

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE GASES CONTAMINANTES EN LA
REGIÓN PUNO UTILIZANDO IMÁGENES SENTINEL-5P EN GOOGLE EARTH**

ENGINE PERIODO 2018-2024

PRESENTADA POR:

DEIVID JOE QUISPE CRUZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2024



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



3.71%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 19 SEP 2024, 9:12 AM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.55%

● CHANGED TEXT
3.15%

Report #22886361

DEIVID JOE QUISPE CRUZ // ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE GASES CONTAMINANTES EN LA REGIÓN PUNO UTILIZANDO IMÁGENES SENTINEL-5P EN GOOGLE EARTH ENGINE PERIODO 2018-2024 RESUMEN Esta investigación analiza el comportamiento espacio-temporal de los gases contaminantes SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO en la región de Puno, desde julio 2018 a junio 2024, utilizando imágenes del satélite Sentinel-5P y la plataforma Google Earth Engine. El objetivo fue identificar puntos críticos y tendencias significativas en las 13 provincias de la región. Se emplearon herramientas analíticas en Google Earth Engine, RStudio y QGIS, y se realizaron análisis con mapas temáticos, series de tiempo, y el test de Mann-Kendall para detectar tendencias, junto con la correlación de Spearman para evaluar la relación con precipitaciones. Los resultados revelaron que las concentraciones de SO₂ alcanzaron hasta 4.065 µmol/m², especialmente en Puno, San Román, Lampa y Yunguyo durante los meses de mayo a julio. La correlación de Spearman mostró un coeficiente de -0.834 entre precipitaciones y SO₂. NO₂ presentó picos de hasta 59.57 µmol/m² en septiembre 2022, con un incremento notable en Puno, San Román, Yunguyo y Chucuito, y una correlación de 0.656 con precipitaciones. El CO tuvo valores de hasta 279.393 µmol/m² en Sandia en septiembre y octubre de 2020. CH₄ alcanzó 1881 ppb en San Román en 2024, con un incremento del 4% respecto a 2019, mientras que el HCHO mostró picos de 201.398 µmol/m²

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE GASES CONTAMINANTES EN LA
REGIÓN PUNO UTILIZANDO IMÁGENES SENTINEL-5P EN GOOGLE EARTH
ENGINE PERIODO 2018-2024**

PRESENTADA POR:

DEIVID JOE QUISPE CRUZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

PRIMER MIEMBRO

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEÓN APAZA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Sensores Remotos

Puno, 24 de septiembre del 2024.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Elard Quispe Huisa y Elva Cruz Quispe, a quienes más adoro y aprecio en este mundo. Gracias a ustedes tengo vida, y es con esta tesis que busco retribuir todo su constante apoyo y dedicación, que han sido fundamentales para lograr ser Ingeniero Ambiental. No fue fácil, pero lo logré, cumpliendo la promesa que les hice: "Sin sacrificio no hay victoria."

AGRADECIMIENTO

Agradezco siempre a mi madre por darme la vida por ser mi motor y motivo, los sacrificios que hiciste por mi, para lograr este triunfo que es compartido. Además siempre fue gracias a tus palabras de aliento en nunca rendirme y lograr mis objetivos. Te Amo Mamita, es por ti! mis logros y siempre serán para ti.

Agradezco también a mi padre por estar a mi lado por escucharme, por luchar por mi, se que esperaste por este momento durante varios años, papá siempre está en mi tus palabras de nunca rendirme y aprender todo, para estar preparado en esta vida.

Agradezco a la Universidad Privada San Carlos, a sus docentes quienes durante 5 años compartieron sus conocimientos y experiencias para lograr este objetivo.

Deivid Joe QUISPE CRUZ

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ANEXOS	9
ACRÓNIMOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	19
1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS	20
1.2. ANTECEDENTES	20
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	20
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
1.2.3. ANTECEDENTES REGIONALES	22
1.3. OBJETIVO DE ESTUDIO	24
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	24
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	24

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO REFERENCIAL	25
-------------------------------	-----------

2.1.1. TELEDETECCIÓN	25
2.1.2. SENSORES SATELITALES	25
2.1.3. SENTINEL 5-P (TROPOMI)	26
2.1.4. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	27
2.1.5. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	27
2.1.6. DIOXIDO DE NITROGENO (NO ₂)	28
2.1.7. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	28
2.1.8. METANO (CH ₄)	29
2.1.9. FORMALDEHÍDO (HCHO)	29
2.1.10. GOOGLE EARTH ENGINE	29
2.1.11. SERIES TEMPORALES	30
2.1.12. METODOS DE MEDICION DE DATOS DE GASES CONTAMINANTES	30
2.1.13. OBTENCIÓN DE DATOS	31
2.1.14. ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS.	31
2.1.15. SERIES DE TIEMPO	31
2.1.16. MAPAS DE CONCENTRACIÓN ANUAL	32
2.2. MARCO CONCEPTUAL	32
2.3. MARCO NORMATIVO	34
2.4. HIPÓTESIS	34
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	34
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	34
2.5. JUSTIFICACIÓN	35
2.5.1. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL	35
2.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	36
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	37
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	38

3.2.1. POBLACIÓN	38
3.2.2. MUESTRA	38
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.	38
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	38
3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	39
3.3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	39
3.3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS TROPOMI SENTINEL-5P EN GEE.	42
3.3.5. PROGRAMAS UTILIZADOS	44
3.4. OPERALIZACIÓN DE VARIABLES	46
3.5. MÉTODO ESTADÍSTICO	46
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS POR OBJETIVOS	51
4.1.1. CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (NO ₂ , SO ₂ , CH ₄ , HCHO Y CO).	51
4.1.2. ANÁLISIS DE PATRONES ESPACIALES Y TENDENCIAS TEMPORALES DE LOS CONTAMINANTES (NO ₂ , SO ₂ , CH ₄ , HCHO Y CO).	57
4.1.3. IDENTIFICAR PUNTOS CRÍTICOS Y PERÍODOS CON MAYORES CONCENTRACIONES.	79
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	100

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Disponibilidad de datos de satélite Sentinel-5P sensor TROPOMI.	43
Tabla 02: Programas o Plataforma y Acciones	45
Tabla 03: Operacionalización de variables	46
Tabla 04: Descripción de la significancia del test de Mann - Kendall.	48
Tabla 05: Descripción de la significancia del Coeficiente de Spearman.	49
Tabla 06: Resultados del Test Mann-Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para SO ₂ periodo octubre 2018 a junio 2024.	60
Tabla 07: Resultados del Test Mann-Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para NO ₂ periodo octubre 2018 a junio 2024.	65
Tabla 08: Resultados del Test Mann - Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para CO, periodo octubre 2018 a junio 2024.	69
Tabla 09: Resultados del Test Mann - Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para HCHO, periodo octubre 2018 a junio 2024.	73
Tabla 10: Concentración periódica de CH ₄	77
Tabla 11: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con precipitación en la provincia de Puno.	80
Tabla 12: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Puno.	80
Tabla 13: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO ₂ con Precipitación en la provincia de Sandia.	82
Tabla 14: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO ₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Sandia.	82
Tabla 15: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO ₂ con Temperatura Máxima en la provincia de Sandia.	82
Tabla 16: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración CO con Precipitación en la provincia de Sandia.	84

Tabla 17: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración HCHO con Precipitación en la provincia de Yunguyo. 85

