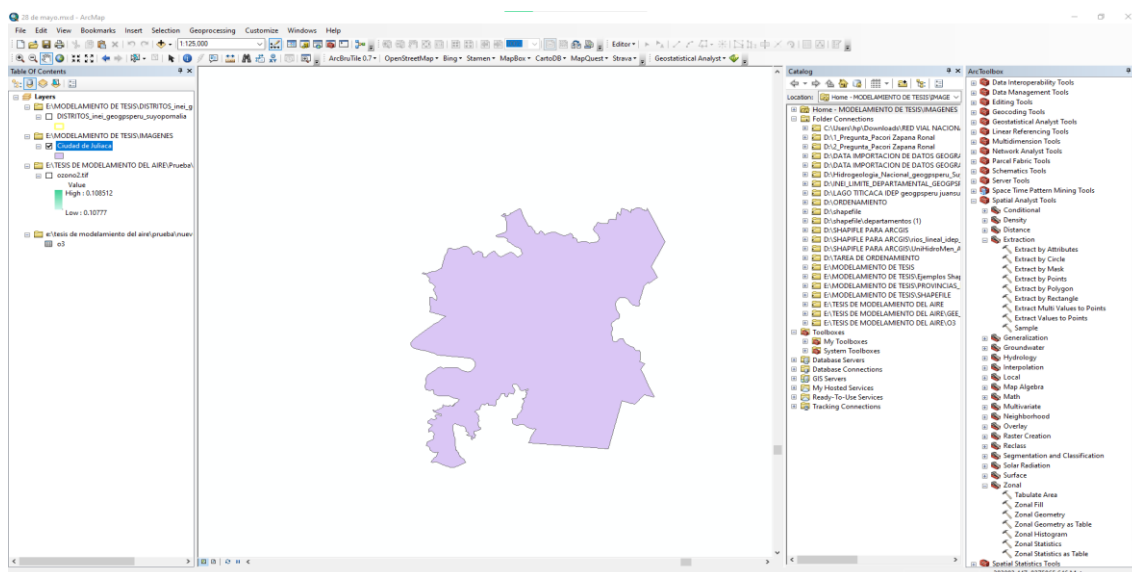


Figura 6

Delimitación de la ciudad de Juliaca con shapefile en el programa ArcGIS



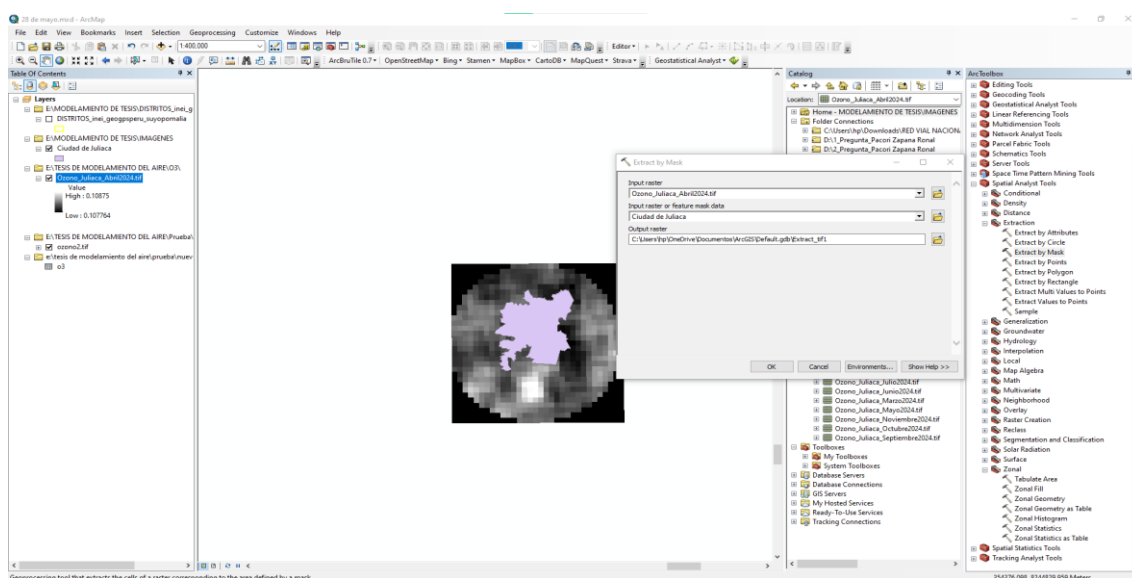
3.8.2 Procedimiento Metodológico para el Objetivo Específico 2

Visualización y exportación de datos: Para ver el reparto temporal y espacial de los poluentes atmosféricos extraídos de Google Earth Engine.

Se cargo la imagen en ArcGIS para ser recortado con la herramienta Extract By Mask teniendo como referencia el shapefile de Juliaca.

Figura 7

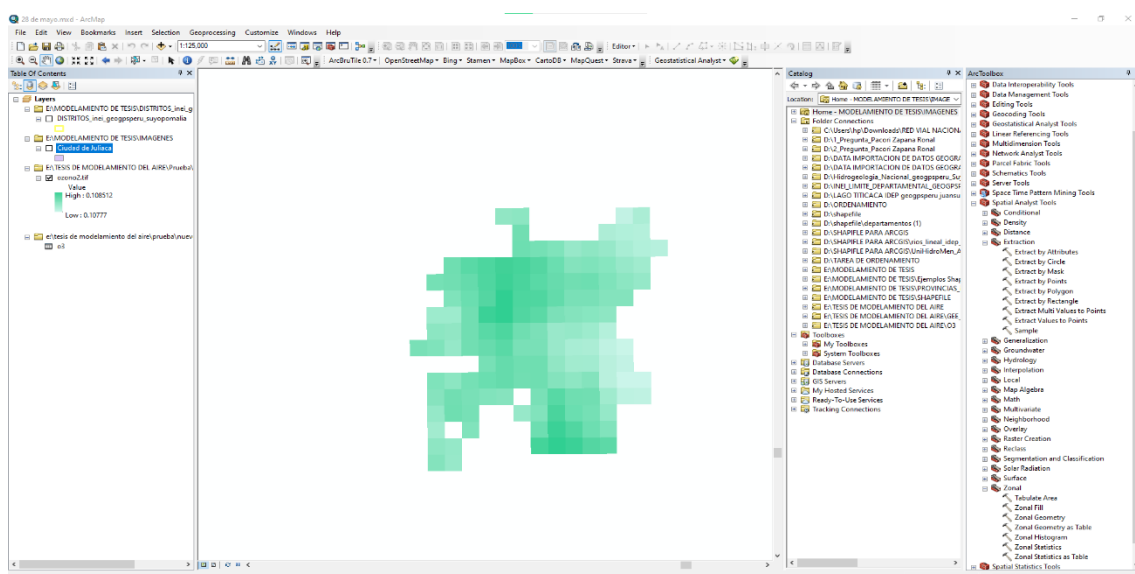
Extracción de los datos en el programa ArcGIS 7



En la Figura 8 podemos visualizar la distribución espacial del contaminante. Se trabaja de la misma forma con los demás geo.tif extraídos de la App G22 para realizar los mapas de distribución espacial.

Figura 8

Distribución de los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Juliaca



Análisis de las tendencias temporales: se extraerán los datos contenidos en el Geo.tif para crear gráficos. Se hará clic derecho sobre tu archivo Geo.tif. - Seleccionar Properties - Ir al panel Source → Statistics. Se visualizará los siguientes valores: Minimum, maximum, mean y standard deviation

Análisis de patrones Espaciales: Se elaboro mapas temáticos con el programa ArcGIS que nos muestra la distribución espacial de cada polución.

3.8.3 Procedimiento Metodológico para el Objetivo Específico 3

Para el cumplimiento del Objetivo 3:

Identificar las concentraciones máximas y mínimas: Se extrajo de cada contaminante los valores máximos, mínimos, promedio y el extravió estándar en el programa Excel.

Estudios de tablas: Se elaboraron tablas que permitieron visualizar la concentración máxima y mínima de los contaminantes para cada mes.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados por Objetivos

Los hallazgos obtenidos en este estudio responden directamente a los objetivos formulados. Los resultados se presentan organizados conforme a cada objetivo, utilizando tablas, gráficos y mapas que reflejan las reuniones mensuales de las poluciones atmosféricas en Juliaca.

4.1.1 Recopilar imágenes satelitales de los contaminantes atmosféricos (SO_2 , O_3 , NO_2 , CO , formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.

El método satelital pasiva nos permitió la obtención de indagación de la corteza de la tierra por medio de sensores instalados en los satélites como es el satélite Sentinel – 5P, esté proceso descubre la radiación que expresa la variable de analisis, se ejecutó la elección del satélite. Siendo este el Satélite Copernicus Sentinel - 5P, este satélite tiene como misión exclusiva el monitoreo de la atmósfera, el clima y la contaminación del aire, incluyendo O_2 , NO_2 , CO , dióxido de azufre, formaldehído y aerosoles, cuyas concentraciones se miden en mol/m^2 .

La descarga de dichos retratos se ejecuta por medio de Google Earth Engine esgrimiendo su lenguaje de simbolización, elemento fundamental para el desarrollo y aplicación de procesos geoespaciales. Este enfoque emplea fórmulas específicas para la exportación, lo que permite obtener la colección de imágenes correspondiente a cada algoritmo de contaminante, incluyendo la identificación de las bandas espectrales, la

selección temporal de datos acotada a las fechas del estudio, la especificación de la banda que contiene el dibujo y la delimitación de la zona de utilidad por medio de un buffer con coordenadas definidas. En total, se descargaron 72 imágenes, almacenadas posteriormente en un directorio específico. En la Tabla 6 se presenta el código de programación utilizado para la descarga de datos satelitales

Tabla 6

Leguaje de programación javascript utilizado en GEE

Lenguaje de programación JavaScript

```
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km
var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000);

// 2. Cargar la colección Sentinel-5P NO2 para diciembre 2024
var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2')
  .select('tropospheric_NO2_column_number_density')
  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(juliaca)
  .mean()
  .clip(juliaca);

// 3. Parámetros de visualización (ajustados a valores típicos de NO2)
var visParams = {
  min: 0.00002,
  max: 0.0005,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};

// 4. Visualizar en el mapa
Map.centerObject(juliaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'NO2 - Diciembre 2024');

// 5. Exportar como GeoTIFF a Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: collection,
```

```
description: 'NO2_Juliaca_Diciembre2024',
folder: 'GEE_NO2',
fileNamePrefix: 'NO2_Juliaca_Diciembre2024',
region: juliaca,
scale: 1000,
crs: 'EPSG:4326',
maxPixels: 1e13
});

// 6. Calcular estadísticas (mín, máx, promedio)
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: juliaca,
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});

// 7. Mostrar estadísticas en la consola
print('Estadísticas de NO2 - Diciembre 2024', stats);
```

4.1.2 Analizar la distribución espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos (SO₂, O₃, NO₂, CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024

Esta sección se detalla la colocación temporal y espacial de los poluentes meteorológicos (NO₂, SO₂, O₃, CO, formaldehído y aerosol) en Juliaca, obtenidos del procesamiento de datos del satélite Sentinel-5P durante el año 2024.

Los resultados se muestran a través mapas de concentración mensual que permiten identificar los patrones de distribución espacial; así como las tendencias temporales de cada contaminante (SO₂, O₃, NO₂, CO, formaldehído y aerosoles).

Figura 9

Análisis espacio - temporal del SO₂ en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024

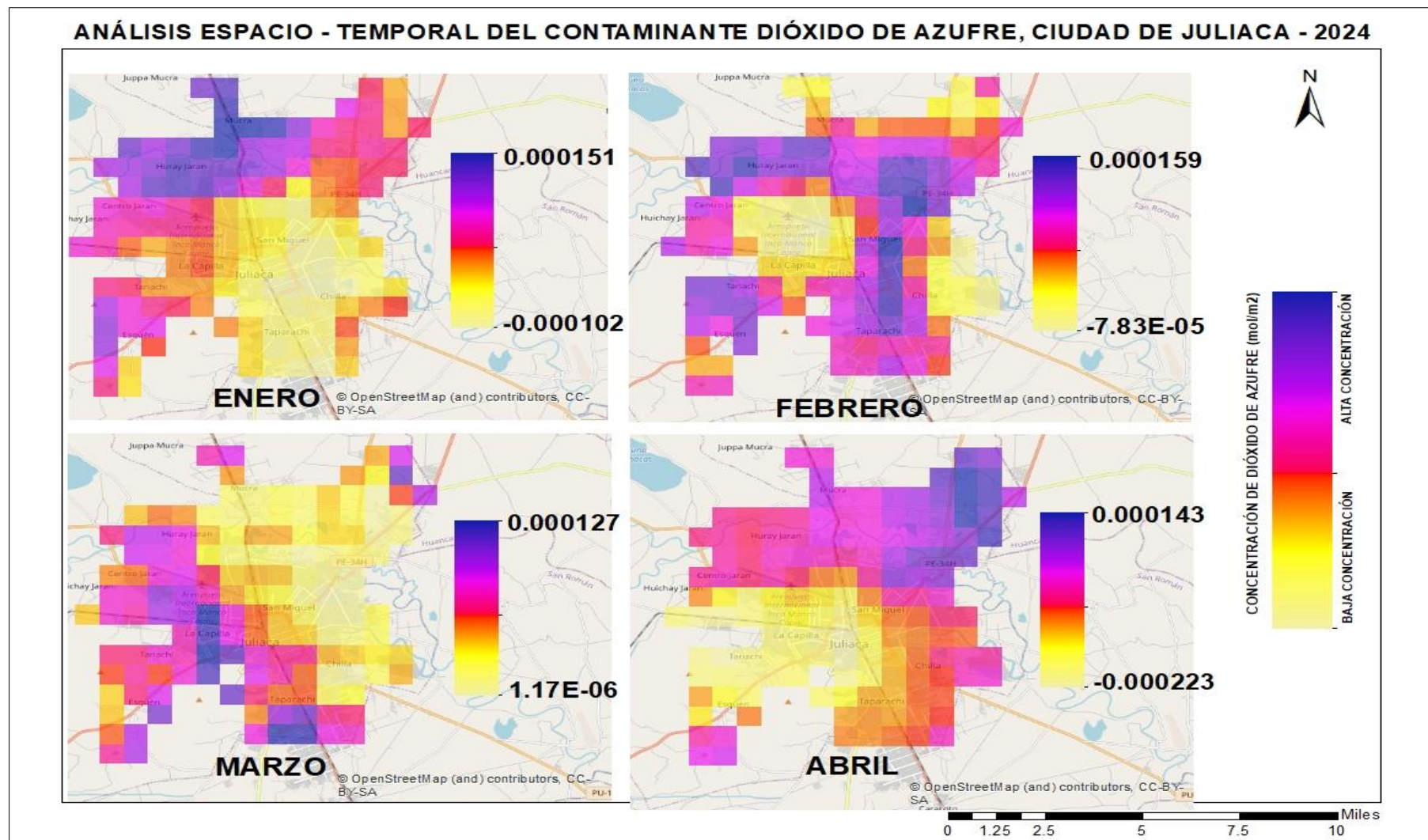


Figura 10

Análisis espacio - temporal del SO_2 en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024

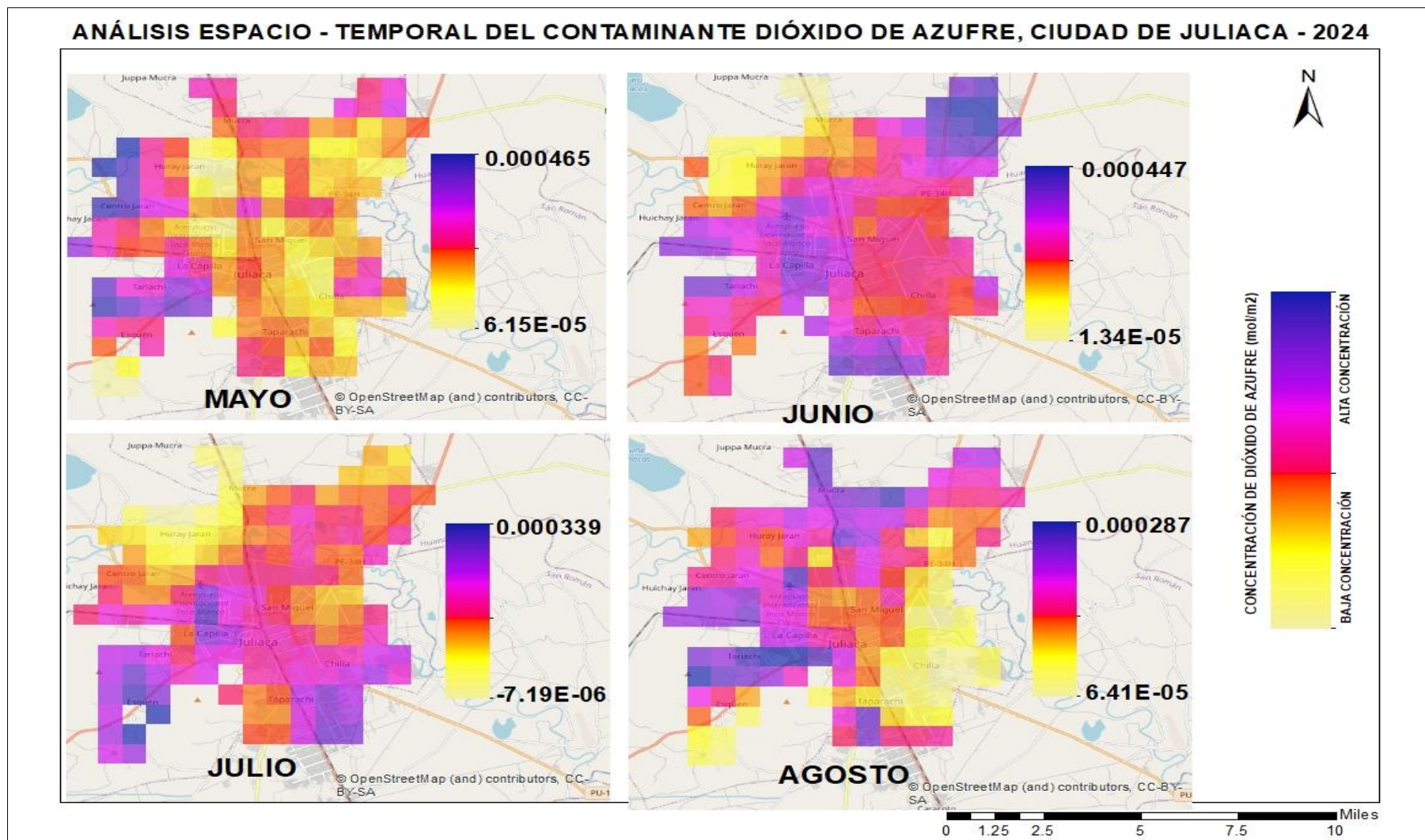


Figura 11

Análisis espacio - temporal del SO₂ en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024