Tabla 18: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración HCHO con Temperatura Mínima en la provincia de Yunguyo. 86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ubicación de la zona de estudio.	38
Figura 02: Mapa de variación espacial y variación anual de SO ₂ en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.	52
Figura 03: Mapa de variación espacial y variación anual de NO ₂ en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.	53
Figura 04: Mapa de variación espacial y variación anual de CO en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.	54
Figura 05: Mapa de variación espacial y variación anual de HCHO en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.	55
Figura 06: Mapa de variación espacial y variación anual de CH ₄ en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.	56
Figura 07: Serie de tiempo para SO ₂ periodo octubre 2018 a junio 2024	61
Figura 08: Serie de tiempo para NO ₂ periodo julio 2018 a junio 2024.	66
Figura 09: Serie de Tiempo para CO, periodo octubre 2018 a junio 2024.	70
Figura 10: Serie de tiempo para HCHO, periodo octubre 2018 a junio 2024.	74
Figura 11: serie de tiempo para CH ₄ periodo febrero 2019 a junio 2024.	78

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia	101
Anexo 02: Extracción y visualización de datos del contaminante SO ₂ en la provincia Puno (junio 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine y shapefile provincial con datos del satélite Sentinel-5P.	102
Anexo 03: Extracción y visualización de datos del contaminante NO ₂ en la provincia Puno (junio 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine y shapefile provincial con datos del satélite Sentinel-5P.	103
Anexo 04: Visualización y Extracción en GeoTIFF de datos del contaminante CO de la región Puno (noviembre 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine con datos del satélite Sentinel-5P.	104
Anexo 05: Visualización y Extracción en GeoTIFF de datos del contaminante HCHO de la región Puno (octubre 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine con datos del satélite Sentinel-5P.	105
Anexo 06: Visualización y Extracción en GeoTIFF de datos del contaminante HCHO de la región Puno (febrero 2019 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine con datos del satélite Sentinel-5P.	106
Anexo 07: Procesamiento del contaminante CH ₄ en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.	107
Anexo 08: Procesamiento del contaminante HCHO en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.	108
Anexo 09: Procesamiento del contaminante CO en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.	109
Anexo 10: Procesamiento del contaminante NO ₂ en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.	110
Anexo 11 Procesamiento del contaminante SO ₂ en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.	111

Anexo 12: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para SO ₂ , durante el período 2018 - 2024.	112
Anexo 13: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para NO ₂ , durante el período 2018 - 2024.	113
Anexo 14: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para CO, durante el período 2018 - 2024.	114
Anexo 15: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para HCHO, durante el período 2018 - 2024.	115
Anexo 16: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con precipitación en la provincia de Sandia.	116
Anexo 17: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con precipitación en la provincia de Carabaya.	116
Anexo 18: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con precipitación en la provincia de San Román.	116
Anexo 19: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con precipitación en la provincia de Yunguyo.	116
Anexo 20: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con precipitación en la provincia de Lampa.	117
Anexo 21: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Lampa.	117
Anexo 22: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con Temperatura Mínima en la provincia de San Román.	117
Anexo 23: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO ₂ con Temperatura Mínima en la provincia de San Román.	117
Anexo 24: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO ₂ con Precipitación en la provincia de Yunguyo.	118
Anexo 25: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO ₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Yunguyo.	118

Anexo 26: Panorama general sobre las características y particularidades de cada provincia dentro del departamento de Puno.	119
Anexo 27: Puno: Temperatura y precipitación promedio mensual según estación meteorológica, 2018 - 2024.	121

ACRÓNIMOS

NO₂	Dioxido de Nitrogeno
SO₂	Dióxido de Azufre
CO	Monóxido de Carbono
CH₄	Metano
HCHO	Formaldehído
GEE	Google Earth Engine
TROPOMI	Instrumento de monitoreo troposférico
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
MINAM	Ministerio Ambiente
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
TSC	Tendencia Significativa Creciente
TSD	Tendencia Significativa Decreciente
TNSC	Tendencia no Significativa Creciente
TNSD	Tendencia no Significativa Decreciente
OMS	Organismo Mundial de Salud
DP	Densidad Poblacional
PT	Población Total
CN	Correlación Negativa
CP	Correlación Positiva
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PAHO	Organización Panamericana de la Salud
ESA	Agencia Espacial Europea
US EPA	Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos

RESUMEN

Esta investigación analiza el comportamiento espacio-temporal de los gases contaminantes SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO en la región Puno, desde julio 2018 a junio 2024, utilizando imágenes del satélite Sentinel-5P y la plataforma Google Earth Engine. El objetivo fue identificar puntos críticos y tendencias significativas en las 13 provincias de la región. Se emplearon herramientas analíticas en Google Earth Engine, RStudio y QGIS, y se realizaron análisis con mapas temáticos, series de tiempo, y el test de Mann-Kendall para detectar tendencias, junto con la correlación de Spearman para evaluar la relación con precipitaciones. Los resultados revelaron que las concentraciones de SO_2 alcanzaron hasta $511.339\mu\text{mol}/\text{m}^2$, especialmente en Puno, San Román, Lampa y Yunguyo durante los meses de mayo a julio. La correlación de Spearman mostró un coeficiente de -0.834 entre precipitaciones y SO_2 . NO_2 presentó picos de hasta $59.57\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en septiembre 2022, con un incremento notable en Puno, San Román, Yunguyo y Chucuito, y una correlación de 0.656 con precipitaciones. El CO tuvo valores de hasta $0.049\text{mol}/\text{m}^2$ en Sandía en septiembre y octubre de 2020. CH_4 alcanzó 1881 ppb en San Román en 2024, con un incremento del 4% respecto a 2019, mientras que el HCHO mostró picos de $201.398\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en octubre de 2023 en Sandía, Carabaya y Yunguyo. El test de Mann-Kendall indicó que las tendencias para todos los contaminantes no fueron significativas. En conclusión, las provincias afectadas por NO_2 y SO_2 son San Román, Puno y Yunguyo durante la estación seca (junio-diciembre), mientras que Sandía y Carabaya enfrentan problemas de HCHO y CO entre septiembre y octubre.

Palabras clave: Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Formaldehído, Metano, Monóxido de Carbono.

ABSTRACT

This research analyzes the spatiotemporal behavior of the pollutant gases SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO in the Puno region, from July 2018 to June 2024, using images from the Sentinel-5P satellite and the Google Earth Engine platform. The objective was to identify critical points and significant trends in the 13 provinces of the region. Analytical tools in Google Earth Engine, RStudio, and QGIS were used, and analyses were performed with thematic maps, time series, and the Mann-Kendall test to detect trends, along with the Spearman correlation to evaluate the relationship with precipitation. The results revealed that SO₂ concentrations reached up to 511.339 μmol/m², especially in Puno, San Román, Lampa, and Yunguyo during the months of May to July. The Spearman correlation showed a coefficient of -0.834 between precipitation and SO₂. NO₂ presented peaks of up to 59.57 μmol/m² in September 2022, with a notable increase in Puno, San Román, Yunguyo, and Chucuito, and a correlation of 0.656 with precipitation. CO had values of up to 0.049 mol/m² in Sandia in September and October 2020. CH₄ reached 1881 ppb in San Román in 2024, with an increase of 4% compared to 2019, while HCHO showed peaks of 201.398 μmol/m² in October 2023 in Sandia, Carabaya, and Yunguyo. The Mann-Kendall test indicated that the trends for all pollutants were not significant. In conclusion, the provinces affected by NO₂ and SO₂ are San Román, Puno and Yunguyo during the dry season (June-December), while Sandia and Carabaya face HCHO and CO problems between September and October.

Keywords: Sulfur Dioxide, Nitrogen Dioxide, Formaldehyde, Methane, Carbon Monoxide.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema global que afecta a la salud pública, los ecosistemas y el clima. En la región Puno, Perú, este problema es particularmente relevante debido a factores geográficos, climáticos y antropogénicos que contribuyen a la variabilidad y concentración de gases contaminantes. La presente investigación aborda la problemática de la contaminación atmosférica en Puno, enfocándose en el análisis de los gases SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO , mediante el uso de datos satelitales proporcionados por el Sentinel-5P y procesados en la plataforma GEE.

Planteamiento del Problema: La región Puno, situada en la sierra sur del Perú, es conocida por su vulnerabilidad a la contaminación del aire debido a diversas fuentes, incluidas las actividades industriales, el tráfico vehicular, la quema de biomasa y las emisiones agrícolas. Sin embargo, existe una falta de estudios sistemáticos y detallados que analicen cómo estos contaminantes varían espacial y temporalmente en la región. Esta investigación busca llenar ese vacío, proporcionando una evaluación detallada de las concentraciones de SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO en la región Puno, período julio 2018 a junio 2024.

Antecedentes: Diversos estudios han demostrado que las concentraciones de contaminantes atmosféricos pueden tener efectos nocivos significativos sobre la salud humana y el medio ambiente. En el contexto peruano, la calidad del aire es monitoreada principalmente en las grandes ciudades, mientras que las regiones menos urbanizadas, como Puno, carecen de datos suficientes. El uso de la tecnología satelital Sentinel-5P, que permite un monitoreo continuo de los gases contaminantes, representa una herramienta poderosa para superar estas limitaciones y obtener una visión más completa del estado de la calidad del aire en regiones como Puno.

Formulación de la Hipótesis: Se plantea la hipótesis de que las concentraciones de los gases contaminantes SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO en la región Puno presentan

variaciones espaciales y temporales significativas, con picos asociados a factores estacionales y fuentes de emisión localizadas.

Capítulo I: Planteamiento del Problema, Antecedentes y Objetivos de la Investigación

El problema central de esta investigación radica en la falta de estudios detallados sobre la dinámica espacial y temporal de los gases contaminantes en Puno. La región presenta una serie de desafíos ambientales que no han sido abordados adecuadamente debido a la limitada disponibilidad de datos y análisis específicos. Ante esta situación, el objetivo general del estudio es analizar los niveles de concentración de los gases mencionados en Puno, determinando las áreas críticas y las tendencias temporales.

Capítulo II: Marco Teórico, Conceptual e Hipótesis de la Investigación

El marco teórico de la investigación se basa en estudios previos que demuestran el impacto de los contaminantes atmosféricos en la salud pública y el medio ambiente. Se exploran conceptos clave relacionados con la calidad del aire, la tecnología satelital aplicada al monitoreo ambiental y los métodos de análisis de series temporales. La hipótesis plantea que las concentraciones de SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO en la región Puno varían significativamente en función de factores estacionales y fuentes de emisión localizadas.

Capítulo III: Metodología de la Investigación

La metodología se desarrolla a partir del uso de imágenes del satélite Sentinel-5P, procesadas en GEE para extraer valores promedios, máximos y mínimos mensuales de los contaminantes a lo largo del período de estudio. Estos datos se complementan con análisis estadísticos, como la prueba de Mann-Kendall, para identificar tendencias significativas, así como con la generación de mapas temáticos en QGIS para visualizar la distribución espacial de los contaminantes.

Capítulo IV: Exposición y Análisis de los Resultados

Los resultados de la investigación revelan patrones estacionales marcados en las concentraciones de SO_2 , NO_2 y HCHO , con picos durante la estación seca y mínimos en la temporada de lluvias.

Las concentraciones de CO y CH₄ muestran menor variabilidad temporal pero una distribución espacial notable, relacionada con fuentes específicas de emisión. Estos hallazgos permiten identificar las provincias con mayores niveles de contaminación y los períodos críticos, ofreciendo una base sólida para futuras estrategias de gestión ambiental en la región.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica es un desafío global y es una de las mayores amenazas ambientales para la salud humana, la economía y el ecosistema global. A pesar de los esfuerzos para reducir las emisiones de contaminantes, la exposición a niveles nocivos de gases como SO₂, NO₂, CO, CH₄, HCHO y otros, sigue siendo alta, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas, la falta de datos precisos y actualizados sobre la calidad del aire obstaculiza la capacidad de respuesta y planificación de las autoridades y organizaciones de salud pública. Casi el 99% de la población mundial está expuesta a niveles de contaminación del aire que superan los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud, lo que representa un grave riesgo para la salud humana (PAHO, 2024). A nivel internacional, existe una creciente preocupación por comprender y mitigar estos efectos negativos.

Algunos de los contaminantes que contribuyen a la contaminación del aire son SO₂, NO₂, PM₁₀, CO, etc. un aumento drástico en la concentración de dichos compuestos, deja a la humanidad en una situación alarmante. Por lo mismo (PAHO, 2024) indica “367.000 muertes al año por contaminación del aire en las américas”, ya que estos gases de efecto invernadero presentan una capacidad de atrapar calor que ha aumentado la temperatura media de la superficie de la tierra en 1.1 °C desde 1880.

En el contexto peruano, la calidad del aire es un tema relevante debido a la urbanización acelerada, el aumento del tráfico vehicular y la actividad industrial (Moretti-Villegas et al.,

2023). El monitoreo de gases contaminantes es esencial para evaluar los riesgos para la salud pública y diseñar políticas efectivas de control ambiental. Sin embargo, hay una falta de estudios exhaustivos que analizan la variabilidad espacial y temporal de estos contaminantes en diferentes regiones del país.

La región Puno, ubicada en el altiplano peruano, enfrenta desafíos específicos en términos de calidad de aire. La actividad minera, la agricultura y el transporte son fuentes potenciales de emisiones contaminantes. Sin embargo, existe una brecha de conocimiento sobre la magnitud de la contaminación y su impacto en la salud de la población local.

Actualmente, los sistemas de computación en la nube se utilizan significativamente para monitorear la alteración de cualquier región en particular, se puede llevar a cabo un estudio intensificado utilizando GEE es una plataforma de análisis espacial basada en la nube lanzada y alojada por Google en 2010, abierta a todos lo que tengan datos geoespaciales asociados con una variedad de satélite.

Este estudio se propone utilizar los datos avanzados de teledetección proporcionados por el satélite Sentinel-5P para abordar esta brecha informativa. Además tiene importancia en a) salud pública, comprender la distribución espacial y las tendencias temporales de los gases contaminantes en Puno permitirá identificar áreas críticas y tomar medidas preventivas para proteger la salud de los habitantes. b) políticas y regulaciones, los resultados de este estudio pueden informar políticas ambientales y regulaciones específicas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en la región. c) investigación futura al proporcionar datos y metodologías sólidas, esta investigación servirá como base para futuras estudios y proyectos relacionados con la calidad del aire en Puno y otros áreas similares.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la concentración de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno a partir de imágenes Sentinel-5P en Google Earth Engine, periodo julio 2018 a junio 2024?

1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS

- ¿Cómo se pueden utilizar las imágenes del satélite Sentinel-5P en la plataforma Google Earth Engine para obtener datos precisos sobre los niveles de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024?
- ¿Cómo varían los niveles de contaminación (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas de la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024?
- ¿Cuáles son los puntos críticos y períodos con mayores concentraciones de contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Jodhani et al. (2024) en su artículo de investigación: “Synergizing google earth engine and earth observations for potential impact of land use/ land cover on air quality” y con el objetivo de identificar el impacto potencial de LULC en la calidad del aire en el estado de Gujarat-india, durante los años 2018, 2020 y 2023. a través de plataformas de análisis espacial basadas en la nube Google Earth Engine y tomando imágenes de Sentinel-5P. Los resultados indican que las concentraciones de CO muestran niveles más altos en las regiones central y sur de Gujarat, particularmente en áreas urbanas como Surat, Vadodara, Ahmedabad y Bharuch. También se registraron concentraciones más intensas de NO_2 en las zonas con mayor densidad de población. De manera similar, el SO_2 y el HCHO muestran concentraciones crecientes en las regiones urbanizadas, lo que apunta a su correlación directa con las actividades humanas, la industrialización y la combustión de combustibles fósiles. el CH_4 , registró una distribución uniforme en el área de estudio.