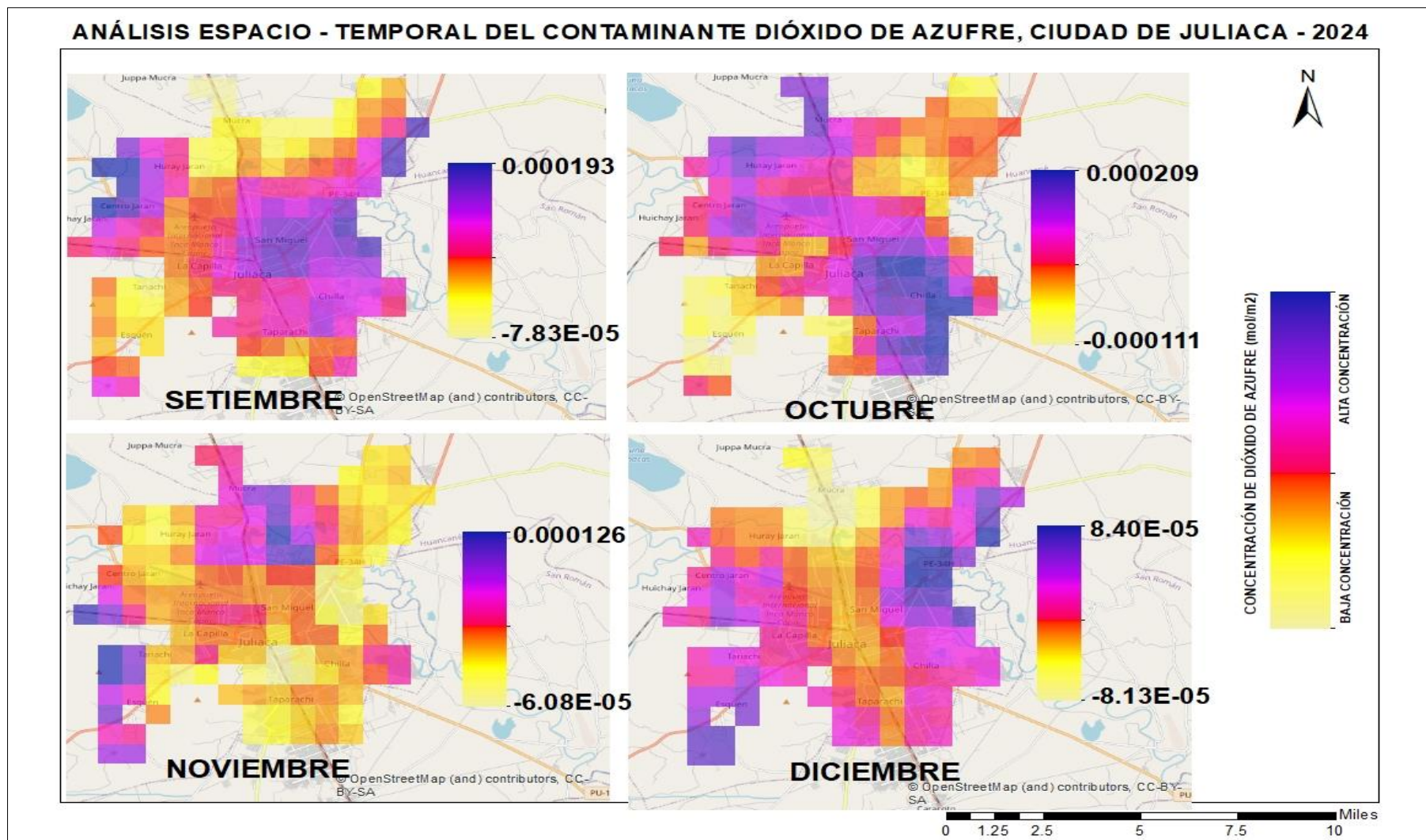


Figura 12

Análisis espacio - temporal del O_3 en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024

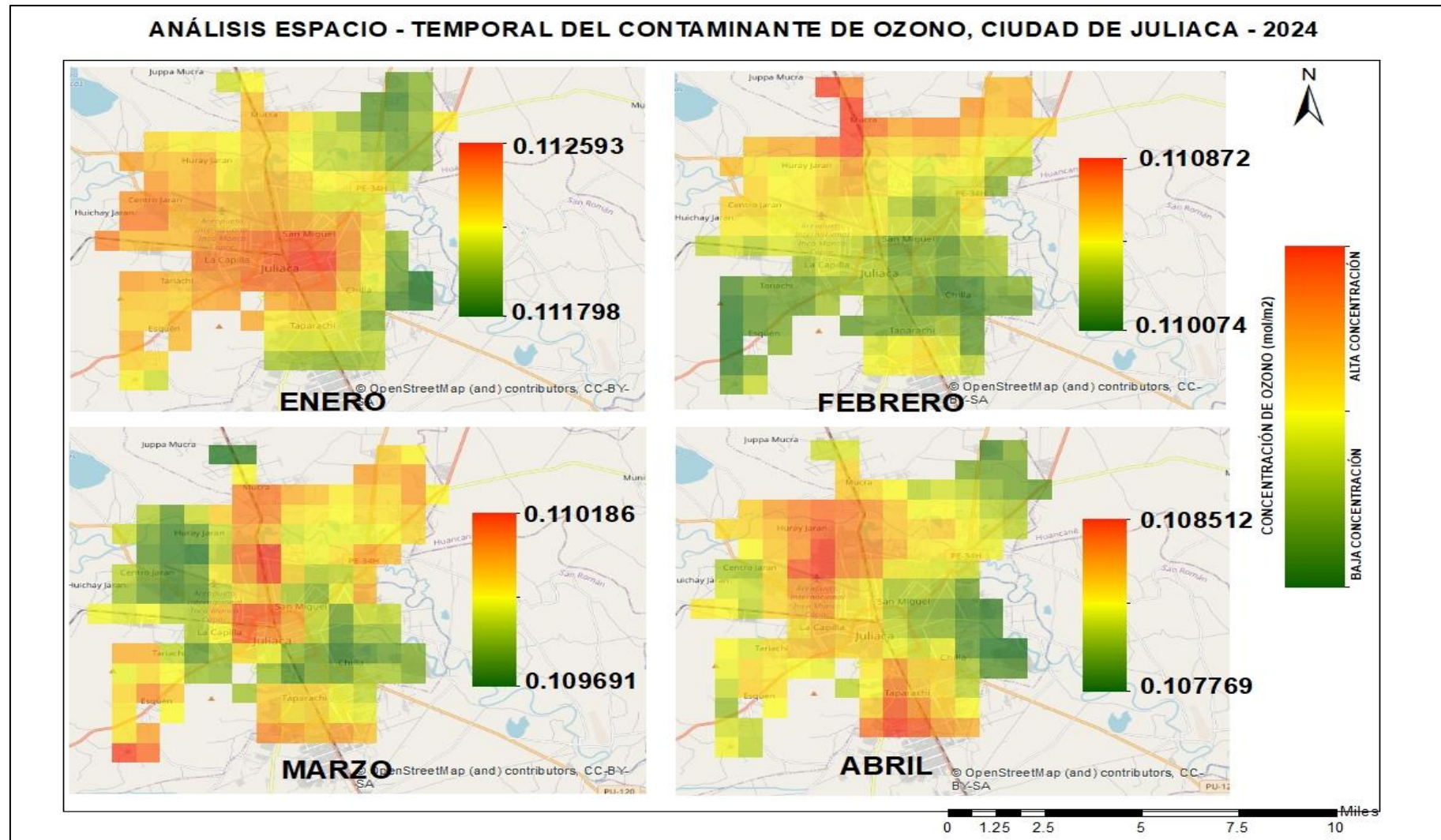


Figura 13

Análisis espacio - temporal del O_3 en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024

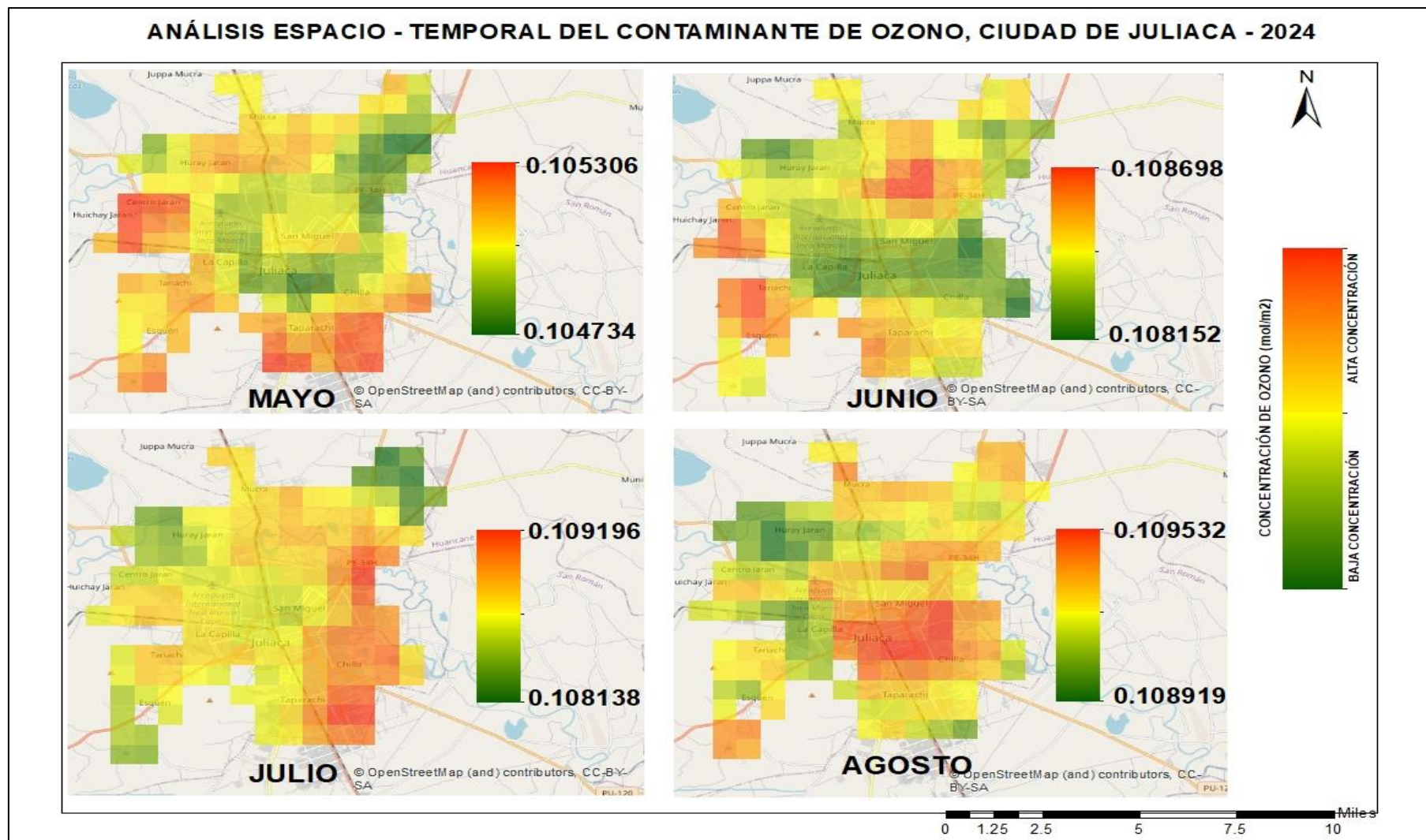


Figura 14

Análisis espacio - temporal del O_3 en la Ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024

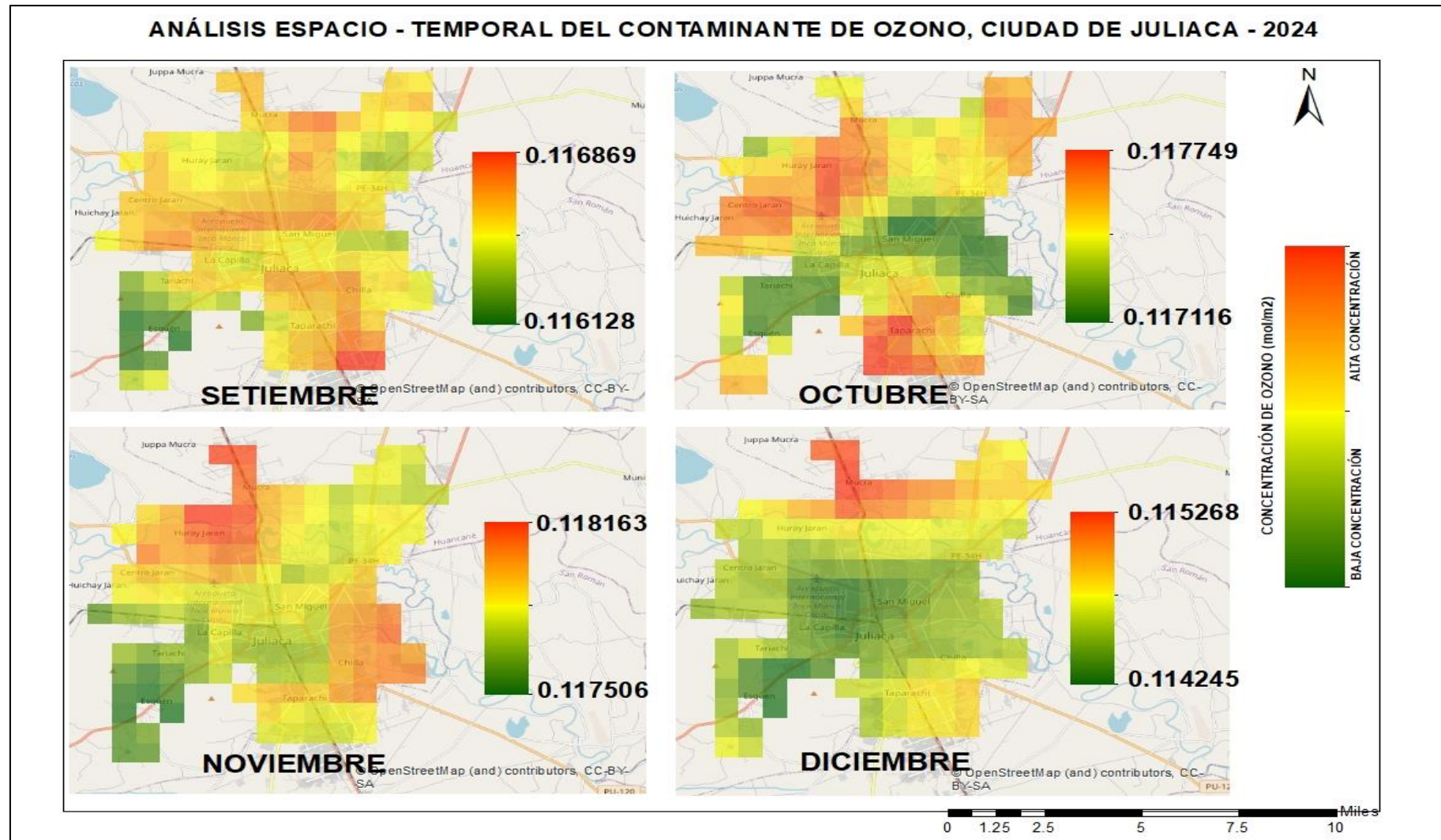


Figura 15

Análisis espacio - temporal del NO₂ en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024