Gutiérrez (2021) en su investigación denominado: “Monitoreo de SO_2 , NO_2 y CO para estimar la calidad del aire en el ciudad de Montería” con el objetivos de evaluar la calidad del aire en el área de influencia de la ciudad de Montería y compararlo con las normas

respectivas vigentes, realizó monitoreo en cuatro puntos durante 30 días continuos obteniendo los siguientes resultados SO_2 , NO_2 y CO se encuentran por debajo de los niveles máximos permisibles. y concluye que las concentraciones son menores gracias a la ubicación geográfica está a pocos metros sobre el nivel medio del mar.

Martín et al. (2023) en su artículo científico titulado: "Environmental science through orbiters. An example of Sentinel-5P on how the Covid-19 pandemic impacted the air quality", y con el objetivo de analizar el impacto de la pandemia en la contaminación del aire del área metropolitana de Bilbao, España. mediante orbitadores utilizado además imágenes de datos estaciones terrestres de enero y junio de 2020, obteniendo los siguientes resultados muestra una tendencia similar para 2019 y 2020, mostrando que contaminantes como SO_2 , NO_2 y CO están altamente concentrados en los meses de invierno, mientras que la presencia de O_3 en esos meses es relativamente menor. y concluye que durante el año de confinamiento se destacó una cierta disminución de la concentración de los principales gases relacionados con la mala calidad de aire.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Solís (2023) en su estudio de maestría titulada: "Análisis de Contaminantes del aire atmosférico, a través de imágenes Sentinel-5P de la región de Apurímac periodo 2018 - 2021", su objetivo fue determinar la contaminación del aire atmosférico a través de imágenes Sentinel-5P, en la plataforma de GEE para la región de Apurímac en el periodo 2018-2021. y obtuvo los siguientes resultados para el contaminante CO tuvo un incremento en las concentraciones en Abancay de 0.0207 a 0.0251 de mol/m^2 para 2018, 0.0236 – 0.0284 mol/m^2 para 2019 y para 2020 - 2021 hay menor presencia de CO en provincias de Antabamba, Aymaraes y Grau. para NO_2 las máximas concentraciones del 2018 oscilan entre 0.0000430 - 0.000045 mol/m^2 en las provincias de Cotabambas y Abancay y las mínimas 0.000037 a 0.000040 mol/m^2 en las localidades de Grau, Antabamba, Aymaraes y Chincheros. y SO_2 obtienen concentraciones mayores en las provincias de Abancay, Chincheros, Andahuaylas, Grau, Aymaraes, Antabamba y

Cotabambas con valores que varían entre 0.000015 a 0.000161 mol/m² para los periodos del 2020 y 2021.

Así mismo García (2019) en su tesis: “Evaluación de la concentración de CO, NO₂ y SO₂ en el aire por tráfico vehicular en el distrito de Morales, 2018” con el objetivo de Determinar la concentración de los gases (CO, NO₂ y SO₂) generados por el tráfico sectores 1 y 2 del distrito de Morales. mediante la utilización de tren de muestreo en dos momentos de monitoreo a hora punta y hora no punta obtiene los siguientes resultados con respecto a concentración de CO en los puntos 1 y 2 del primer monitoreo sobrepasan los valores ECA en (10 000 µg/m³), para el segundo monitoreo 1 y 3 sobrepasan los valores ECA en (10 000 µg/m³). Asimismo para SO₂ y NO₂ no sobrepasan los valores en todos los puntos. y concluye que los datos no son cuantificables.

Vela (2021) en su título denominado: “Concentración de Contaminantes Primarios del Parque Automotor en la Atmósfera del Distrito de la Banda de Shilcayo - San Martín”, mediante el objetivo general de determinar la concentración de contaminantes primarios del parque automotor en la atmósfera del Distrito de la BSH - SM. Durante 60 días realizó el monitoreo en 4 puntos, teniendo como resultado CO excede los ECA, en los puntos 1 y 4 y los demás están por debajo, asimismo NO₂ y SO₂ no sobrepasan los ECA. concluye se comparó los contaminantes con enfermedades en el distrito de BSH – SM, siendo irritación de los ojos el causante de mayor porcentaje.

1.2.3. ANTECEDENTES REGIONALES

En la investigación de Justo (2021), titulada "Evaluación de la calidad del aire según los niveles de concentración de SO₂, NO₂, CO y O₃ en puntos críticos de la ciudad de Juliaca", se tuvo como propósito evaluar la calidad del aire en base a la concentración de estos gases contaminantes. Para ello, se empleó la metodología del Decreto Supremo N.º 10-2019-MINAM en nueve estaciones de monitoreo, comparando los resultados con los estándares de calidad del aire de la OMS e INCA. Los niveles obtenidos fueron: 20.523 µg/m³ de SO₂, 36.690 µg/m³ de NO₂, 2459.157 µg/m³ de CO, y 2.953 µg/m³ de O₃. Se concluyó que NO₂, CO y O₃ se encontraban en un rango de "buena calidad" (0-50),

según INCA, mientras que el SO_2 superó los límites aceptables, ubicándose en un rango de "mala calidad" (101-625) .

Bayona (2022) en su investigación titulada: "Modelamiento de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca con teledetección satelital - 2019" como objetivo Modelar la concentración de los contaminantes atmosféricos O_3 , SO_2 , NO_2 , CO, Nubosidad, Aerosol y HCHO, de imágenes satelitales de Sentinel-5P, Ciudad de Cajamarca durante el año 2019. obteniendo los siguientes resultados para O_3 las concentraciones más altas se registraron en agosto 0.114612 mol/m^2 , y valor mismo en diciembre de $1.08\text{E-}01 \text{ mol/m}^2$; para SO_2 las concentraciones más altas en octubre de $0.00046759 \text{ mol/m}^2$, valor mínimo en septiembre de $-7.32\text{E-}04 \text{ mol/m}^2$; NO_2 concentraciones más altas en octubre de $3.23\text{E-}05 \text{ mol/m}^2$ el valor mínimo en junio de $-3.64\text{E-}06 \text{ mol/m}^2$; CO el valor máximo en marzo de $0.0298071 \text{ mol/m}^2$, valor mínimo fue en el mes de junio de $1.61\text{E-}02 \text{ mol/m}^2$; Nubosidad concentraciones más altas en octubre de 0.941846 mol/m^2 , valor mínimo en agosto de $3.20\text{E-}01 \text{ mol/m}^2$; Aerosol concentraciones más altas en agosto de $-0.723458 \text{ mol/m}^2$, valor mínimo en agosto de -1.78913 mol/m^2 ; HCHO concentraciones más altas en diciembre de $0.000362221 \text{ mol/m}^2$, valor mínimo en octubre de $-0.000264681 \text{ mol/m}^2$.

Por su parte Flores Yucra et al. (2024) en su artículo titulado: "Efecto del Parque Automotor en el Nivel de Contaminación por CO_2 en la Ciudad de Puno", teniendo como objetivo determinar nivel de contaminación de CO_2 por parque automotor en la ciudad de Puno, realizó 4 muestreos en 16 puntos los valores encontrados indica que existe diferencia estadística significativa en los 16 puntos de monitoreo, donde las concentraciones de O_2 con respecto CO_2 son mayores por lo tanto concluye que la contaminación provocada por el parque automotor aun es aceptable para la salud humana.

1.3. OBJETIVO DE ESTUDIO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar los niveles de concentración de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno utilizando imágenes Sentinel-5P en la plataforma Google Earth Engine, periodo julio 2018 a junio 2024.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Recopilar datos satelitales específicos de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno, utilizando imágenes del satélite Sentinel-5P en la plataforma Google Earth Engine, periodo julio 2018 a junio 2024.
- Analizar patrones espaciales y tendencias temporales de los contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno para comprender su variabilidad a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas, periodo julio 2018 a junio 2024.
- Identificar puntos críticos y períodos con mayores concentraciones de contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. TELEDETECCIÓN

La teledetección es una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales (Chuvieco Salinero, 2010), a través de la interacción electromagnética entre el suelo y el sensor, se generan datos que luego se procesan para obtener información interpretable sobre la tierra. Esta técnica permite obtener datos sin mantener contacto físico con los objetos o áreas de estudio, utilizando energía electromagnética como la luz, el calor y las ondas de radio. según (Castaño Fernández et al., 1996) los sistemas de teledetección se dividen en dos tipos principales:

- **Teledetección activa:** emiten energía para escanear los objetos y miden la radiación reflejada. ejemplos incluyen radares de tráfico.
- **Teledetección pasiva:** detectan la radiación emitida o reflejada por el objeto, como la luz solar o los infrarrojos.

La teledetección brinda una visión global y detallada de nuestro planeta, siendo útil en áreas de geología, la agricultura, la climatología y la gestión del medio ambiente.

2.1.2. SENSORES SATELITALES

El sensoramiento remoto satelital es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, estos capturan radiación electromagnética reflejada o emitida por la tierra y la transforman en señales eléctricas para su posterior procesamiento. según (Chuvieco Salinero, 2010) indica que hay dos tipos de sensores:

- **Sensores Pasivos:** funcionan como cámara fotográfica y reciben la radiación reflejada por las superficies terrestres, por ejemplo incluyen sensores CCD o CMOS,
- **Sensores Activos:** emiten su propia radiación y miden la señal reflejada.

La resolución de los datos capturados por los sensores satelitales es un aspecto clave para la calidad de las imágenes obtenidas, además desempeñan un papel importante en la teledetección y nos brindan información valiosa sobre nuestro planeta desde el espacio. Por su parte (Romero, 2016) también refiere como “modelos de paisaje” además indica que la integración de los datos de sensores remotos, en SIG produce un banco de datos multivariantes y multitemporales que posibilitan una configuración matemática del paisaje

2.1.3. SENTINEL 5-P (TROPOMI)

El satélite Sentinel-5P es una parte fundamental del programa Copernicus dedicado al monitoreo de la atmósfera su objetivo principal es realizar mediciones atmosféricas con alta resolución espacial y temporal para monitorear la calidad del aire, el ozono O₃, la radiación UV y el clima. El satélite lleva el instrumento TROPOMI, co-financiado por la ESA y los países bajos, TROPOMI mide gases como NO₂, CO, O₃, SO₂, CH₄, HCHO y más (*Sentinel-5P*, s. f.).

La amplia franja de observación de 108° (aproximadamente 2600 km de la tierra) permite una cobertura completa diaria de radiación y reflectancia, cubre latitudes mayores a 7° y menores a -7°, con más del 95% de cobertura en el intervalo [-7°, 7°], las aplicaciones con respecto a calidad de aire evalúa la contaminación atmosférica y la distribución de gases contaminantes, capa de ozono estratosférico, monitorea la salud de la capa de ozono y la interacción clima-composición contribuye a la comprensión de la relación entre la composición atmosférica y el cambio climático.

La implementación de TROPOMI en el Sentinel-5P ha revolucionado el monitoreo atmosférico, proporcionando datos de alta resolución que son esenciales para estudios ambientales y de salud pública (Reshi et al., 2024). Este sensor permite una cobertura global diaria, lo que es fundamental para la vigilancia continua de la contaminación del

aire (Sanucci et al., 2020). Además, la capacidad de TROPOMI para detectar múltiples gases traza simultáneamente ofrece una visión integral de la calidad del aire a escala regional y global (Vásquez Taco & Arboleda Guerrero, 2021).

2.1.4. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Un contaminante atmosférico o contaminante del aire es una sustancia o forma de energía presente en el aire que puede ser perjudicial para el medio ambiente y la salud. Así mismo (Amable Álvarez et al., 2017) indica que los contaminantes pueden ser de origen natural (como gases producidos por la combustión de materiales fósiles) o bien serlo pero encontrarse en concentraciones más altas de lo adecuado para el equilibrio natural (por ejemplo gases liberados durante la explosión volcánica). Los contaminantes atmosféricos, incluyendo gases y partículas en suspensión (aerosoles). Los principales contaminantes que representan un riesgo significativo para la salud pública incluyen partículas en suspensión, CO, NO₂, SO₂, CH₄ y HCHO, debido a su capacidad de afectar sistemas vitales como el respiratorio y cardiovascular (Aránguez et al., 1999).

2.1.5. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Es un gas incoloro y altamente tóxico, se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, kerosene, carbón, petróleo, tabaco o madera. Las chimeneas, calderas, calentadores de agua, estufas y vehículos también pueden emitir si no funcionan correctamente (OMS, 2022).

La inhalación de CO disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno al cuerpo, lo que puede provocar síntomas como dolor de cabeza, fatiga, mareos e incluso afectar el sistema nervioso. Además la exposición extrema a concentraciones altas forma carboxihemoglobina llevando la dificultad respiratoria, colapso y, en casos extremos la muerte (US EPA, 2018).

Así mismo (Kain, 2024) indica sobre los efectos para el medio ambiente el CO contribuye a la formación de gases de efecto invernadero y se encuentra en las atmósferas de las estrellas de carbono. Su vida media en la atmósfera es de aproximadamente tres meses, durante los cuales se oxida lentamente para formar CO₂ y también se genera O₃.

2.1.6. DIOXIDO DE NITROGENO (NO₂)

El NO₂ es un compuesto químico formado por los elementos nitrógeno y oxígeno, es uno de los principales contaminantes entre los varios óxidos de nitrógeno, el NO₂ es de color marron-amarrillento y se forma como subproducto en los procesos de combustión a altas temperaturas la principal fuente de NO₂ resultante de las actividades humanas es la combustión de combustibles fósiles (como carbón, gas y petróleo) (OMS, 2022).

El gas mencionado es perjudicial para la salud debido a su naturaleza tóxica e irritante. Actúa como un precursor en la creación de partículas de nitrato, lo que conduce a la generación de ácidos y al incremento de los niveles de PM_{2.5} en la atmósfera. Estas partículas, al ser inhaladas, afectan principalmente al sistema respiratorio, agravando enfermedades como el asma y otras afecciones respiratorias. Además, la exposición prolongada puede tener consecuencias más graves en la salud. La exposición a largo plazo provoca disminución de la función pulmonar síntomas respiratorios como bronquitis aguda, tos y flema especialmente en niños (US EPA, 2022).

Este compuesto impacta negativamente al medio ambiente, contribuyendo a la formación de lluvia ácida al convertirse en ácido nítrico cuando se mezcla con agua. Además, inhibe el crecimiento de las plantas.

2.1.7. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

El SO₂ es un gas incoloro, irritante y con un olor penetrante, se disuelve en agua formando soluciones ácidas, los volcanes también emiten SO₂ durante las erupciones volcánicas (OMS, 2022).

Los efectos en la salud SO₂ afecta las vías respiratorias y puede causar dificultad para respirar, irrita los pulmones y las mucosas húmedas afectando el sistema nervioso (US EPA, 2022).

los efectos en el medio ambiente los óxidos de azufre afectan suelos, monumentos históricos y cursos de agua, es responsable de la lluvia ácida al formar ácido sulfúrico.

2.1.8. METANO (CH₄)

El CH₄ es un gas de efecto invernadero que no solo contribuye significativamente al cambio climático, sino que también impacta la calidad del aire y, en consecuencia, la salud humana (UNEP, 2022).

Este gas es el principal precursor del ozono troposférico, un contaminante que ocasiona alrededor de un millón de muertes prematuras al año. Su capacidad de calentamiento es 80 veces más potente que la del CO₂ en un plazo de 20 años, lo que lo convierte en un factor clave en aproximadamente el 30% del calentamiento global desde la era preindustrial. Además, las emisiones de CH₄ han aumentado de manera más rápida desde la década de 1980 (UNEP, 2021a).