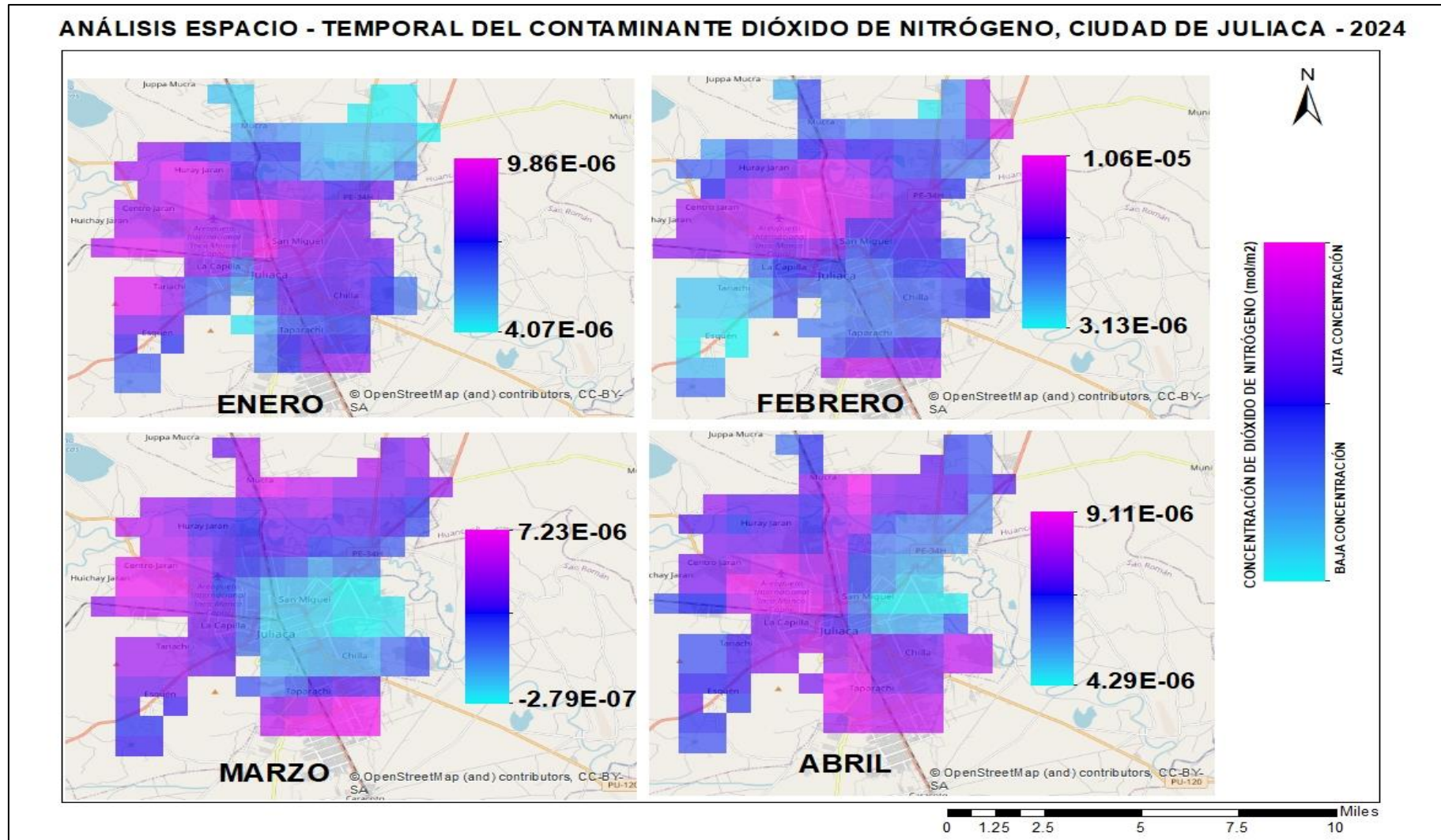


Figura 16

Análisis espacio - temporal del NO₂ en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024

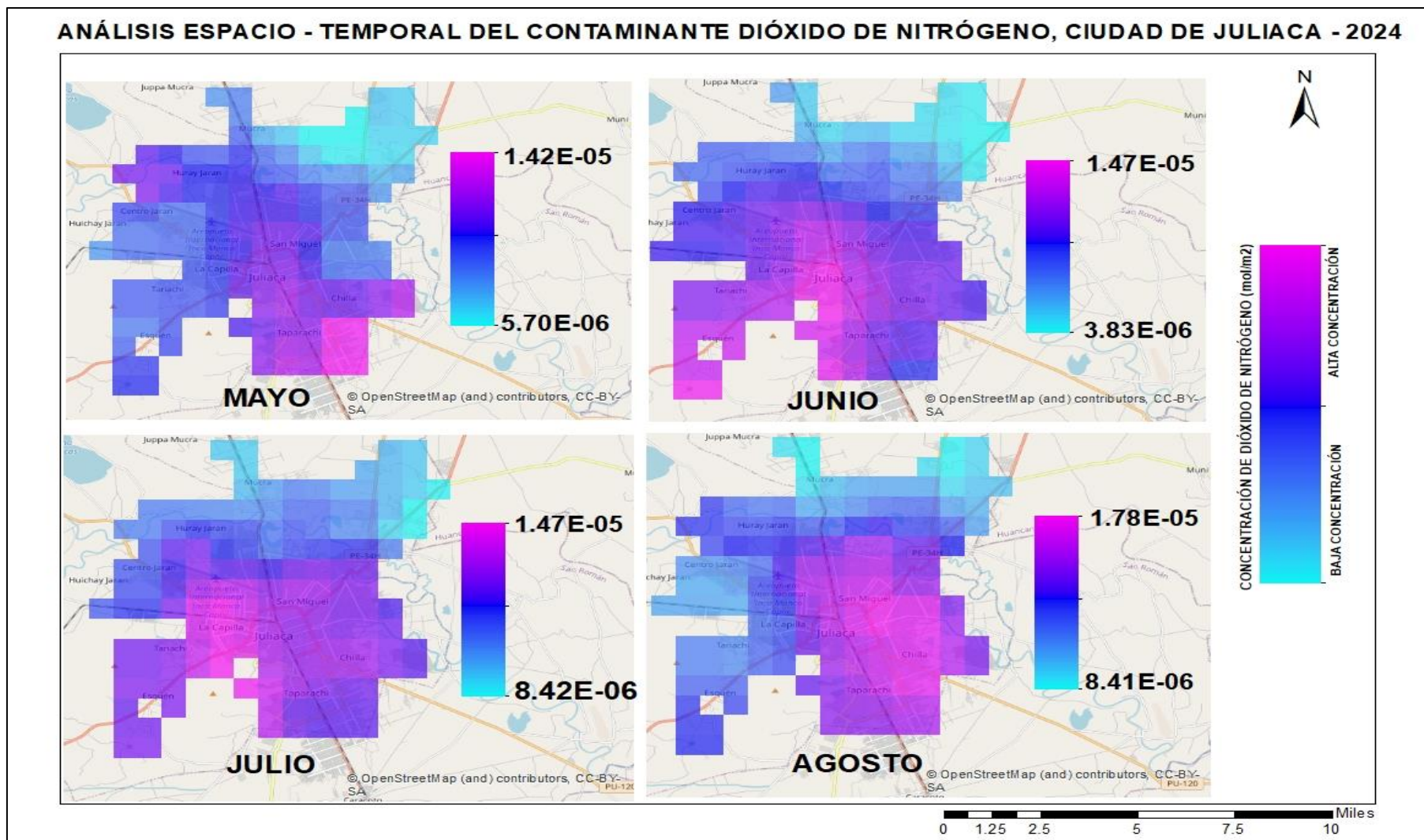


Figura 17

Análisis espacio - temporal del NO_2 en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024

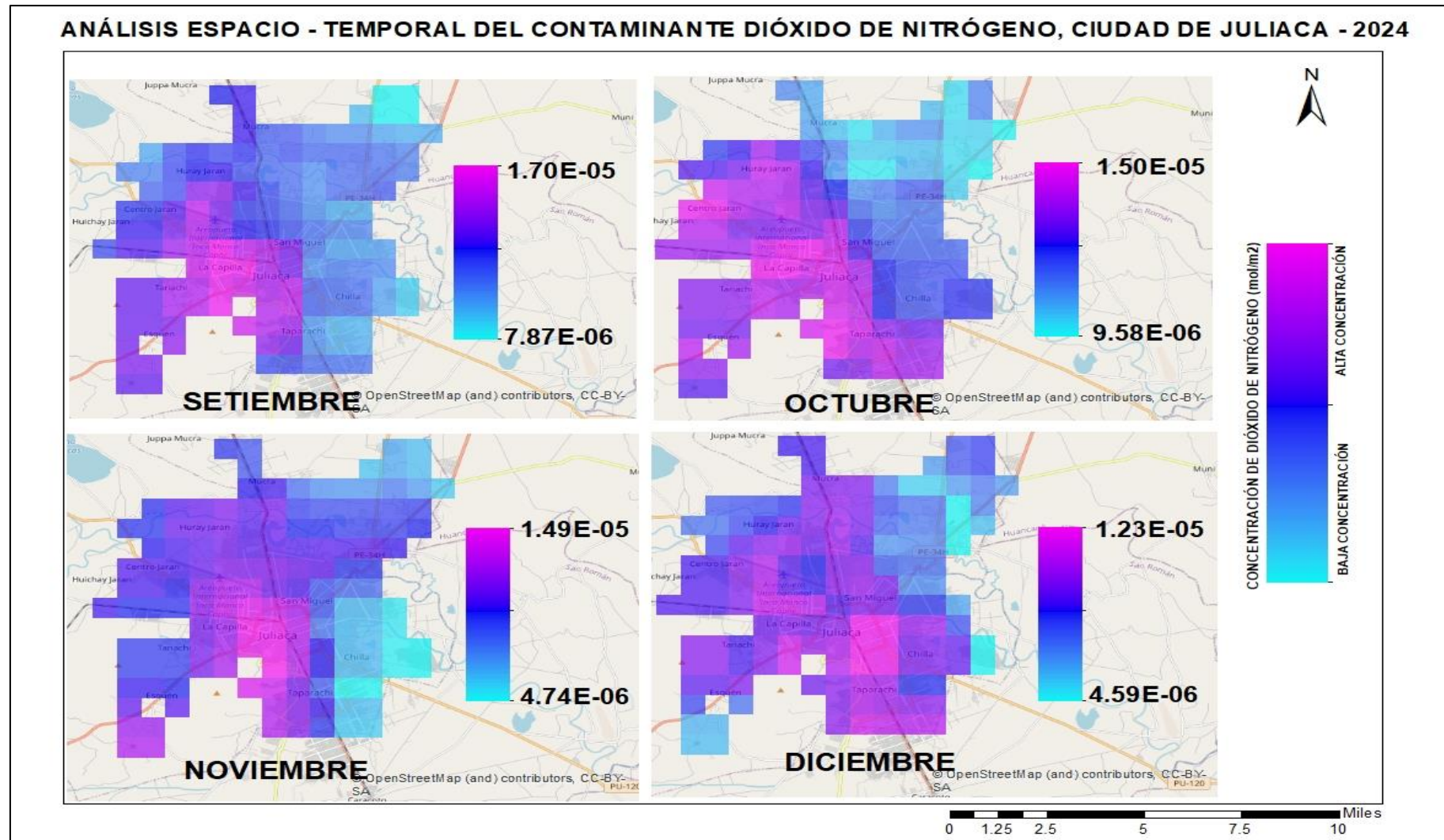


Figura 18

Análisis espacio - temporal del CO en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024

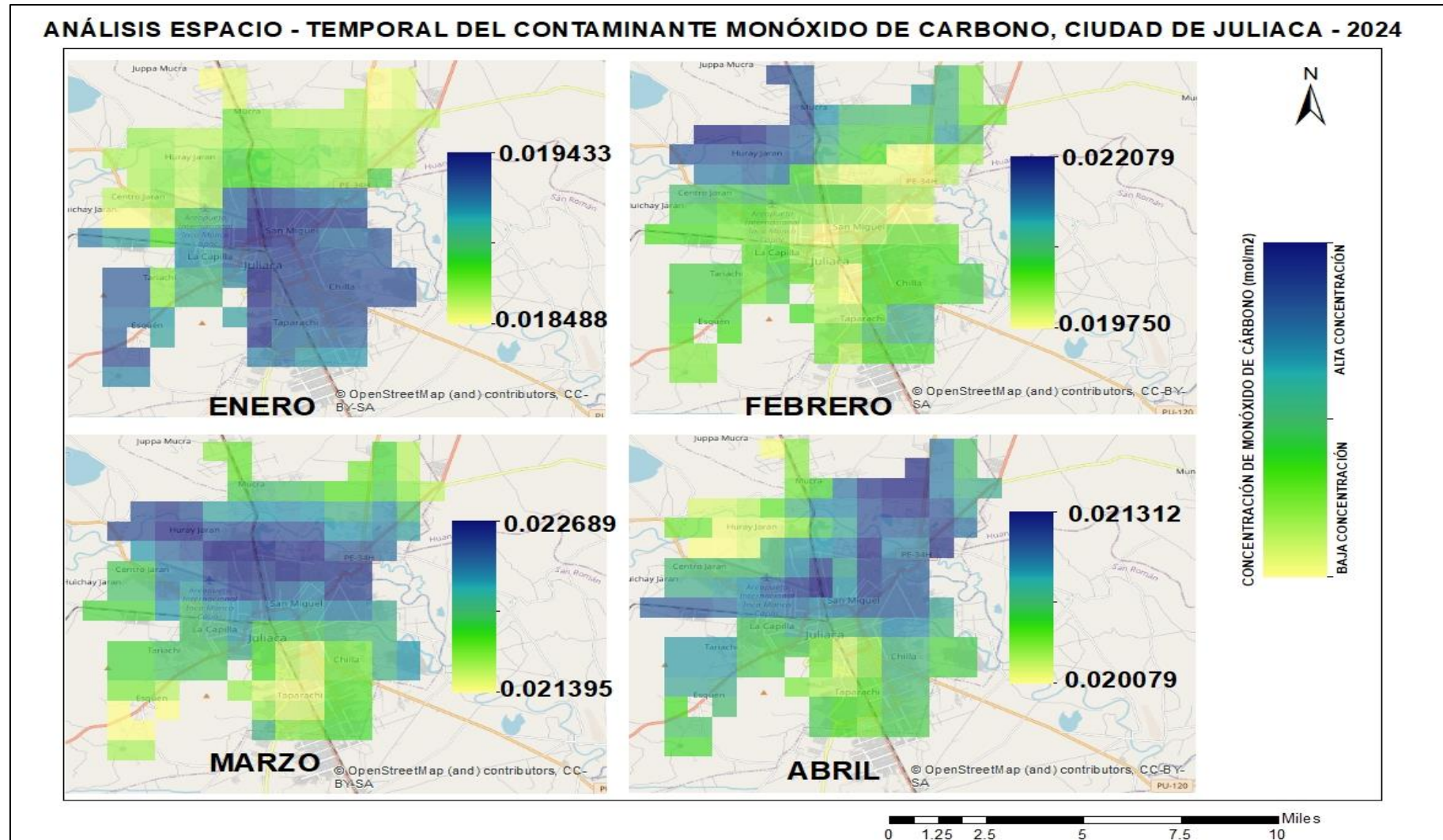


Figura 19

Análisis espacio - temporal del CO en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024

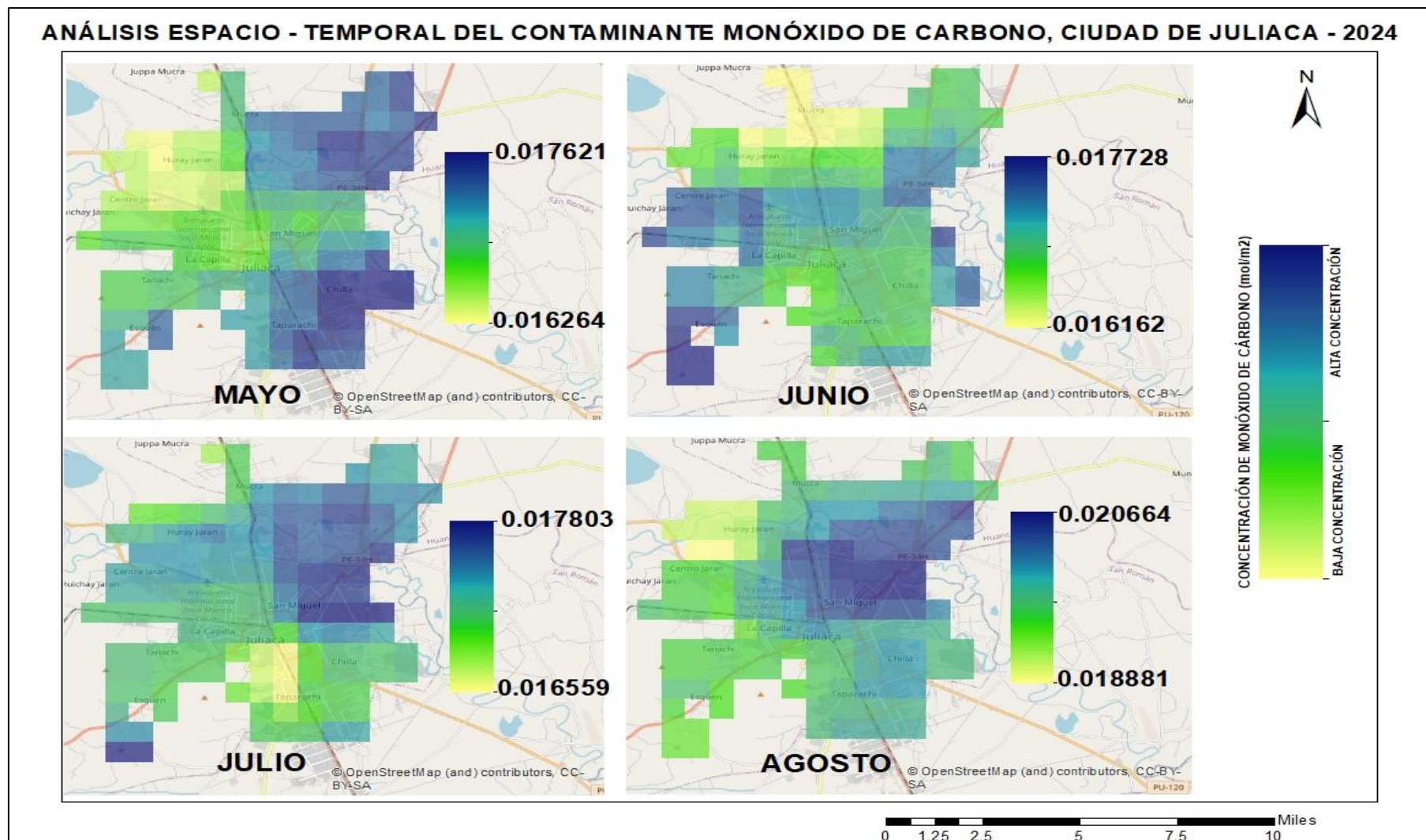


Figura 20

Análisis espacio - temporal del CO en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024

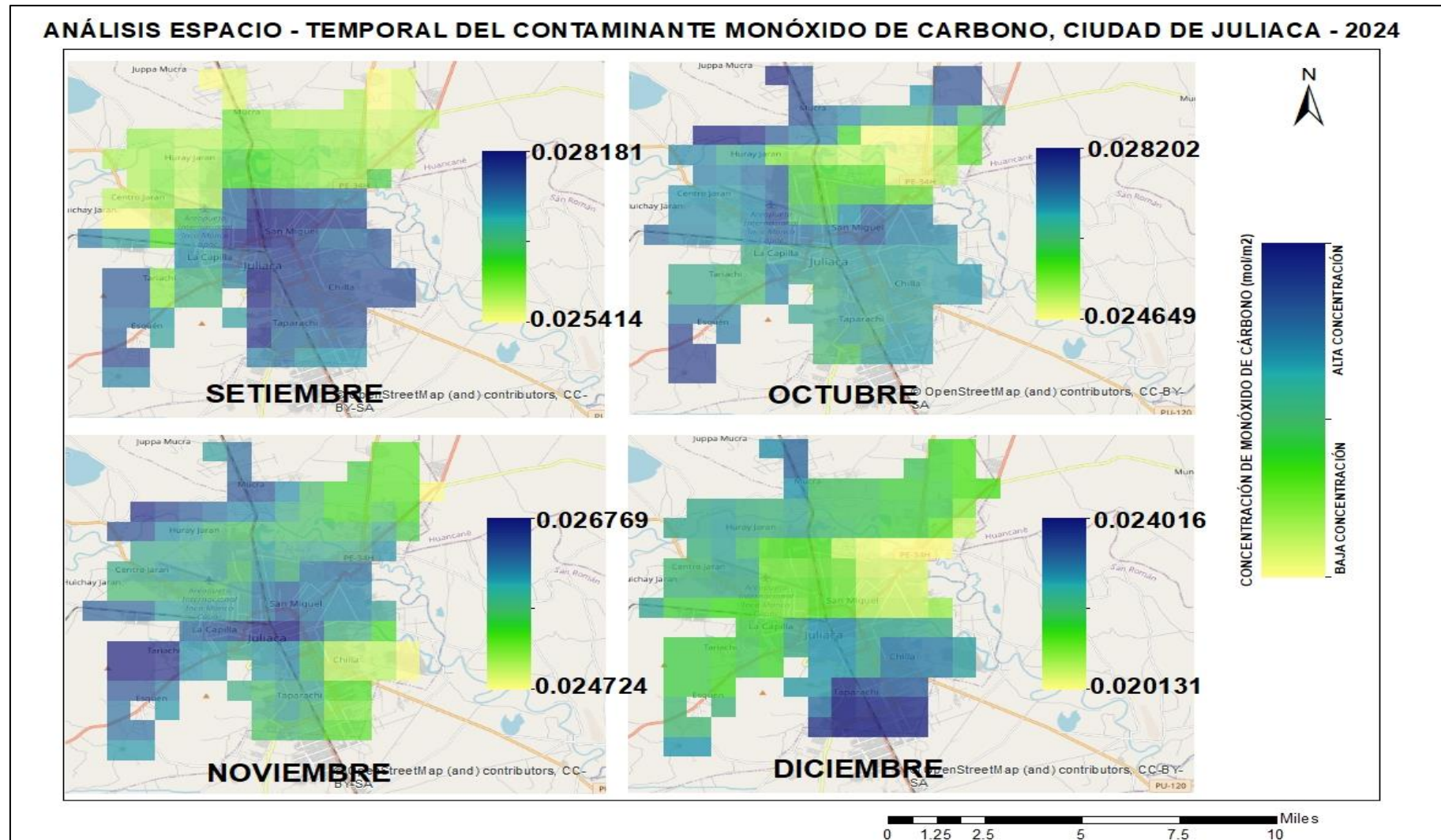


Figura 21

Análisis espacio - temporal del Formaldehído en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024

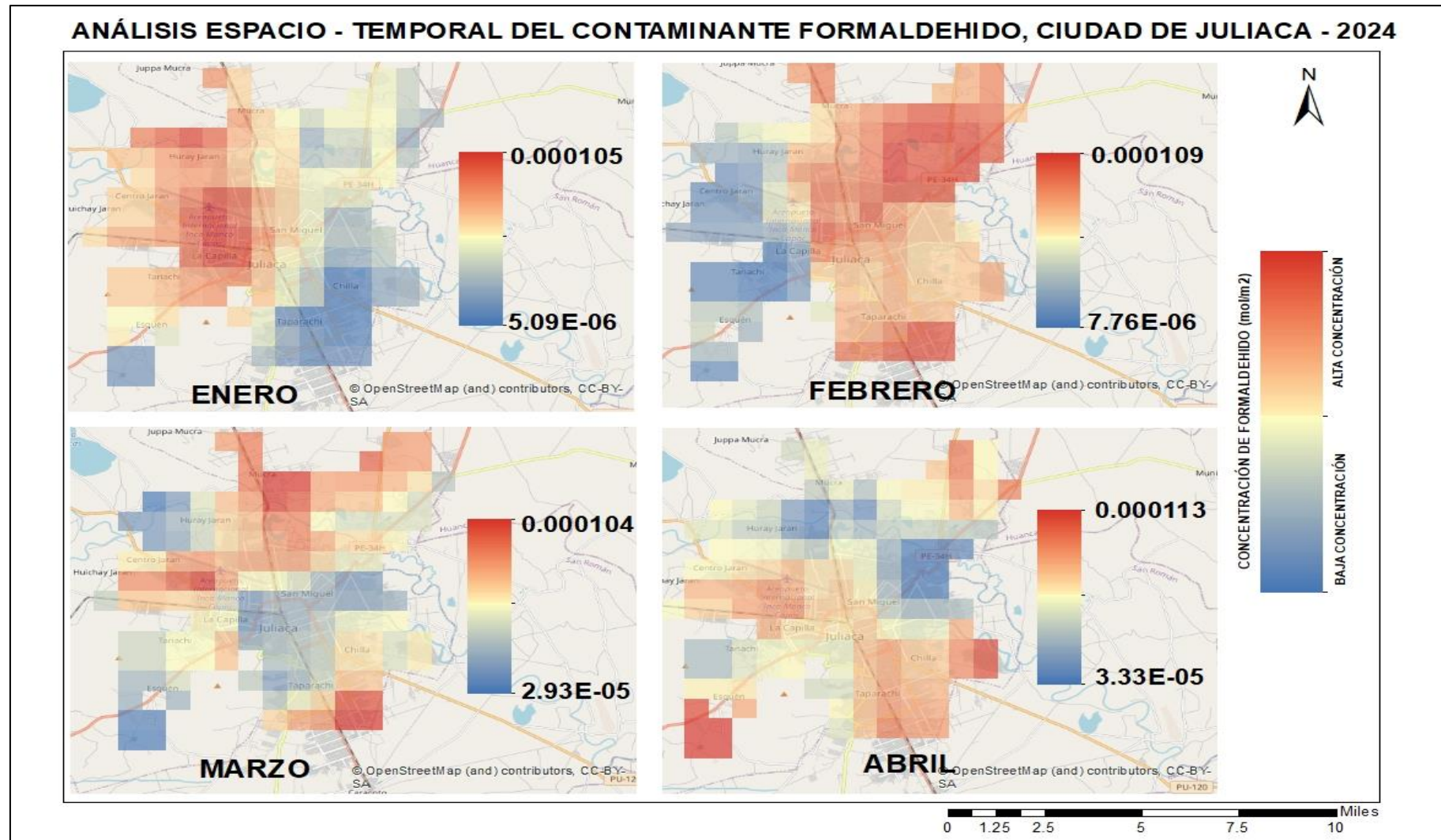


Figura 22

Análisis espacio - temporal del Formaldehído en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024

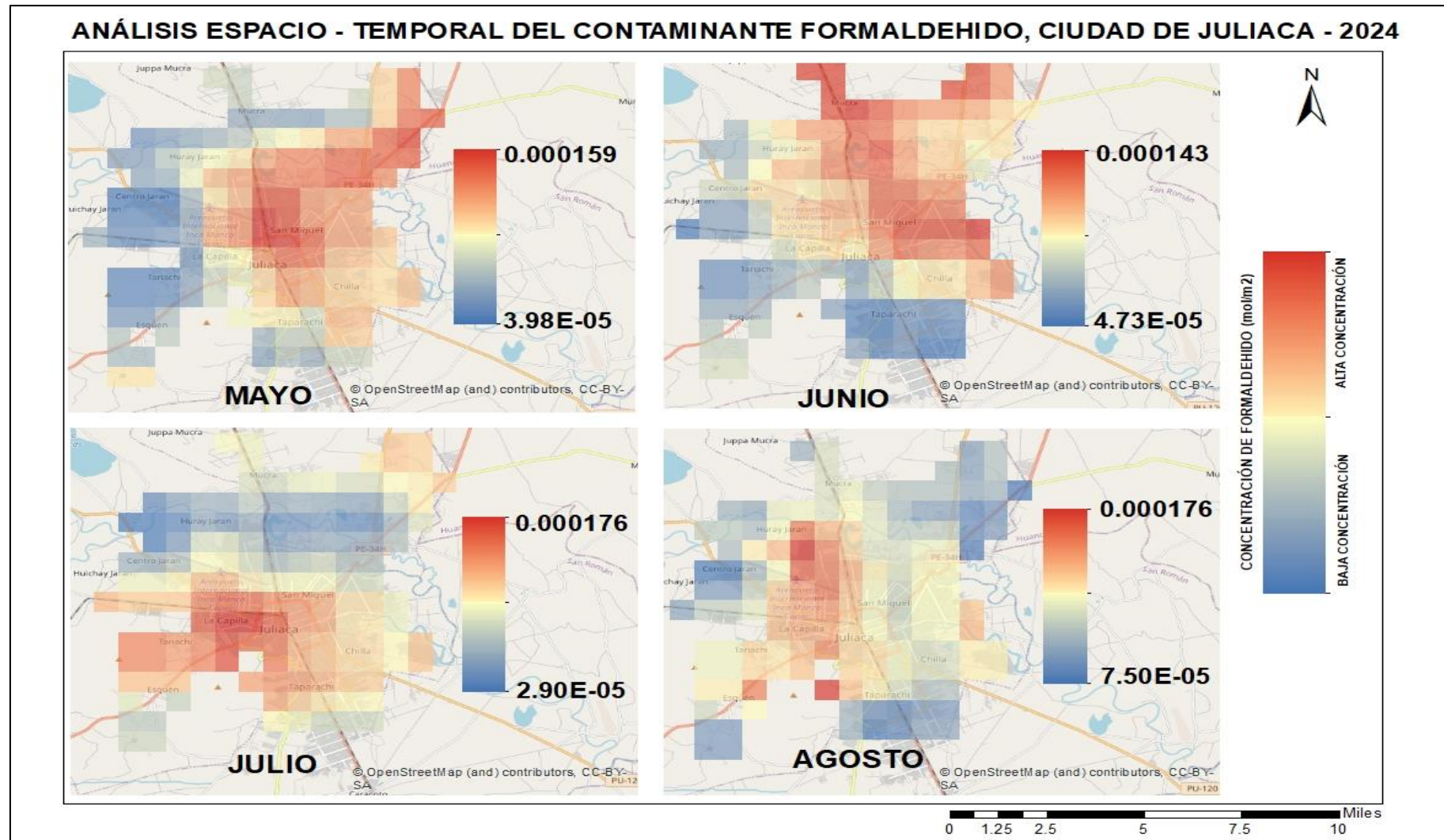


Figura 23

Análisis espacio - temporal del Formaldehído en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024

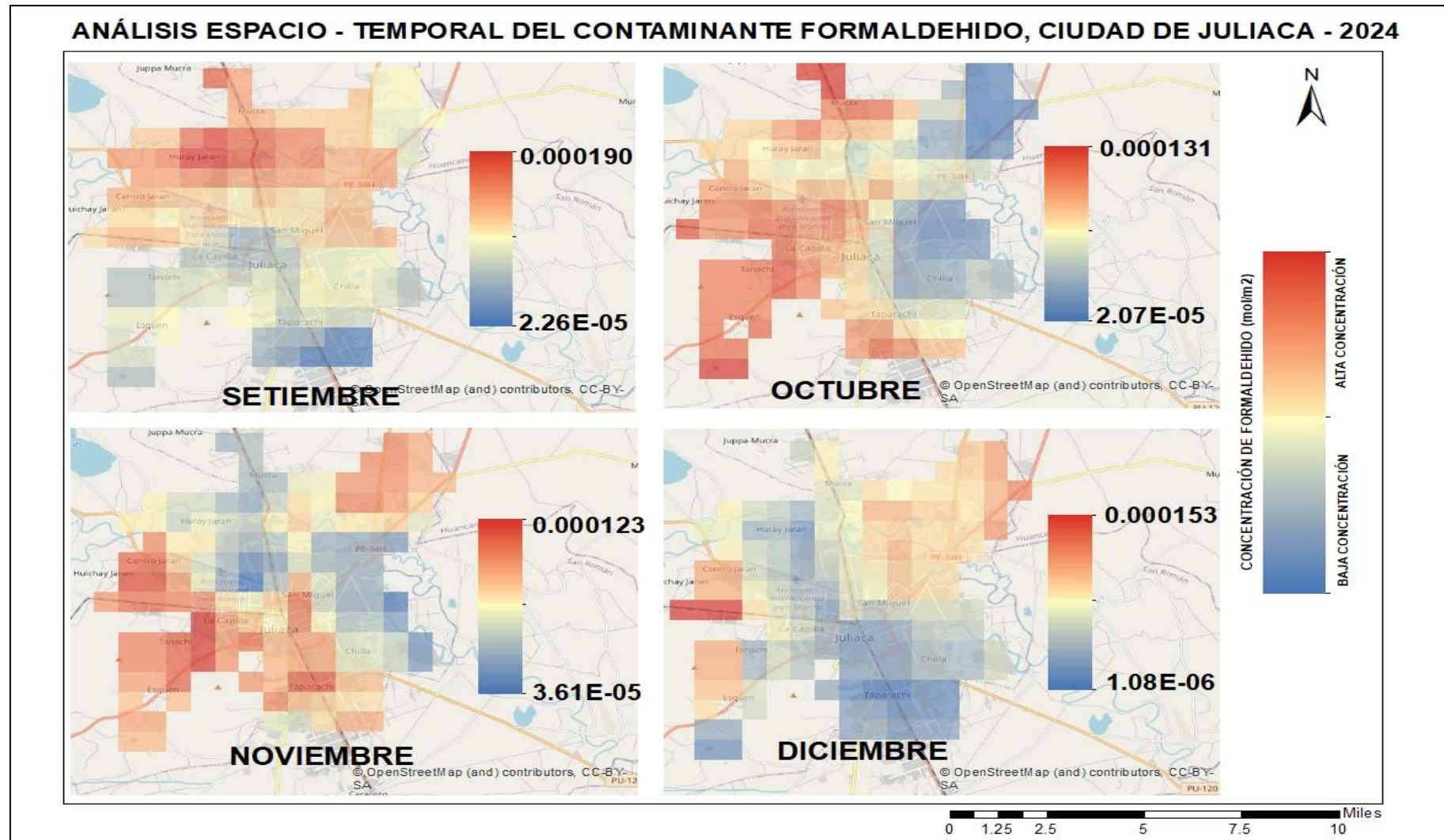


Figura 24

Análisis espacio - temporal del Aerosol en la ciudad de Juliaca de enero a abril del 2024