En el ámbito ambiental, fuentes como la agricultura y las emisiones del ganado contribuyen significativamente a las emisiones de CH₄, mientras que las condiciones inundadas en el cultivo de arroz también incrementan su liberación (UNEP, 2022).

2.1.9. FORMALDEHÍDO (HCHO)

Es un gas incoloro con un olor penetrante característico.

Los efectos en la salud las concentraciones en el aire de aproximadamente 0,4 - 3 partes por millón (ppm) pueden causar irritación en los ojos, nariz y garganta, algunas personas pueden desarrollar alergias o sensibilidad al HCHO tras la exposición repetida. se ha relacionado con cáncer de nasofaringe y leucemia (ATSDR, 2021); (US EPA, 2021)

Los efectos en el medio ambiente, HCHO se liberan en proceso industriales y pueden afectar la calidad del aire, sitios de desechos peligrosos y áreas con liberación de HCHO, y a altas temperaturas, se degradan a metanol y CO.

2.1.10. GOOGLE EARTH ENGINE

Según Gorelick et al. (2017) GEE Es una plataforma poderosa que permite realizar análisis espacio-temporales en diversas temáticas ambientales.

- Monitoreo de Cambio de Cobertura y uso de Suelo.- GEE facilita la detección de cambios en la vegetación, deforestación, urbanización y otros procesos relacionados

con el uso del suelo, permite evaluar la expansión de áreas urbanas, la pérdida de bosques y la transformación de ecosistemas naturales.

- Estudios climáticos y de cambios climáticos.- GEE ayuda a analizar patrones climáticos, como temperatura, precipitaciones y eventos extremos. permite evaluar la vulnerabilidad de regiones específicas al cambio climático.
- Gestión de Recursos Hídricos.- GEE se utiliza para monitorear cuerpos de agua, identificar áreas propensas a inundaciones y evaluar la disponibilidad de agua. facilita el análisis de sequías, calidad del agua y cambios en los cauces fluviales.
- Biodiversidad y Conservación.- GEE ayuda a mapear hábitats, identificar áreas de alta biodiversidad y evaluar la salud de los ecosistemas, permite monitorear especies en peligro de extinción y áreas protegidas.
- Calidad de Aire y Contaminación.- GEE se utiliza para evaluar la concentración de contaminantes atmosféricos, como NO₂, CO, O₃, SO₂, CH₄, HCHO y más, facilita el seguimiento de fuentes de emisión y la planificación de medidas de mitigación.

2.1.11. SERIES TEMPORALES

En el estudio de la calidad del aire, el uso de series temporales facilita la detección de cambios a largo plazo en la concentración de gases como CO, NO₂, SO₂, CH₄ y HCHO, proporcionando una visión detallada de cómo estos contaminantes fluctúan y se distribuyen en diferentes áreas geográficas y periodos de tiempo (Masoud, 2023). Esta metodología es esencial para evaluar el impacto de las actividades humanas y las condiciones meteorológicas en la contaminación atmosférica (Chesniuk, 2023).

2.1.12. METODOS DE MEDICION DE DATOS DE GASES CONTAMINANTES

La medición de contaminantes del aire atmosférico, se logra mediante diversos métodos.

A. Teledetección Satelital.- Mediante este sistema de observación se obtendrá los datos sin tener contacto con ellos mediante sensores instalados en las plataformas espaciales. para (Chuvieco Salinero, 2010) la teledetección tiene “dos tipos de recopilar información: pasiva el sensor capta la radiación emitida o reflejada por el

objeto estudiado debido a la radiación del sol, la activa el sensor emite la radiación necesaria la cual es reflejada por el objeto”.

2.1.13. OBTENCIÓN DE DATOS

De la obtención de datos del satélite Sentinel-5P, el satélite es parte del proyecto copernicus y se utiliza para el seguimiento atmosférico, incluyendo la concentración de NO₂, CO, SO₂, CH₄ y HCHO, existen diversas plataformas como:

- Copernicus Open Access Hub, es una plataforma que permite acceder a los datos de los satélites Sentinel de manera gratuita.
- GEE, es una plataforma de análisis espacial basada en la nube lanzada y alojada por Google en 2010, abierta a todos los que tengan datos geoespaciales asociados con una variedad de satélites con una precisión notablemente alta (Perilla & Mas, 2020).

2.1.14. ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS.

El análisis de datos estadísticos es crucial para interpretar grandes volúmenes de información ambiental y para identificar patrones y tendencias a lo largo del tiempo (James et al., 2023). La utilización de SIG en la visualización de datos espaciales permite una representación clara y efectiva de los niveles de contaminación, facilitando la identificación de áreas con alta concentración de contaminantes (Omenetto, 2019). Además, los análisis temporales ayudan a comprender cómo varían los niveles de contaminación a lo largo de los años y en diferentes estaciones (Chatfield, 2020).

2.1.15. SERIES DE TIEMPO

El análisis de series de tiempo es fundamental para comprender cómo evolucionan las concentraciones de contaminantes a lo largo del tiempo, identificar patrones y prever tendencias futuras (Quispe Cruz, 2024). El uso de Google Earth Engine facilita la manipulación y el análisis de grandes volúmenes de datos satelitales, ofreciendo herramientas poderosas para el procesamiento y visualización de información espacial (Perilla & Mas, 2020). Además, el desarrollo de scripts personalizados en JavaScript permite un análisis detallado y específico de los datos de calidad del aire, optimizando los resultados para investigaciones ambientales (Vásquez Taco & Arboleda Guerrero, 2021).

2.1.16. MAPAS DE CONCENTRACIÓN ANUAL

La visualización de datos espaciales mediante mapas de concentración anual es una técnica efectiva para representar la distribución geográfica de los contaminantes atmosféricos (Vela, 2021). La utilización de GIS permite integrar y analizar grandes volúmenes de datos espaciales, facilitando la identificación de áreas con mayores niveles de contaminación (Bayona, 2022). Además, la generación de mapas en formato TIFF asegura una alta resolución y precisión en la representación de los datos ambientales (Castaño Fernández et al., 1996).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Dióxido de azufre.-** Es un contaminante atmosférico significativo que proviene principalmente de la combustión de combustibles fósiles y la actividad industrial. La exposición al SO_2 puede provocar problemas respiratorios y agravar condiciones como el asma (World Health Organization, 2023). Un estudio reciente por (Masoud, 2023) destaca las tendencias de las emisiones de SO_2 en Egipto y su impacto en la salud pública.
- **Dióxido de Nitrógeno.-** El NO_2 es un gas tóxico que proviene principalmente del tráfico vehicular y la quema de combustibles fósiles. La exposición a NO_2 puede causar inflamación de las vías respiratorias y reducir la función pulmonar. Según un estudio reciente de (Huang et al., 2021), la exposición prolongada a NO_2 se ha asociado con un aumento en las enfermedades respiratorias.
- **Monóxido de Carbono (CO).-** Es un gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles. La exposición a altos niveles de CO puede causar envenenamiento y muerte. Un estudio de (Duncan et al., 2014) discute el uso de datos satelitales para monitorear los niveles de CO en diversas regiones del mundo.
- **Metano (CH_4).-** Es un potente gas de efecto invernadero con fuentes naturales y antropogénicas, incluyendo la producción de petróleo y gas, la agricultura y los

vertederos. Un estudio reciente de (Saunois et al., 2020) proporciona un análisis detallado de las tendencias de las emisiones de CH₄ a nivel global.