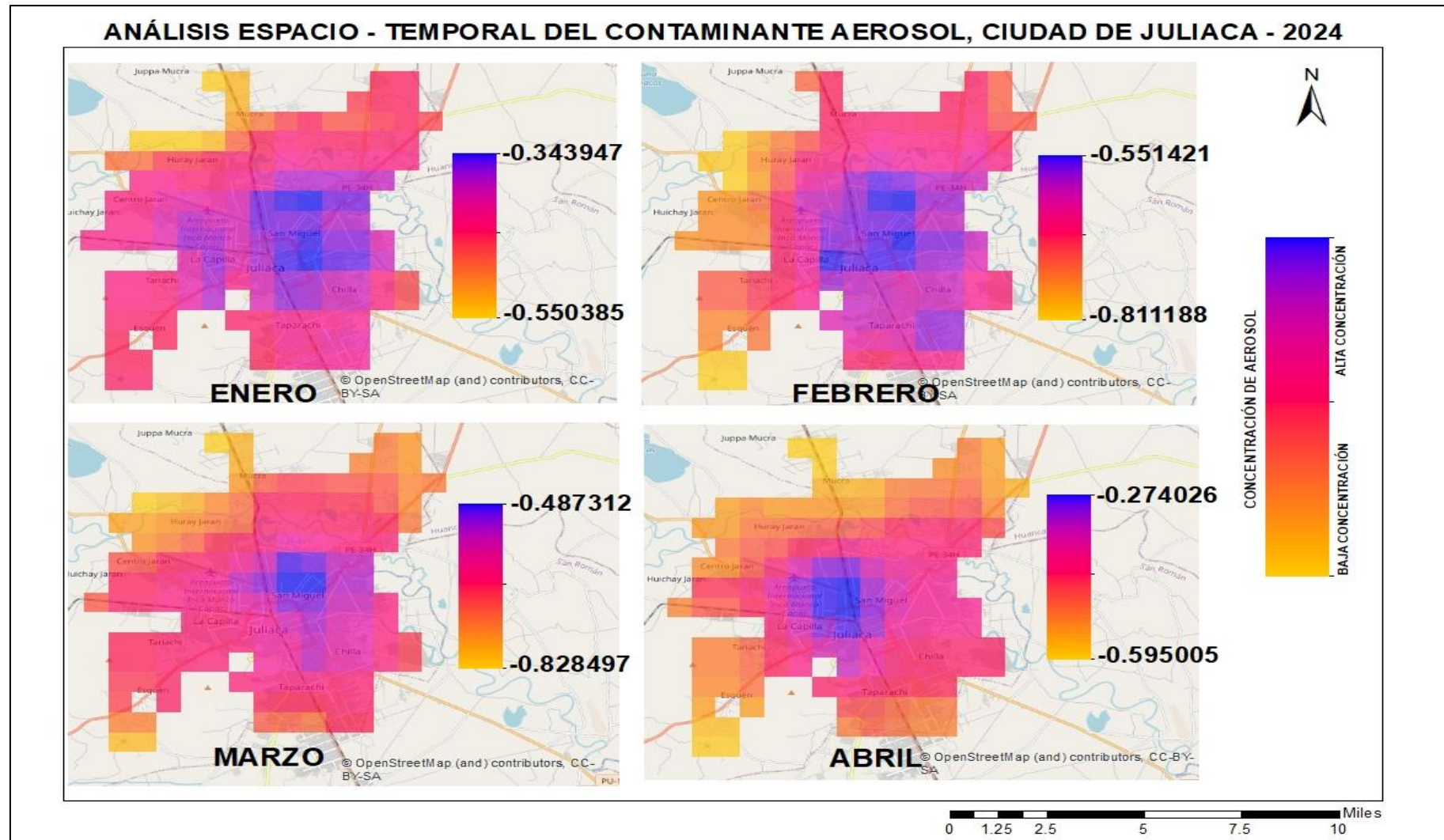


Figura 25

Análisis espacio - temporal del Aerosol en la ciudad de Juliaca de mayo a agosto del 2024

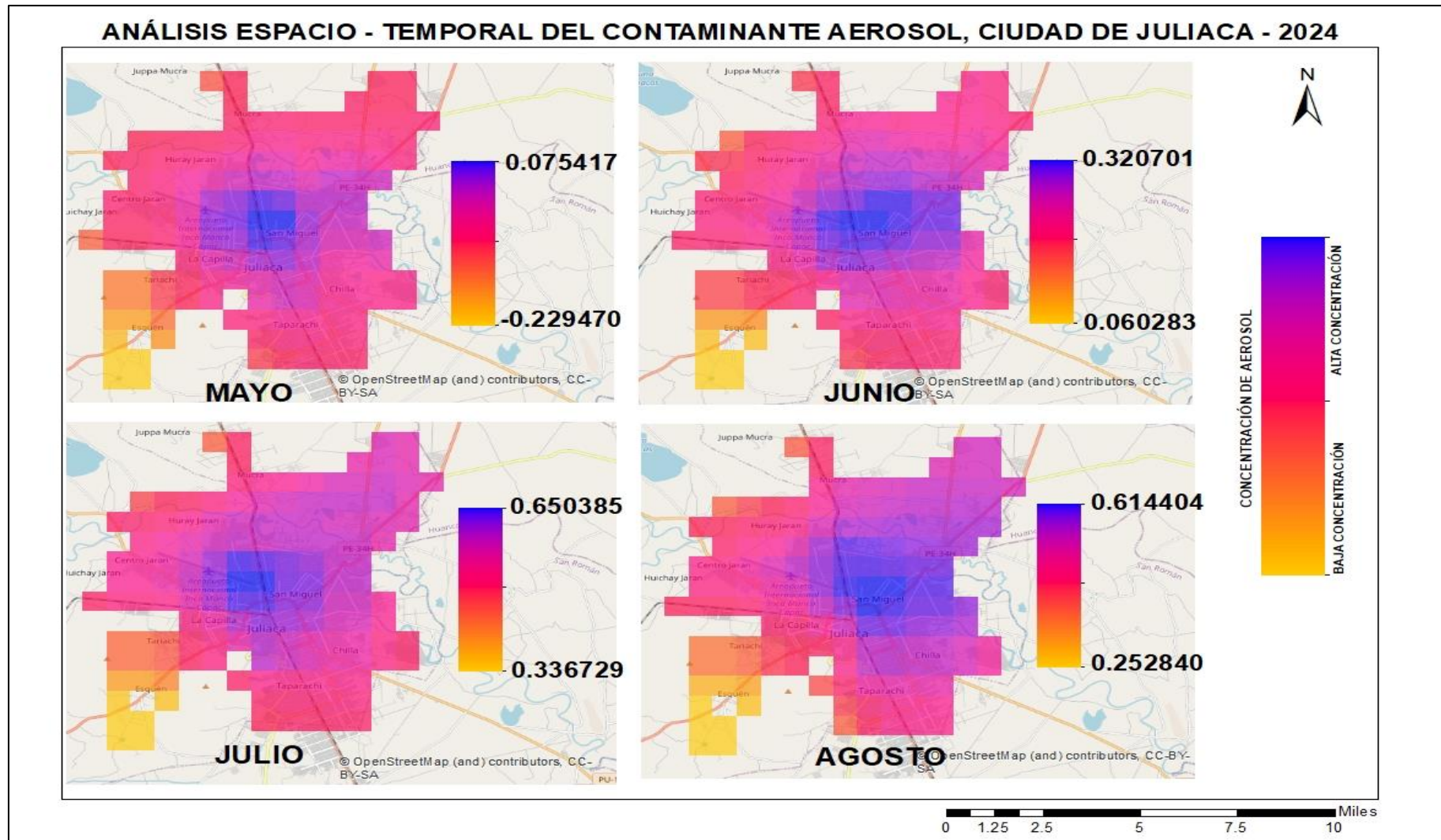
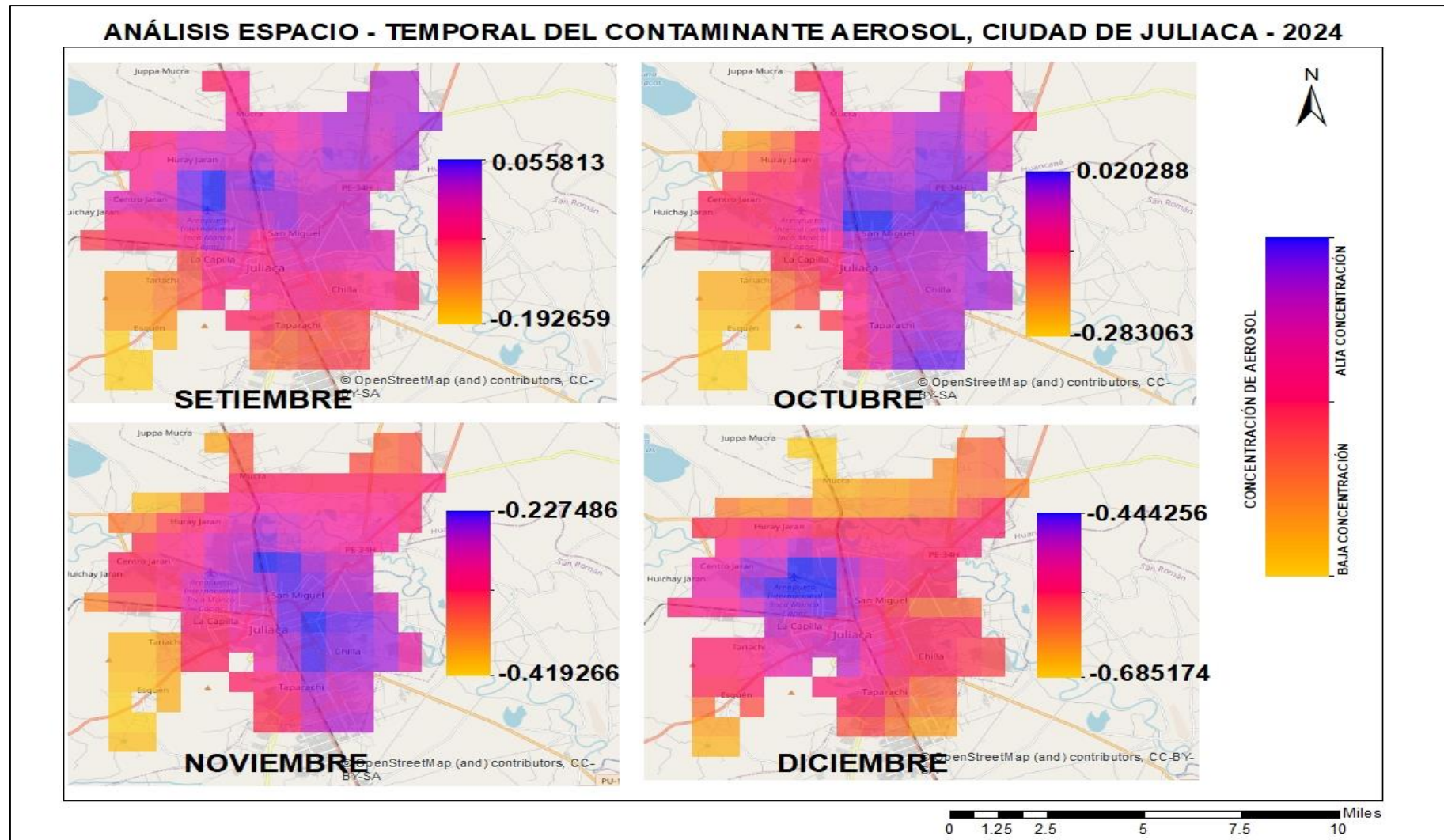


Figura 26

Análisis espacio - temporal del Aerosol en la ciudad de Juliaca de setiembre a diciembre del 2024



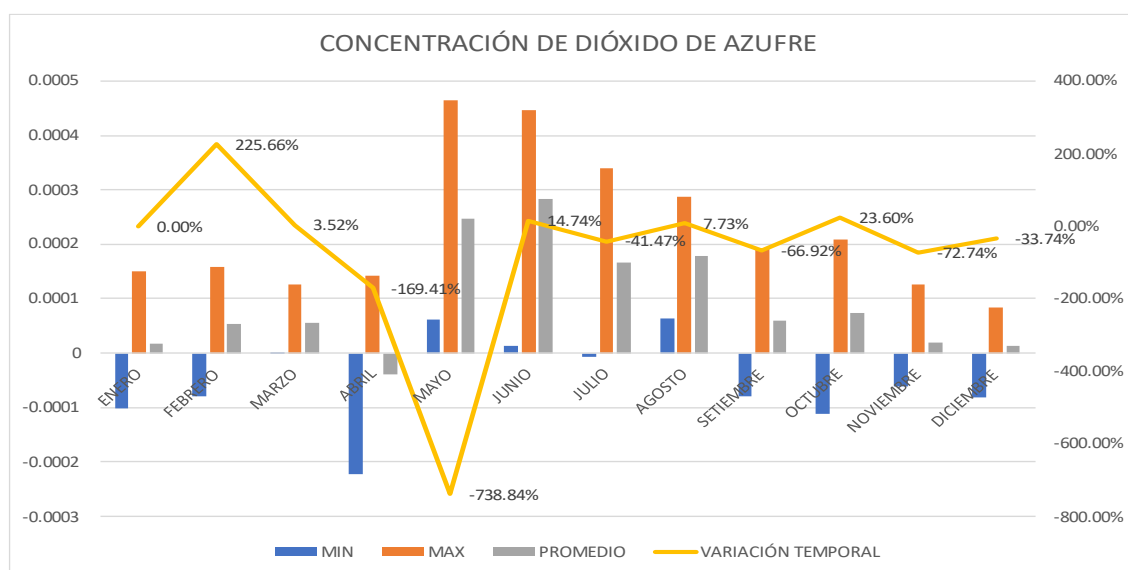
Análisis para el contaminante atmosférico SO₂

Interpretación de Variación Espacial y Temporal.

El emanan espacial de las reuniones de SO₂, desde enero hasta diciembre del 2024, se puede visualizar en las Figuras 9, 10 y 11, altas concentraciones representadas de color morado (altas concentraciones), rojizo y rosado (moderado) y de color amarillo (bajas concentraciones). En junio y julio se mostraron más tonalidades de color morado y rojo siendo los meses con mayor presencia del contaminante, en el mes de setiembre y octubre las coloraciones moradas fueron detectadas en el centro de la ciudad, a contraste de los demás años. La presencia más baja de SO₂ se dio en enero y marzo donde se evidencia que el color amarillo predomina en varios sectores de la ciudad. En el análisis temporal, en la Figura 27, la concentración más baja se registró en el abril, sin embargo, este tuvo un crecimiento abrupto en el mes de mayo considero también el mes que se registró la mayor concentración a partir del mes de junio empezó a descender las concentraciones de este contaminante esto posiblemente esté relacionado con la temporada de helada y época de estiaje en el altiplano puneño. Durante el año las concentraciones del contaminante se vieron influencias por épocas de estiaje y avenidas.

Figura 27

Variación mensual de la concentración del contaminante Dióxido de Azufre (SO₂).



Nota: La variación temporal fue realizada a partir del promedio mensual de la concentración.

Análisis para el contaminante atmosférico Ozono (O_3),

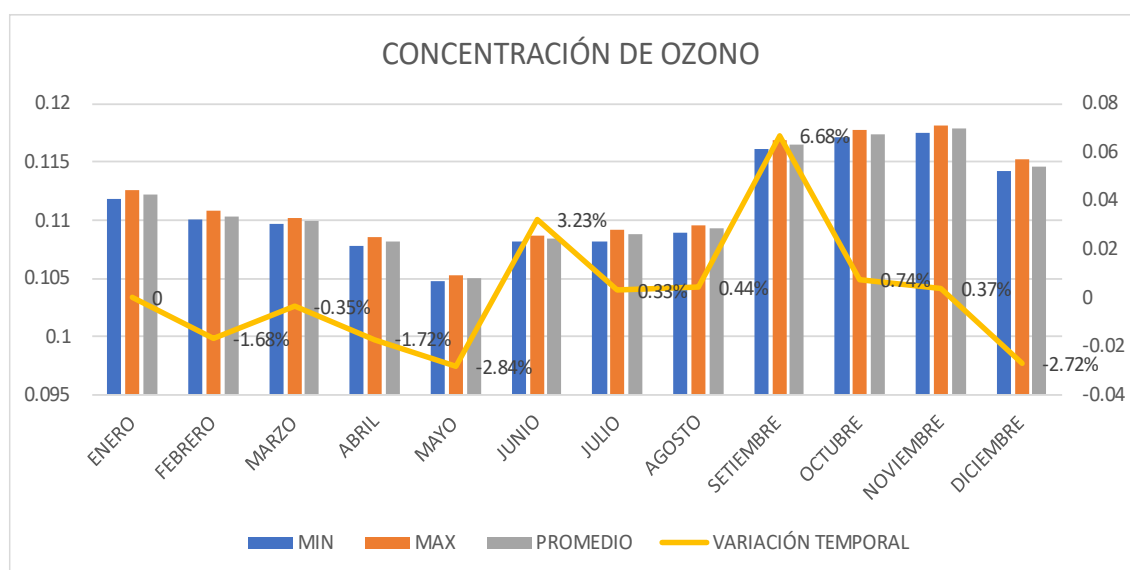
Interpretación de Variación Espacial y Temporal.

El examen espacial nos da en la Figura 12, Figura 13 y Figura 14, como las coloraciones de color rojo y amarillo son predominantes en toda la ciudad de Juliaca. Estas cambian de tonalidad en diferentes zonas de la ciudad, podemos apreciar que las coloraciones rojas se visualizan con mayor frecuencia en las zonas periféricas, esto puede deberse al aumento de las actividades extractivas como la minería no metálica (extracción de arena, piedra, etc.) en los ríos y cerros cercanos a la ciudad. El aumento de la extracción del material de acarreo libera en la atmosfera COV, que, en conjunto con el aumento del parque automotor y la radiación solar, se crea este contaminante.