- **Formaldehído (HCHO).**- Es un contaminante químico que se encuentra en muchos productos domésticos y materiales de construcción. La exposición prolongada al HCHO puede causar cáncer y otros problemas de salud. Un estudio de (ATSDR, 2021) examina las concentraciones de HCHO en diversas regiones y su impacto en la salud pública.
- **Teledetección.**- La teledetección es una técnica que permite la obtención de información sobre objetos o áreas distantes mediante el uso de sensores que detectan y registran la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre. se aplica a través de la utilización de imágenes satelitales capturadas por el satélite Sentinel-5P, permitiendo la evaluación espacio-temporal de los contaminantes en la región Puno
- **Test Mann-Kendall.**- El Test de Mann-Kendall es un método no paramétrico utilizado para detectar tendencias monotónicas (es decir, tendencias que siempre aumentan o siempre disminuyen) en series temporales de datos (Mann, 1945). Este test es particularmente útil en estudios ambientales para analizar cambios en la calidad del aire y en las concentraciones de contaminantes a lo largo del tiempo. En esta investigación, el Test de Mann-Kendall se emplea para identificar tendencias en las concentraciones de los contaminantes (NO₂, SO₂, CO, CH₄, HCHO) en la región Puno durante el periodo 2018-2024.
- **Satélite Sentinel-5P.**- El Sentinel-5P es un satélite de observación terrestre lanzado por la ESA en 2017, específicamente diseñado para monitorear la calidad del aire (KNMI, 2023). Equipado con el sensor TROPOMI (Instrumento de Monitoreo de Ozono y Trazas de Gases), el Sentinel-5P mide la concentración de varios gases contaminantes, incluidos NO₂, SO₂, CO, CH₄ y HCHO. En esta investigación, se utilizó el Sentinel-5P para obtener datos precisos y actualizados sobre la distribución espacio-temporal de estos gases en la región Puno.

- **Google Earth Engine.-** GEE es una plataforma de análisis geoespacial que permite el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos satelitales en la nube (Gorelick et al., 2017). Esta herramienta proporciona acceso a una vasta colección de imágenes satelitales y permite la implementación de algoritmos de análisis complejos a través de scripts. En el marco de esta investigación, GEE se utiliza para procesar y analizar las imágenes del Sentinel-5P, facilitando la evaluación de las concentraciones de los gases contaminantes en Puno durante el periodo de estudio.

2.3. MARCO NORMATIVO

- Ley General del Ambiente Ley N° 28611, publicada con fecha 15 de octubre de 2005.
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.
- Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM Aprueba los Protocolos para su Aplicación a nivel general para el monitoreo de la calidad ambiental del aire.
- Actualización de las directrices de calidad del aire de la OMS para 2021.
- R.M. N° 181 – 2016 - MINAM. Índice de Calidad del Aire.
- Decreto Supremo que modifica el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM, que establece Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La concentración de gases contaminantes en el aire, como SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO, en la región Puno ha experimentado un aumento, período julio 2018 a junio 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La utilización de datos del satélite Sentinel-5P permitirá identificar patrones espaciales y temporales de gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO), en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024.

- La variabilidad espacial y temporal de los contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno está relacionada con factores geográficos, estacionales y actividades humanas, periodo julio 2018 a junio 2024.
- Los puntos críticos y períodos de mayores concentraciones de contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno se correlacionan con factores estacionales, geográficos y actividades humanas, periodo julio 2018 a junio 2024.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El estudio de la concentración de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno utilizando imágenes Sentinel-5P en la plataforma GEE. Durante julio 2018 a junio 2024 es de gran relevancia debido a múltiples factores. En primer lugar, la contaminación del aire es un problema crítico que afecta la salud humana y el medio ambiente. Según la OMS, la exposición a contaminantes del aire está vinculada a diversas enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como a un aumento en la mortalidad prematura (WHO, 2018). Este estudio proporcionará datos cruciales sobre los niveles de estos contaminantes en una región específica, permitiendo la formulación de políticas públicas más efectivas para mitigar estos impactos.

Además, la utilización de tecnologías avanzadas como las imágenes satelitales de Sentinel-5P y la plataforma GEE ofrece una metodología eficiente y precisa para el monitoreo ambiental. Estos datos satelitales proporcionan una cobertura temporal y espacial amplia, permitiendo el análisis detallado de las tendencias de contaminación a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas (Romero, 2016). Este enfoque no solo es innovador, sino también escalable y aplicable a otras regiones con condiciones similares, aportando al avance del conocimiento científico y técnico en el campo del monitoreo ambiental.

2.5.1. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Desde una perspectiva ambiental, el monitoreo de los gases contaminantes es esencial para comprender y gestionar la calidad del aire en la región Puno. La acumulación de gases como el SO_2 y el NO_2 puede tener efectos devastadores en los ecosistemas

locales, incluyendo la acidificación del suelo y cuerpos de agua, que afecta negativamente la biodiversidad (Abelsohn & Stieb, 2011). Asimismo, el CO y el CH₄ contribuyen al calentamiento global y al cambio climático, exacerbando problemas como el derretimiento de glaciares y cambios en los patrones climáticos que afectan a la agricultura y los recursos hídricos (Pachauri et al., 2014).

Por otro lado, el HCHO es un COV que contribuye a la formación de O₃ troposférico, un contaminante secundario que tiene efectos adversos sobre la salud humana y la vegetación (Araya-Araya et al., 2023). La identificación de zonas con altas concentraciones de estos contaminantes permitirá la implementación de medidas de mitigación específicas y la protección de áreas sensibles.

En resumen, este proyecto no solo busca aportar al conocimiento científico sobre la distribución y tendencias de los contaminantes atmosféricos, sino también proporcionar información valiosa para la formulación de políticas ambientales y de salud pública. La integración de tecnologías de teledetección y análisis de datos espaciales ofrece una herramienta poderosa para enfrentar los desafíos ambientales de la región Puno, contribuyendo a la sostenibilidad y bienestar de sus habitantes y ecosistemas.

2.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En la práctica, los datos de Sentinel-5P son vitales para una variedad de aplicaciones, incluyendo la gestión de la calidad de aire urbano y rural, el seguimiento de emisiones antropogénicas y naturales, y la evaluación del impacto de las medidas de mitigación. La información proporcionada por Sentinel-5P ayuda a los responsables políticos y a las autoridades sanitarias a tomar decisiones informadas para proteger la salud pública y promover un desarrollo sostenible.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La región de Puno está ubicada al extremo sur este de Perú, cuenta con una extensión territorial de 71999,0 km² (6,0% del territorio nacional) siendo el quinto departamento más extenso en el ámbito nacional después de Loreto, Ucayali, Madre de Dios y Cuzco. Limita por el norte con la región de Madre de Dios, por el este con el país de Bolivia, por el sur con la región de Tacna y el país de Bolivia, y por el oeste con las regiones de Moquegua, Arequipa y Cusco.

El territorio puneño comprende 43886,36 km² de sierra 61% y 23101,86 km² de zona selva 32,1%, 14.5km² de superficie insular 0.02%, y 4996,28 km² correspondiente a la parte peruana del lago titicaca, la región abarca un perímetro fronterizo de 1108 km², que representa el 11.0% de la línea de frontera del Perú (INEI, 2024).

La región está subdividida en 13 provincias y 110 distritos. Tiene un clima característico que varía según la altitud y la temporada, la temperatura media anual observada en Puno es de 8.4°C, los veranos son cálidos mientras que los inviernos son fríos (Carrillo, 2018).