En lo temporal podemos visualizar en la Figura 28 el comportamiento de la reunión de O_2 durante el 2024, se aprecia en mayo se dio la concentración baja de Ozono. Las reuniones altas de O_3 se registraron a partir del mes de setiembre hasta diciembre siendo el mes de noviembre donde se registró la mayor concentración.

Figura 28

Variación mensual de la concentración del contaminante Ozono (O_3).



Nota: La variación temporal fue realizada a partir del promedio mensual de las concentraciones del contaminante O_3

Análisis para el contaminante atmosférico Dióxido de Nitrógeno NO_2

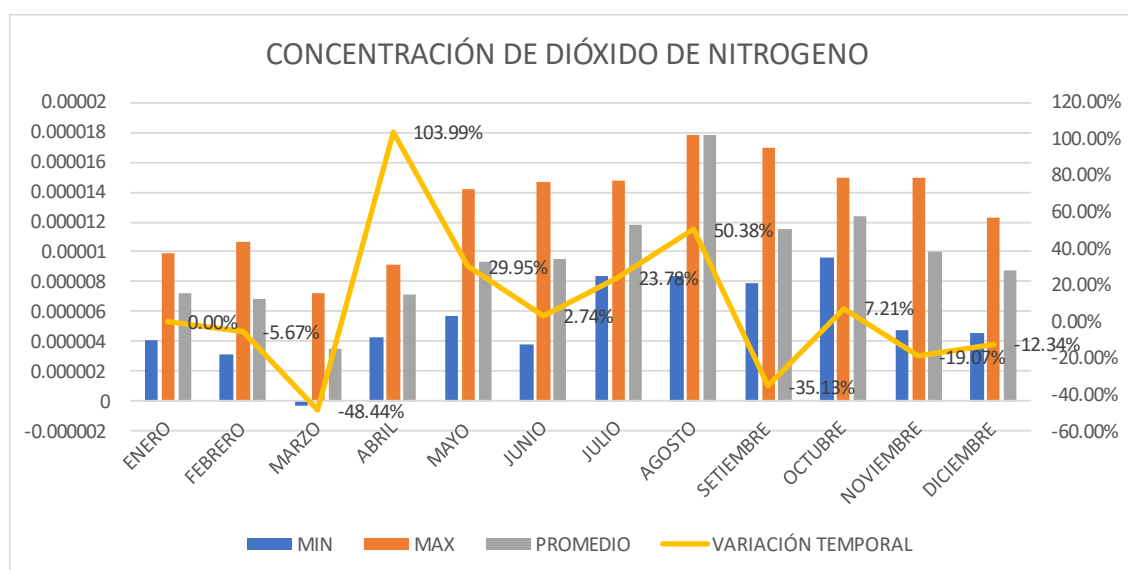
Interpretación de Variación Espacial y Temporal.

En el estudio espacial de las reuniones de NO_2 , enseña una colocación diferenciada al largo de la ciudad de Juliaca entre enero a diciembre del 2024 tal como se aprecia en las Figuras 15, 16 y 17. Entre los meses de junio a agosto las coloraciones de son más predominantes morado en el centro de la urbe, estas coloraciones representan niveles altos de NO_2 . Asimismo, las coloraciones más bajas al noroeste de la ciudad de Juliaca, esto es debido al poco tráfico vehicular que hay por la zona, a diferencia que hay en el centro de la ciudad donde hay mayor congestión, es decir, Sin embargo, en el mes de marzo tal como se aprecia en la Figura 15, se muestran coloraciones de color turquesa en el centro de la ciudad a contraste de los anteriores meses.

En lo temporal, el nivel más alto se registró en agosto posteriormente en setiembre empezó a descender las concentraciones. Asimismo, la concentración bajas se datos en marzo esto lo podemos ver en la Figura 29.

Figura 29

Variación mensual de la concentración del contaminante Dióxido de Nitrógeno (NO_2).



Nota: La variación temporal fue realizada a partir del promedio mensual de las concentraciones del contaminante NO₂

Análisis para el contaminante atmosférico Monóxido de Carbono CO

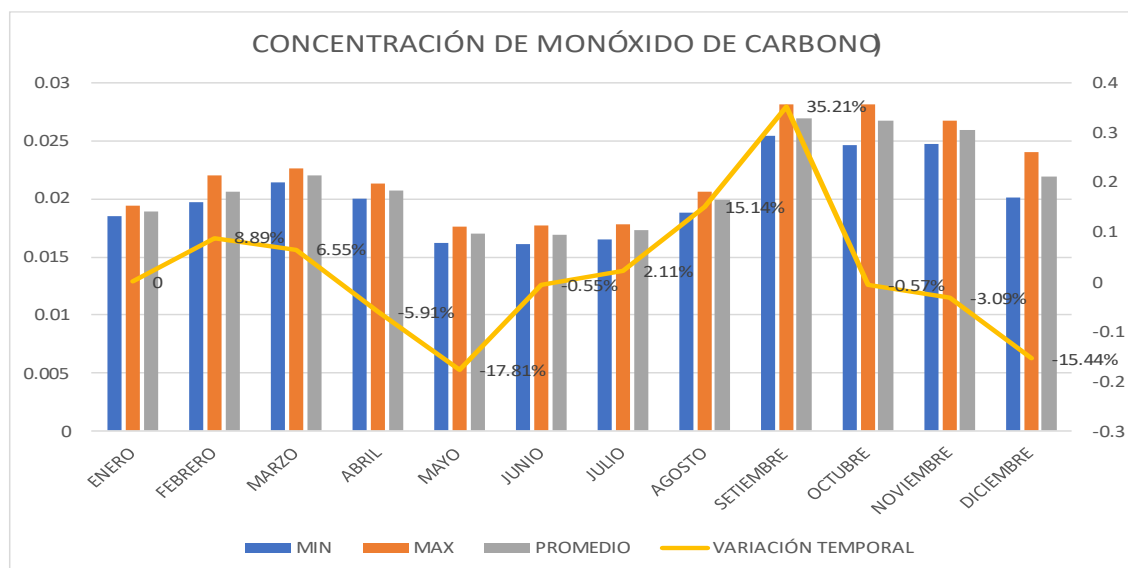
Interpretación de Variación Espacial y Temporal

El examen temporal del contaminante CO en enero a diciembre se aprecia en la Ilustración 18, Ilustración 19 y Ilustración 2, diferentes tonalidades que van desde el azul al amarillo, estas tonalidades simbolizan las concentraciones altas, moderadas y bajas. Desde enero hasta abril predominan zonas con tonalidades verdes y azules, esto indica que en el primer cuatrimestre hay concentraciones moderadas a altas, especialmente en el norte y centro de la urbe. La presencia de tonalidades verdes y amarillas incrementan desde mayo a julio, junio y julio. Pero, esto cambia a partir de agosto a diciembre donde las tonalidades azules incrementan.

En lo temporal, la Ilustración 30, se ve la aprecia la que el mes de setiembre se registró la concentración más alta seguida del mes de octubre y mayo la menor concentración.

Figura 30

Variación mensual de la concentración del contaminante Monóxido de Carbono (CO).



Nota: La variación temporal fue realizada a partir del promedio mensual de las concentraciones del contaminante NO₂

Análisis para el contaminante atmosférico HOCH

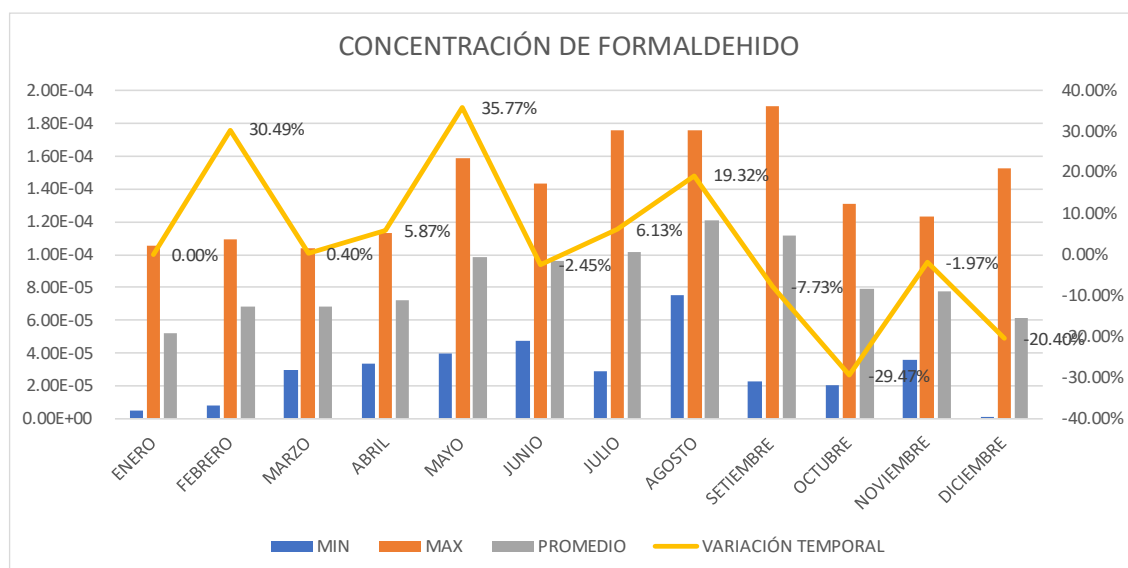
Interpretación de Variación Espacial y Temporal

El examen espacial del formaldehído HCHO, en la Ilustración 21, Ilustración 22 y Ilustración 23, se aprecia que desde el mes de enero hasta marzo predominan las zonas rojas siendo estas el centro y norte de la ciudad, en abril, mayo y junio en el centro atento de la urbe se concentra niveles más elevados, julio y agosto aparecen tonalidades amarillentas en el centro. En el mes de diciembre se puede apreciar un descenso en las tonalidades rojas. En lugares periféricas de la ciudad se sitúan las concentraciones más bajas, a excepción del mes de setiembre y octubre donde las zonas como la salida Arequipa y Lampa muestran tonalidades rojas.

En el examen temporal, se ve en la Ilustración 31, nos muestra que en diciembre se registró la concentración mínima seguida de diciembre. En el mes de setiembre se registran las concentraciones más altas, pero de forma abrupta esta disminuye en octubre.

Figura 31

Variación mensual de la concentración del contaminante Formaldehído (HCHO).



Nota: La variación temporal fue realizada a partir del promedio mensual de las concentraciones del contaminante NO₂. Además, se aprecia la notación "E" que es una notación científica que significa por 10 al exponente x ejemplo 1.40 E-04 = 3.5 x 10⁻⁴

Análisis para el contaminante atmosférico Aerosol

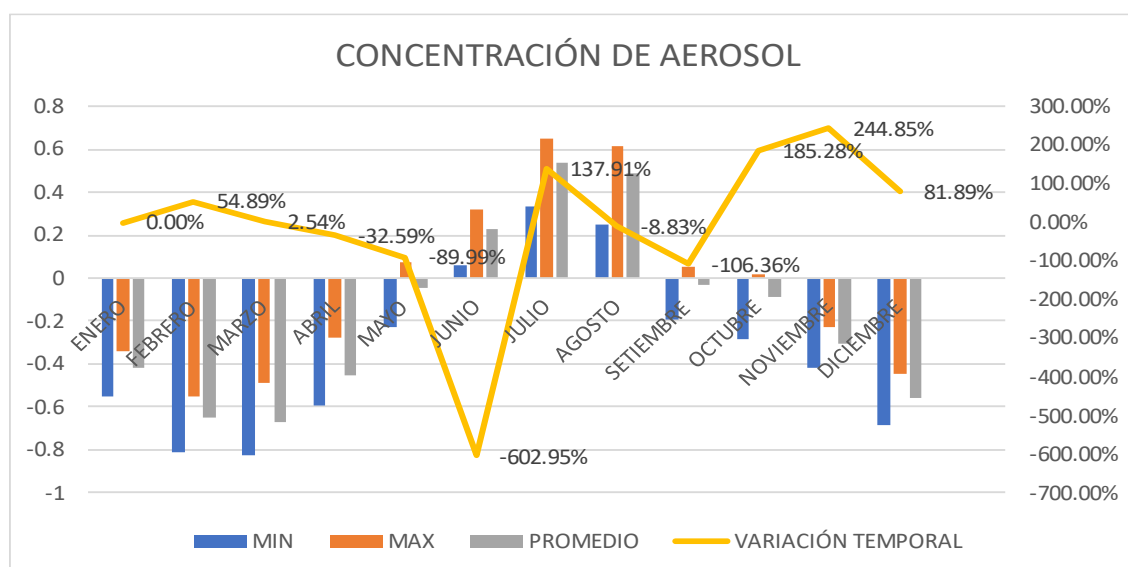
Interpretación de Variación Espacial y Temporal

En el examen espacial del contaminante aerosol, en la Ilustración 24, Ilustración 25 y Ilustración 26, se aprecia que, en enero a abril, que las reuniones son bajas la mayor parte de la ciudad muestran colores anaranjados y amarillos, los niveles más altos (zonas de color morado) son pequeños y se reúnen principalmente en el centro de la urbe. A partir de mayo, la reunión de aerosoles se expande, cubriendo una porción mucho mayor, especialmente en el centro y en los divisiones de San Miguel. Julio y agosto se muestran áreas con mayor coloración morada y de octubre a diciembre las empiezan descender de forma gradual, aunque aún sigue persistiendo zonas con altos niveles en el centro de la ciudad. La existencia de aerosoles parece ser influenciadas por la estacionalidad, de mayo a agosto presentan contaminantes altos siendo esta época de friaje, de enero a abril los niveles bajos estos pueden ser a la quema de biomasa, falta de lluvias o la inversión térmica.

En lo temporal, en la Figura 32, nos muestra que la concentración más baja fue registrada por el satélite Sentinel - 5P, fue en el mes de marzo. Sin embargo, a parte del mes de mayo este contaminante empieza a crecer alcanzando su pico más alto en Julio, a partir de agosto los niveles del aerosol empiezan a descender.

Figura 32

Variación mensual de la concentración del contaminante Aerosol



Prueba de Normalidad de los contaminantes atmosféricos

La Tabla 7, da los hallazgos de la prueba de regularidad Kolmogorov–Smirnov aprovechada a las concentraciones mensuales de los contaminantes atmosféricos. Esta prueba se incluyó con el propósito de establecer si los datos persiguen una colocación normal. La tabla 7 permite identificar el comportamiento estadístico de cada contaminante.

Tabla 7

Prueba de Normalidad de Kolmogorov - Smirnov de los contaminantes atmosféricos registrados por sentinel - 5p

Prueba de Normalidad			
Kolmogorov-Smirnov ^a			
	Estadístico	Sig.	Interpretación (comparación con 0.05)
Aerosol	0,094	2,7963E-8	< 0.05
CO	0,182	,531E-33	< 0.05
HCHO	0,402	5,8582E-171	< 0.05
NO ₂	0,077	0,000022	< 0.05
O ₃	0,419	1,3209E-185	< 0.05
SO ₂	0,324	2,3515E-109	< 0.05

Nota: La distribución de los valores mensuales de SO₂, NO₂, O₃, CO, HCHO y aerosoles por medio de las pruebas de Kolmogorov–Smirnov con un grado de significancia de 0.05 (5%) y grado de confianza del 95 %. Los hallazgos expusieron valores de significancia bajos a 0.05, indicando que la información no se ajusta a una distribución común.

4.1.3 Determinar las concentraciones máximo y mínimo de los contaminantes atmosféricos (SO₂, O₃, NO₂, CO, formaldehído y aerosoles).

Resultado de las Concentraciones Mensuales del Dióxido de Azufre SO₂

En la Tabla 8, se aprecia las concentraciones mensuales que fueron registradas por el Satelite Sentinel - 5P, siendo la del mes de mayo la más alta con un valor de 0.000464788 mol/m², el de junio con 0.000446592 mol/m², julio con 000339591 mol/m² y



agosto con $0.000287007 \text{ mol/m}^2$. Los meses con menor concentración que se dieron fueron en abril y octubre con concentraciones de $-0.000222572 \text{ mol/m}^2$ y $-0.000111484 \text{ mol/m}^2$, as desviaciones estándar muestran que los meses con menor variabilidad del SO_2 fueron marzo ($0.0000324 \text{ mol/m}^2$), diciembre ($0.0000356 \text{ mol/m}^2$) y noviembre ($0.0000376 \text{ mol/m}^2$), evidenciando concentraciones estables y con pocas fluctuaciones. En contraste, los meses de abril ($0.0000889 \text{ mol/m}^2$) y junio ($0.0000772 \text{ mol/m}^2$) presentaron las mayores variaciones, lo cual sugiere un comportamiento más inestable del contaminante durante dichos periodos.

Tabla 8

Concentraciones mensuales de Dióxido de Azufre en la Ciudad de Juliaca, 2024.

Dióxido de Azufre (SO_2) Mol/m ²				
Mes	Mínima	Máxima	Promedio	Desviación Estándar
Enero	-0.000102066	0.000151261	1.65E-05	6.60E-05
Febrero	-7.83E-05	0.000159052	5.39E-05	5.89E-05
Marzo	1.17E-06	0.000126567	5.58E-05	3.24E-05
Abril	-0.000222572	0.000143161	-3.87E-05	8.89E-05
Mayo	6.15E-05	0.000464788	2.47E-04	6.22E-05
Junio	1.34E-05	0.000446592	2.84E-04	7.72E-05
Julio	-7.19E-06	0.000339591	0.000166121	6.55E-05
Agosto	6.41E-05	0.000287007	1.79E-04	5.43E-05
Setiembre	-7.83E-05	0.000192819	5.92E-05	5.75E-05
Octubre	-0.000111484	0.000209404	7.32E-05	6.56E-05
Noviembre	-6.08E-05	0.000126039	1.99E-05	3.76E-05
Diciembre	-8.13E-05	8.40E-05	1.32E-05	3.56E-05

Resultado de las Concentraciones Mensuales de Ozono O₃

En la Ilustración 9, se empleó con las reuniones menores y mayores del contaminante mencionado, el último cuatrimestre se registran las concentraciones más altas siendo noviembre (0. 0.118163399 mol/m₂), octubre (0.117749043 mol/m₂), noviembre (0.118163399 mol/m₂) y diciembre (0.115267515 mol/m₂). La concentración más baja que se registró fue en el mes de mayo con un valor de 0.104734316 mol/m². La Desviación estándar del ozono (O₃) durante el año 2024 fue baja en marzo, mayo y junio, los cuales registraron las desviaciones estándar más pequeñas (0.0000880; 0.0001175 y 0.0001214, respectivamente). Esto indica que en estos meses las concentraciones de ozono se mantuvieron más estables, con poca dispersión entre los valores diarios

Tabla 9

Concentraciones mensuales de Ozono en la ciudad de Juliaca, 2024.

Ozono (O ₃) Mol/M ²				
Mes	Mínima	Máxima	Promedio	Desviación Estándar
Enero	0.111797974	0.112593174	0.112269595	0.000177439
Febrero	0.110074267	0.110871717	0.110378843	0.000161545
Marzo	0.109690696	0.110185862	0.10999622	8.80E-05
Abril	0.107769713	0.108512431	0.108106747	0.000147849
Mayo	0.104734316	0.105305918	0.10503409	0.000117535
Junio	0.108152471	0.10869804	0.10842157	0.00012141
Julio	0.108137541	0.109195516	0.108774265	0.000178137
Agosto	0.108919151	0.109532423	0.109253259	0.000132276
Setiembre	0.116127685	0.116869263	0.116551993	0.000133385
Octubre	0.117116079	0.117749043	0.117418699	0.000146322
Noviembre	0.117506325	0.118163399	0.117851831	0.000148636
Diciembre	0.114244722	0.115267515	0.114644391	0.000217744

En la Ilustración 10, se ve las reuniones mensuales mínimas y máximas que se registraron a lo largo del 2024. La gran reunión se registró en agosto $1.78\text{E-}05 \text{ mol/m}^2$, los siguientes meses empezó a disminuir las concentraciones de forma gradual setiembre ($1.70\text{E-}05 \text{ mol/m}^2$), octubre ($9.58\text{E-}06 \text{ mol/m}^2$), noviembre ($4.74\text{E-}06 \text{ mol/m}^2$) y diciembre ($4.59\text{E-}06 \text{ mol/m}^2$). En marzo se registró la reunión más baja con un valor de $-2.79\text{E-}07 \text{ mol/m}^2$, esta baja concentración puede deberse a la presencia de nubes que dificultan la lectura del satélite Sentinel Copernicus – 5P. La desviación estándar del NO_2 muestra los meses de abril ($1.14\text{E-}06$), enero ($1.38\text{E-}06$) y julio ($1.56\text{E-}06$) registran la menor dispersión, indicando condiciones más estables de este contaminante. Por el contrario, junio ($2.83\text{E-}06$) y agosto ($2.41\text{E-}06$) presentan la mayor variabilidad, lo cual sugiere fluctuaciones diarias asociadas a la dinámica atmosférica.

Tabla 10

Concentraciones mensuales de Dióxido de Nitrógeno en la ciudad de Juliaca, 2024.

Dióxido de Nitrógeno (NO_2) Mol/M ²				
Mes	Mínima	Máxima	Promedio	Desviación estándar
Enero	$4.07\text{E-}06$	$9.86\text{E-}06$	$7.22\text{E-}06$	$1.38\text{E-}06$
Febrero	$3.13\text{E-}06$	$1.06\text{E-}05$	$6.81\text{E-}06$	$1.82\text{E-}06$
Marzo	$-2.79\text{E-}07$	$7.23\text{E-}06$	$3.51\text{E-}06$	$1.90\text{E-}06$
Abril	$4.29\text{E-}06$	$9.11\text{E-}06$	$7.16\text{E-}06$	$1.14\text{E-}06$
Mayo	$5.70\text{E-}06$	$1.42\text{E-}05$	$9.31\text{E-}06$	$1.79\text{E-}06$
Junio	$3.83\text{E-}06$	$1.47\text{E-}05$	$9.56\text{E-}06$	$2.83\text{E-}06$
Julio	$8.42\text{E-}06$	$1.47\text{E-}05$	$1.18\text{E-}05$	$1.56\text{E-}06$
Agosto	$8.41\text{E-}06$	$1.78\text{E-}05$	$1.78\text{E-}05$	$2.41\text{E-}06$
Setiembre	$7.87\text{E-}06$	$1.70\text{E-}05$	$1.15\text{E-}05$	$1.93\text{E-}06$
Octubre	$9.58\text{E-}06$	$1.50\text{E-}05$	$1.24\text{E-}05$	$1.46\text{E-}06$
Noviembre	$4.74\text{E-}06$	$1.49\text{E-}05$	$1.00\text{E-}05$	$2.33\text{E-}06$
Diciembre	$4.59\text{E-}06$	$1.23\text{E-}05$	$8.78\text{E-}06$	$1.66\text{E-}06$

Nota. En la tabla 7 se aprecia la notación “E” que es una notación científica que significa por 10 al exponente x. Ejemplo $4.07\text{E-}06 = - 4.07 \times 10^{-6}$

Resultado de las Concentraciones Mensuales del Monóxido de Carbono CO

En la Ilustración 11, se aprecias las reuniones menores y mayores calculadas mediante ArcGIS, la concentración más alta se registra en octubre con unas reuniones de 0.028201582 mol/m² y la baja en junio con 0.016161723 mol/m². La desviación estándar muestra que setiembre, octubre y diciembre presentan la mayor inestabilidad en las concentraciones de CO, mientras que enero y julio son los meses con concentraciones más estables.

Tabla 11

Concentraciones mensuales de Monóxido de Carbono en la ciudad de Juliaca, 2024.

Monóxido de Carbono (CO) mol/m ²				
Mes	Mínima	Máxima	Promedio	Desviación Estándar
Enero	0.018488016	0.019433392	0.018981638	0.000230933
Febrero	0.019750809	0.02207928	0.020668485	0.000491218
Marzo	0.021395721	0.022689667	0.022021598	0.000303872
Abril	0.020079533	0.021312468	0.020720052	0.000294962
Mayo	0.016263772	0.017620904	0.017029479	0.000378453
Junio	0.016161723	0.017727878	0.016936626	0.000339142
Julio	0.016559795	0.017802553	0.017294516	0.000242964
Agosto	0.018880691	0.020663863	0.019912509	0.000388546
Setiembre	0.025413761	0.02818102	0.026922878	0.000811846
Octubre	0.024648512	0.028201582	0.026769662	0.000727499
Noviembre	0.024724443	0.026769778	0.025942992	0.000395861
Diciembre	0.020131055	0.024016405	0.021936552	0.000860663

Resultado de las Concentraciones Mensuales del Formaldehído HCHO

En la Ilustración 12, se ve las reuniones máximas y mínimas que se registraron de manera mensual en todo el año del 2024, la concentración en setiembre fue la más alta con 0.000190179 mol/m² y la más baja en el mes de diciembre con 1.08E-06mol/m². La desviación estándar de las concentraciones mensuales de formaldehído muestra una variabilidad moderada a lo largo del año. Los valores más elevados se dan en mayo (3.29E-05 mol/m²), julio (3.43E-05 mol/m²) y octubre (3.01E-05 mol/m²), indicando una mayor dispersión de las mediciones durante estos meses. En contraste, la variabilidad es menor en marzo (1.70E-05 mol/m²), abril (1.64E-05mol/m²) y noviembre (1.78E-05 mol/m²), lo que refleja valores más homogéneos en esos periodos.

Tabla 12

Concentraciones mensuales de Formaldehído en la ciudad de Juliaca, 2024.

Formaldehído (HCHO) mol/m ²				
Mes	Mínima	Máxima	Promedio	Desviación Estándar
Enero	5.09E-06	0.000105099	5.21E-05	2.43E-05
Febrero	7.76E-06	0.000109287	6.80E-05	2.88E-05
Marzo	2.93E-05	0.000104006	6.83E-05	1.70E-05
Abril	3.33E-05	0.000113487	7.23E-05	1.64E-05
Mayo	3.98E-05	0.000158556	9.82E-05	3.29E-05
Junio	4.73E-05	0.000142972	9.58E-05	2.59E-05
Julio	2.90E-05	0.000175796	0.000101656	3.43E-05
Agosto	7.50E-05	0.000175921	0.000121301	1.99E-05
Setiembre	2.26E-05	0.000190179	0.000111919	2.88E-05
Octubre	2.07E-05	0.000131096	7.89E-05	3.01E-05
Noviembre	3.61E-05	0.000123122	7.74E-05	1.78E-05
Diciembre	1.08E-06	0.000153014	6.16E-05	2.98E-05

Nota. En la tabla 9 se aprecia la notación "E" que es una notación científica que significa por 10 al exponente x. Ejemplo 5.09E-06 = 5.09 x10⁻⁶



Resultado de las Concentraciones Mensuales del aerosol

En la Ilustración 13, se ve todas las reuniones máximas y mínimas que fueron recolectadas por Sentinel - 5P, siendo el mes de julio donde se registró la concentración más alta que fue de $0.650384545 \text{ mol/m}^2$ y la reunión mínima dada fue en marzo con un valor de $-0.828496933 \text{ mol/m}^2$. Estos valores posiblemente se vean influenciados. los meses que presentan mayor variabilidad en las concentraciones de aerosol son agosto (0.0868), abril (0.0768) y octubre (0.0815), lo que indica fluctuaciones más marcadas en las cargas de aerosol durante estos periodos. Por el contrario, los meses con menor variabilidad son noviembre (0.0515), diciembre (0.0508) y enero (0.0448), reflejando que las concentraciones de aerosol fueron más estables y homogéneas a lo largo de estos meses. En estos periodos, la menor dispersión indica un comportamiento más uniforme del aerosol en la atmósfera, con menor presencia de episodios atípicos.

Tabla 13

Concentraciones mensuales de Aerosoles en la ciudad de Juliaca, 2024.

Concentración de Aerosol Mol/m ²				
Mes	Mínima	Máxima	Promedio	Desviación Estándar
Enero	-0.5503847	-0.343947321	-0.420723906	0.044799773
Febrero	-0.811188757	-0.551421523	-0.651652555	0.063786418
Marzo	-0.828496933	-0.4873119	-0.668201381	0.070398818
Abril	-0.595005035	-0.274025559	-0.450463456	0.07683017
Mayo	-0.229470149	0.075416908	-0.045073435	0.059528417
Junio	0.060283013	0.320700735	0.226699083	0.056518573
Julio	0.336728811	0.650384545	0.539345095	0.065670686
Agosto	0.252840102	0.614403784	0.491705806	0.086783448
Setiembre	-0.192659318	0.055813283	-0.031279325	0.057498729
Octubre	-0.283063322	0.020288497	-0.089233072	0.081489927
Noviembre	-0.419265866	-0.22748597	-0.307723889	0.051483459
Diciembre	-0.685174108	-0.444256306	-0.559717993	0.050846975

4.2 Discusiones

Las reuniones de mes de SO₂ en Juliaca alcanzaron un valor mayor de 0.000464788 mol/m² y un valor menor de -0.000222572 mol/m², registrándose en mayo la concentración más alta. Estos resultados difieren de los hallazgos de Apaza & Nieto (2024) quienes reportaron que durante mayo de 2021 y 2022 las concentraciones de SO₂ fueron las más bajas. Asimismo, Solís (2023) señala que las concentraciones mínimas se presentan entre mayo y junio, lo cual también discrepa con lo observado en Juliaca. Sin embargo, los valores obtenidos coinciden con los reportados por Bayona (2022) en Cajamarca, donde el valor máximo de SO₂ alcanzó 0.00046759 mol/m², similar al registrado en esta investigación. Del mismo modo, Quispe (2024) encontró que el mes de

mayo concentra los valores más altos de SO_2 , atribuyendo este comportamiento a la naja de lluvias y a una menor circulación del aire, factores que también podrían influir en Juliaca.

En cuanto al ozono (O_3), los resultados indican que sus concentraciones más elevadas se registraron en el último cuatrimestre del 2024, alcanzando su máximo en noviembre ($0.118163399 \text{ mol/m}^2$), mientras que la concentración más baja se presentó en mayo ($0.104734316 \text{ mol/m}^2$). Este comportamiento es similar al descrito por Bayona (2022) quien también halló concentraciones mínimas en mayo, aunque las máximas se registraron en agosto. Por otro lado, Camacho (2024) reportó que las reuniones más eminentes se mostraron en los primeros meses del año, primordialmente en febrero, asociando estos incrementos a incendios forestales. Al comparar los datos con los de Ortega (2020) en Lima durante el inicio del encierro por COVID-19 se ve que las reuniones en noviembre fueron mayores ($0.11483794 \text{ mol/m}^2$) que las registradas en Juliaca, evidenciando cómo factores climáticos, industriales y antropogénicos influyen de manera diferenciada entre ciudades.

Respecto al NO_2 , la mayor concentración en Juliaca se registró en agosto ($1.78\text{E}-05 \text{ mol/m}^2$) y la menor en marzo ($-2.79\text{E}-07 \text{ mol/m}^2$). Estos resultados no coinciden con los de Bayona (2022), quien encontró sus valores máximos en octubre. Sin embargo, concuerdan parcialmente con Apaza & Nieto (2024), quienes identificaron que las concentraciones más bajas ocurren entre marzo y julio, mientras que las más elevadas se presentan en agosto y septiembre. Solís (2023) también reportó concentraciones máximas en agosto y septiembre, y mínimas entre marzo y mayo, corroborando la dinámica observada en Juliaca.

En relación con el CO, los valores obtenidos difieren de los reportados por Jodhani et al. (2024), quienes registraron sus valores más bajos en septiembre y los más altos en abril y mayo. No obstante, nuestros resultados se encuentran en concordancia con los de Apaza & Nieto (2024), Solís (2023) y Bayona (2022) quienes coinciden en que las máximas reuniones de CO se dan en setiembre, posiblemente debido al aumento del tráfico vehicular, condiciones atmosféricas más estables y reducción de vientos.

En cuanto al formaldehído (HCHO), se observó que sus valores fluctúan a lo largo del año, registrándose la concentración mínima en diciembre ($1.08\text{E-}06 \text{ mol/m}^3$) y la máxima en setiembre ($0.000190179 \text{ mol/m}^3$). Estos resultados coinciden con Quispe (2024), quien también reportó picos de concentración en setiembre. Sin embargo, difieren de Bayona (2022) quien identificó diciembre como el mes de mayor concentración y octubre como el de menor valor, además de variaciones porcentuales más pronunciadas entre meses. Estas diferencias podrían explicarse por las dinámicas atmosféricas particulares de cada región.

Finalmente, los resultados de aerosoles (AOD) indican una marcada variabilidad, con un valor máximo en julio ($0.650384545 \text{ mol/m}^2$) y un minúsculo en marzo ($-0.828496933 \text{ mol/m}^2$). Estos resultados contrastan con los de Bayona (2022) en Cajamarca, donde las concentraciones máximas se registraron en agosto y marzo, y las mínimas en junio. Las discrepancias entre ambas ciudades pueden atribuirse a factores locales como la circulación atmosférica, la topografía, la presencia de nubes y actividades humanas específicas, que influyen en la dispersión y composición de aerosoles.

CONCLUSIONES

PRIMERO: El usanza de indignación satelitales del Satellite Sentinel - 5P pudo recopilar y dar satisfactoriamente la indignación temporal y espacial sobre las reuniones de los poluentes atmosféricos (+ NO₂, O₃, CO, HCHO, SO₂ y Aerosol) presentes en la ciudad de Juliaca. La recopilación de estos datos permitió revelar las concentraciones máximas y mínimas registrada durante el año 2024, estos hallazgos demostraron que Sentinel – 5P es un instrumento óptimo para el procesamiento de contaminantes. Atmosféricos.

SEGUNDO: El análisis espacial y temporal mostró que los contaminantes tienen variaciones mensuales y diferencias en su distribución a lo largo del lugar urbana de Juliaca. Estas fluctuaciones corresponden con factores estacionales (por ejemplo, la época de lluvias y la estación seca), lo que demuestra que las diligencias ciudadanas y las situaciones ambientales afectan el comportamiento de los poluentes.

TERCERO: Se determinaron las reuniones máximas y mínimas de los poluentes, para el SO₂ máximo de 000464788 mol/m² y un menor de -0.000222572 mol/m², Dióxido de Nitrógeno (NO₂) concentración máxima 1.78E-05 y la concentración mínima de -2.79E-07 mol/m², Ozono (O₃) concentración mínima de 0.104734316 mol/m² y reunión máxima 0.118163399 mol/m², Monóxido de Carbono (CO) concentración mínima de 0.0161617 mol/m² y reuniones máxima 0.028201581910253 mol/m², Formaldehído (HCHO) concentración mínima 1.08E-06 mol/m² y la concentración máxima 0.000190179 mol/m² y el Aerosol la concentración mínima de -0.828496933 mol/m² y 0.650384545 mol/m².

CUARTO: Se concluye que el comportamiento de los poluentes ambientales (SO₂, NO₂, O₃, CO, HCHO y Aerosol) es dinámico y heterogéneo. Debido a que el análisis centrado en los datos de Sentinel-5P demostró que los contaminantes no se distribuyen de manera uniforme, sino que presentan variaciones significativas tanto en el espacio como en el tiempo.



RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se encarga hacer un filtrado absoluto en la APP Google Earth Engine para evitar valores atípicos como es el caso del aerosol donde las calidades ambientales influyen significativamente en los valores de este contaminante.

SEGUNDO: Se insinúa a los futuros proyectos que se enfoquen en las temporadas de estiajes dado que se registraron las reuniones más eminentes de los poluentes atmosféricos.

TERCERO: Se recomienda a las futuras investigación que calculen la altura de zona de mezcla para poder transformar las concentraciones expresadas en mol/m^2 a $\mu\text{g/m}^3$ de esta manera podremos compararlos con los ECA para aire.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amable, I., Méndez, J., Bello, B., Benítez, B., Escobar, L., & Zamora, R. (2017). Influencia de los poluentes meteorológicos sobre la salubridad. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160-1170. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Apaza, V., & Nieto, J. (2024). Evaluación de la calidad del aire mediante teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante el período 2021 – 2022 [Universidad Privada de Tacna]. En *Repositorio Institucional - UPT*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3654>
- Aránguez, E., Ordoñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Poluentes atmosféricos y su vigilancia. *Revista de Salud Pública*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271999000200003
- ATSDR. (2016, mayo 6). *Resumen de Salubridad Pública: Formaldehído (Formaldehyde)* | PHS | ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.html
- Bayona, M. (2022). Modelado de la calidad del aire en Cajamarca mediante teledetección satelital - 2019 [Universidad Privada del Norte]. En *Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31037>
- Belmonte, P., & Gutiérrez, E. (2013, diciembre 1). *Ozono troposférico*. Ecologistas en Acción. <https://www.ecologistasenaccion.org/27108/ozono-troposferico/>
- Bolaños, P., & Chacón, C. (2017). *Intoxicación por monóxido de carbono*. Medicina Legal de Costa Rica. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152017000100137
- Camacho, D. (2024). *Examen de la condición del aire en Bogotá durante el tiempo de incendios forestales en 2024 usando métodos de teledetección* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/items/fd39e5b8-70e8-483d-a6ae-13e1156f25b7>



- Carolina, E., & Calisto, F. (2015). *Registro del efecto fin de semana en la condicion de aire de Quito-Ecuador*. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4183>
- CDSE, C. D. S. E. (s. f.). *Sentinel-5P Ambiente de datos espaciales de Copernicus*. Recuperado 20 de agosto de 2025, de <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-5p>
- Chuvienco, E. (2008). *Teledetección Ambiental: La visualizacion de la tierra desde el espacio* (3.^a ed.). <https://es.scribd.com/document/627301606/Chuvienco-Salinerio-Emilio-Teledeteccion-Ambiental-2010>
- ESA. (2025). *ESA - Sentinel-5*. European Space Agency. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5
- García, M., Ramírez, H., Ulloa, H., García, O., Meulenert, Á., & Jaime, A. (2013). Reuniones de poluentes SO₂, NO₂ y correlación con H⁺, SO₄-2 y NO₃- durante la epoca de precipitaciones en Guadalajara, Jalisco, México. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 29(2), 81-88. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482013000200004>
- Guerrero, F. (2021). *Examen de la variación en la condicion del aire debido al encierro por COVID-19 en el Ecuador Continental* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/24023>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodo de la indagacion* (Vol. 6).
- Jodhani, K., Gupta, N., Parmar, A., Bhavsar, J., Patel, H., Patel, D., Singh, S., Mishra, U., & Omar, P. jee. (2024). Synergizing google earth engine and earth observations for potential impact of land use/ land cover on air quality. *Results in Engineering*, 22, 102039. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.102039>
- Kain, T. (2024, marzo 24). *Efectos del monóxido de carbono en el medio ambiente - Sigma Earth*. Polucion del aire, Pollution. <https://sigmaearth.com/es/effects-of-carbon-monoxide-on-the-environment/>



- Marino, D. (2011). *Examen teórico experimental sobre respuestas biológicas a compuestos orgánicos de relevancia ambiental* [Universidad Nacional de La Plata].
<https://doi.org/10.35537/10915/2744>
- Moretti, L., Tafur, V., & Valiente, Y. (2023). Polucion del aire en la ciudad de Lima, Perú. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(2), 822-830.
<https://doi.org/10.35381/R.K.V8I2.2975>
- NASA. (s. f.). *Sentinel-5P TROPOMI*. Recuperado 20 de agosto de 2025, de
https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C1442068511-GES_DISC.html
- OMS. (2024, octubre). *Condición del aire ambiente (exterior) y salud*. Organización Mundial de la Salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- OMS, O. M. de la S. (2004). *Guías para la calidad del aire*.
- OPS. (2024, junio 14). *Las Américas será sede de la Segunda Conferencia Mundial sobre Contaminación Atmosférica y Salud de la OMS - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. Organización Panamericana de la SALUD.
<https://www.paho.org/es/noticias/14-6-2024-americas-hospedara-segunda-conferencia-mundial-sobre-contaminacion-aire-salud>
- Ortega, M. (2020). *Impacto del confinamiento social por COVID-19 en los niveles de gases atmosféricos en Bogotá, Buenos Aires, Lima, Quito y Santiago de Chile*. Universidad César Vallejo.
- Pérez, D. (2007). *Introducción a los sensores remotos - Aplicaciones en Geología*.
<http://aviris.gl.fcen.uba.ar/~daniel/>
- Pérez, J., Mesas, J., & Navarro, R. (2022). *Capítulo 9: Google Earth Engine aplicado a ciencias forestales*.
- Quispe, D. (2024). *Examen Espacio-Temporal de Gases Poluentes en Puno usando ilustraciones Setinenl-5P eb Google Earth Engine Periodo 2018 - 2024*. Universidad Privada San arlos.



- Reshi, A. R., Pichuka, S., & Tripathi, A. (2024). Applications of Sentinel-5P TROPOMI Satellite Sensor: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 24(13), 20312-20321. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3355714>
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta).
- Sanucci, C., Represa, S., & Porta, A. (2020). *Examen de las ilustraciones satelitales del sensor TROPOMI para el examen de los grados de metano en la provincia de Neuquén*.
- Solís, V. (2023). Examen de Poluentes del aire atmosférico (CO, NO₂ y SO₂), a través de ilustraciones Sentinel-5P de la región de Apurímac periodo 2018 - 2021 [Escuela de Posgrado de Newman]. En *Escuela de Posgrado Newman - EPN*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/2059899>
- Solórzano, J., & Perilla, G. (2022). Cómo usar Google Earth Engine y no Fallar en el Intento (2022) (. En *Editorial del CIGA*. Editorial del CIGA. <https://doi.org/10.22201/CIGA.9786073066969E.2022>
- Supo, J. (2014). Seminarios de indagación Científica Sinopsis del libro 2012. En *Seminarios de indagación Científica*. file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/supo.pdf
- Supo, J. (2023, abril 9). *Vinculo entre las variables*. Bioestadístico, seminario. <https://bioestadistico.com/relacion-entre-las-variables>
- US EPA. (2024a, julio 10). *Formaldehído* | US EPA. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/cai/formaldehido>
- US EPA. (2024b, diciembre). *Impacto del monóxido de carbono en la condicion del aire de los interiores* | US EPA. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/cai/impacto-del-monoxido-de-carbono-en-la-calidad-del-aire-de-los-interiores>
- US EPA. (2025a). *El impacto del dióxido de nitrógeno en la condicion del aire interior* | US EPA. <https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-del-dioxido-de-nitrogeno-en-la-calidad-del-aire-interior>



US EPA. (2025b, enero 10). *Fundamentos del dióxido de azufre* | EPA de EE. UU.

<https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>

US EPA. (2025c, junio 6). *¿Qué es el ozono?* . United States Environmental Protection

Agency. <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/what-ozone>

Vásquez, J., & Arboleda, A. (2021). *Examen de datos satelitales del sensor de condición*

de aire TROPOMI - SENTINEL 5P para el Ecuador entre los años 2018 a 2020.

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4573598>

Zapana, V. (2021). Relación de los parámetros meteorológicos en la distribución espacio-

temporal de los contaminantes atmosféricos (PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃) del distrito

de Pacocha, Moquegua, 2019 – 2020. En *Universidad Continental*.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11366>



ANEXOS



Anexo 1 Matriz de Consistencia

Título: EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL AÑO 2024

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	METODOLOGIA
Problema general ¿Cuál es el comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos mediante teledetección satelital en la ciudad de Juliaca durante el año 2024?	Objetivo general Evaluar el comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos mediante teledetección satelital en la ciudad de Juliaca durante el año 2024	Variable de caracterización Ubicación Tiempo	Área geográfica Variación Temporal	Delimitación del área de estudio por shapefile satelital Meses del año 2024	Enfoque de la Investigación - Cuantitativo - Tipo de Investigación - Observacional - Retrospectivo - Longitudinal - Descriptivo - Nivel de investigación - Descriptivo - Diseño de Investigación - No Experimental - Población La población está constituida por todas las concentraciones diarias de los contaminantes atmosféricos registrados por el satélite Sentinel-5P en la ciudad de Juliaca durante el año 2024. Muestra La muestra está conformada por los valores mensuales (mínimo, máximo y promedio) de cada contaminante atmosférico (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosol) en la ciudad de Juliaca obtenidas a partir del procesamiento de las imágenes satelitales Sentinel-5P correspondientes a los doce meses del año 2024. Herramientas/Instrumentos - Plataforma Google Earth Engine - ArcGIS - JavaScript - Microsoft Office Excel
Problema Especifico ¿Qué datos satelitales pueden obtenerse mediante teledetección para determinar las concentraciones mensuales de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024??	Objetivo Especifico Recopilar los datos satelitales de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.			Concentración de Dióxido de azufre (SO ₂) Concentración de Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	
¿Cuál es la distribución temporal y espacial los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024?	Analizar la distribución temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.	Variable de estudio Contaminantes atmosféricos	Tipo de contaminante atmosférico	Concentración de Ozono (O ₃) Concentración de Monóxido de carbono (CO)	
¿Cuáles son las concentraciones máximas y mínimas de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) registrados en la ciudad de Juliaca durante el 2024?	Determinar las concentraciones máximas y mínimas de los contaminantes atmosféricos (SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, formaldehído y aerosoles) registrados en la ciudad de Juliaca durante el año 2024.			Concentración de Formaldehído Concentración de Aerosol	

Anexo 2

JavaScript del Contaminante NO2 usado para la Descarga de Datos.

```
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km
var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000);
// 2. Cargar la colección Sentinel-5P NO2 para diciembre 2024
var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2')
  .select('tropospheric_NO2_column_number_density')
  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(juliaca)
  .mean()
  .clip(juliaca);
// 3. Parámetros de visualización
var visParams = {
  min: 0.00002,
  max: 0.0005,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};
// 4. Visualizar
Map.centerObject(juliaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'NO2 - Diciembre 2024');
// 5. Exportar a Drive
Export.image.toDrive({
  image: collection,
  description: 'NO2_Juliaca_Diciembre2024',
  folder: 'GEE_NO2',
  fileNamePrefix: 'NO2_Juliaca_Diciembre2024',
  region: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});
// 6. Calcular estadísticas
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});
// 7. Mostrar estadísticas
print('Estadísticas de NO2 - Diciembre 2024', stats);
```

Anexo 3

Java Script del Contaminante O3 usado para la Descarga de Datos

```
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km
var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000);
// 2. Cargar la colección Sentinel-5P O3 para diciembre 2024
var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_O3')
  .select('O3_column_number_density')
  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(juliaca)
  .mean()
  .clip(juliaca);
// 3. Parámetros de visualización para O3
var visParams = {
  min: 0.00005,
  max: 0.00025,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};
// 4. Visualizar en el mapa
Map.centerObject(juliaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'O3 - Diciembre 2024');
// 5. Exportar como GeoTIFF a Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: collection,
  description: 'O3_Juliaca_Diciembre2024',
  folder: 'GEE_O3',
  fileNamePrefix: 'O3_Juliaca_Diciembre2024',
  region: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});
// 6. Calcular estadísticas (min, máx, promedio)
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});
// 7. Mostrar estadísticas en la consola
print('Estadísticas de O3 - Diciembre 2024', stats);
```

Anexo 4

JavaScript del Contaminante Formaldehído Usado para la Descarga de Datos.

```
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km
var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000);
// 2. Cargar la colección Sentinel-5P HCHO para diciembre 2024
var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_HCHO')
  .select('HCHO_column_number_density')
  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(juliaca)
  .mean()
  .clip(juliaca);
// 3. Parámetros de visualización (HCHO tiene valores muy bajos)
var visParams = {
  min: 0.000005,
  max: 0.00005,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};
// 4. Visualizar en el mapa
Map.centerObject(juliaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'HCHO - Diciembre 2024');
// 5. Exportar como GeoTIFF a Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: collection,
  description: 'HCHO_Juliaca_Diciembre2024',
  folder: 'GEE_HCHO',
  fileNamePrefix: 'HCHO_Juliaca_Diciembre2024',
  region: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});
// 6. Calcular estadísticas (mín, máx, promedio)
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});
// 7. Mostrar estadísticas en consola
print('Estadísticas de HCHO - Diciembre 2024', stats);
```

Anexo 5

JavaScript del Contaminante SO2 Usado para la Descarga de Datos.

```
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km
var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000);
// 2. Cargar la colección Sentinel-5P SO2 para diciembre 2024
var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_SO2')
  .select('SO2_column_number_density')
  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(juliaca)
  .mean()
  .clip(juliaca);
// 3. Parámetros de visualización (SO2 suele tener valores muy bajos)
var visParams = {
  min: 0.00001,
  max: 0.0002,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};
// 4. Visualizar en el mapa
Map.centerObject(juliaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'SO2 - Diciembre 2024');
// 5. Exportar como GeoTIFF a Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: collection,
  description: 'SO2_Juliaca_Diciembre2024',
  folder: 'GEE_SO2',
  fileNamePrefix: 'SO2_Juliaca_Diciembre2024',
  region: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});
// 6. Calcular estadísticas (mín, máx, promedio)
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});
// 7. Mostrar estadísticas en consola
print('Estadísticas de SO2 - Diciembre 2024', stats);
```

Anexo 6

JavaScript del contaminante Aerosol Usado para la Descarga de Datos.

```
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km
var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000);

// 2. Cargar la colección Sentinel-5P Aerosol para diciembre 2024
var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_AER_AI')
  .select('absorbing_aerosol_index')
  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(juliaca)
  .mean()
  .clip(juliaca);

// 3. Parámetros de visualización para aerosoles
var visParams = {
  min: -1,
  max: 2,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};

// 4. Visualizar en el mapa
Map.centerObject(juliaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'Aerosol - Diciembre 2024');

// 5. Exportar como GeoTIFF a Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: collection,
  description: 'Aerosol_Juliaca_Diciembre2024',
  folder: 'GEE_AEROSOL',
  fileNamePrefix: 'Aerosol_Juliaca_Diciembre2024',
  region: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});

// 6. Calcular estadísticas (min, máx, promedio)
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});

// 7. Mostrar estadísticas en la consola
print('Estadísticas de Aerosol - Diciembre 2024', stats);
```

Anexo 7

JavaScript del Contaminante CO Usado para la Descarga de Datos

```
// 1. Definir la ubicación de Juliaca con un buffer de 15 km
var juliaca = ee.Geometry.Point([-70.1495, -15.4997]).buffer(15000);
// 2. Cargar la colección Sentinel-5P CO para diciembre 2024
var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO')
  .select('CO_column_number_density')
  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-31')
  .filterBounds(juliaca)
  .mean()
  .clip(juliaca);
// 3. Parámetros de visualización para CO
var visParams = {
  min: 0.01,
  max: 0.05,
  palette: ['blue', 'green', 'yellow', 'orange', 'red']
};
// 4. Visualizar en el mapa
Map.centerObject(juliaca, 10);
Map.addLayer(collection, visParams, 'CO - Diciembre 2024');
// 5. Exportar como GeoTIFF a Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: collection,
  description: 'CO_Juliaca_Diciembre2024',
  folder: 'GEE_CO',
  fileNamePrefix: 'CO_Juliaca_Diciembre2024',
  region: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});
// 6. Calcular estadísticas (mín, máx, promedio)
var stats = collection.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax().combine({
    reducer2: ee.Reducer.mean(),
    sharedInputs: true
  }),
  geometry: juliaca.bounds(),
  scale: 1000,
  maxPixels: 1e13
});
// 7. Mostrar estadísticas en la consola
print('Estadísticas de CO - Diciembre 2024', stats);
```



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 10-12-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: RONAL PACORI ZAPANA
Dirección: CALLE ROCOPATA 192
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74444434
Teléfono: 982927850 email: ronaling1998@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____
Dirección: _____
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____
Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
Escuela Profesional o Mención: INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL
Asesor: LEONEL SUASACA PELINCO

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: EVALUACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS MEDIANTE
TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA CIUDAD DE JULIACA DURANTE EL
AÑO 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): TELEDETECCIÓN, OZONO, FORMALDEHÍDO

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

2

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

10 DE DICIEMBRE DEL 2025

Fecha