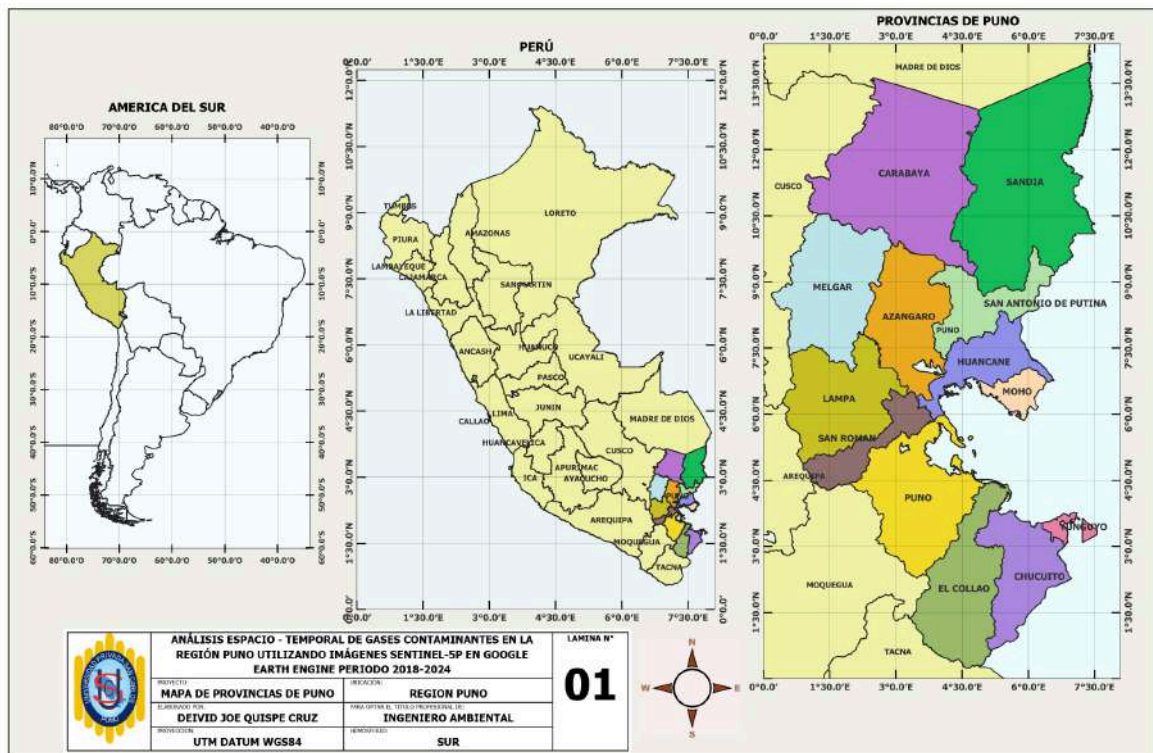


Figura 01: Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población y la muestra para la presente investigación es la Región Puno que tiene una extensión territorial 71999,0 km², periodo julio 2018 a junio 2024.

3.2.2. MUESTRA

El tipo de muestra en la presente investigación **no es probabilístico**

Incluirá las mediciones de gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO) obtenidas de las imágenes del satélite Sentinel-5P en la plataforma GEE, tomadas mensualmente en las 13 provincias de la región Puno durante el periodo julio 2018 a junio 2024.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación en el presente estudio es **descriptivo** Univariable.

Según Hernández Sampieri et al. (2014) refiere que en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investiga.

3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Hernández Sampieri et al. (2014) indica que la investigación no experimental es un parteaguas de un gran número de estudios cuantitativos, además en este tipo de estudios las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

Por lo antes expuesto que la presente investigación es **no experimental**.

3.3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Objetivo Específico 1: Recopilar datos satelitales específicos de gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO) en la región Puno, utilizando imágenes del satélite Sentinel-5P en la plataforma GEE, periodo julio 2018 a junio 2024.

Para el cumplimiento del primer objetivo específico se procederá de la siguiente manera:

- **Selección de la Plataforma y Herramientas:** Utilizar GEE como plataforma para la recopilación y análisis de datos satelitales y familiarización con el entorno de GEE y sus funciones para trabajar con datos del Sentinel-5P.
- **Identificación y Acceso a los Datos Satelitales:** Acceder al catálogo de GEE y seleccionar los datasets del Sentinel-5P que contienen información sobre los gases contaminantes de interés (SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO). Verificar la disponibilidad de los datos para el período julio 2018 a junio 2024.
- **Filtrado y Pre-procesamiento de Datos:** Filtrar los datos por las fechas específicas de interés (julio 2018 a junio 2024). Aplicar máscaras para eliminar datos no válidos, como áreas con alta nubosidad o valores atípicos. Reproyectar los datos a un sistema de coordenadas adecuado para la región Puno.

- **Definición de la región de estudio:** Delimitar la región Puno utilizando coordenadas geográficas, shapefiles o polígonos que representan las 13 provincias. Verificar que la delimitación esté correctamente ajustada en el entorno de GEE.
- **Extracción de variables específicas:** Definir las variables de interés para cada gas contaminante: concentraciones promedio mensuales. Implementar scripts en GEE para calcular estas variables dentro de la región de estudio y para el período de tiempo especificado.
- **Visualización y Exportación de Datos:** Crear mapas y gráficos en GEE para visualizar la distribución espacial y temporal de los gases contaminantes. Exportar los datos procesados y visualizaciones a formatos adecuados (CSV, GeoTIFF, PNG) para su posterior análisis.
- **Verificación y Validación de los Datos:** Revisar la consistencia y calidad de los datos exportados. Comparar los datos obtenidos con fuentes secundarias o datos in situ si están disponibles para validar la exactitud.

Objetivo específico 2: "Analizar patrones espaciales y tendencias temporales de los contaminantes en la región Puno para comprender su variabilidad a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas, período julio 2018 a junio 2024."

Metodología para el Cumplimiento del Segundo Objetivo Específico

A. Preprocesamiento de Datos:

- **Agregación Temporal:** Después de obtener los datos de concentraciones de gases en formato raster de Sentinel-5P, se trasladaron a QGIS para generar mapas anuales de cada contaminante (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO) en la región Puno. Se calcularon valores promedios anuales y, en la medida de lo posible, valores mensuales, organizando los datos en series temporales.
- **Filtrado Espacial:** Las áreas de estudio fueron delimitadas por provincias dentro de la región Puno para facilitar el análisis espacial. En QGIS, se trabajó con los mapas generados para observar la distribución espacial de las concentraciones de contaminantes.

B. Análisis de Tendencias Temporales:

- **Series de Tiempo:** Los datos obtenidos fueron organizados en Excel y exportados a RStudio para realizar un análisis de series temporales, identificando tendencias a largo plazo y patrones estacionales.
- **Pruebas de Tendencias:** Se aplicó la prueba de Mann-Kendall en RStudio para evaluar la significancia de las tendencias temporales observadas. Esto permitió clasificar las tendencias como TSC, TSD, TNSC, y TNSD según el valor del Z estadístico.

C. Análisis de Patrones Espaciales:

- **Mapas de Concentración:** Utilizando QGIS, se crearon mapas temáticos anuales que muestran la distribución espacial de los contaminantes.
- **Comparación y Contraste entre Diferentes Zonas y Períodos:** Se compararon las concentraciones promedio de los gases entre las diferentes provincias y entre distintos años para identificar variaciones significativas. Se utilizaron gráficos para visualizar estas variaciones.

D. Interpretación y Validación:

- **Interpretación de Resultados:** Los resultados de los análisis espaciales y temporales fueron interpretados para identificar las posibles fuentes de emisión y las condiciones atmosféricas que influyen en la distribución de los contaminantes.
- **Validación:** Los resultados fueron comparados con estudios previos o datos secundarios. La inclusión de SPSS se consideraría para realizar análisis estadísticos adicionales.

Objetivo específico 3: Identificar puntos críticos y períodos con mayores concentraciones de contaminantes (SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO) en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024,"

Metodología para el cumplimiento del Tercer Objetivo Específico

A. Identificación de Períodos Críticos:

- **Análisis de Series Temporales:** Se realizará un análisis de series temporales de las concentraciones mensuales de cada gas contaminante. A través de gráficos mensuales generados en Excel, se identificarán los períodos con picos significativos o concentraciones anormalmente altas. Este enfoque permitirá detectar visualmente las tendencias y patrones temporales de cada contaminante.
- **Métodos estadísticos de detección de cambios:** Se utilizará la interpretación de los gráficos de series temporales como base para la identificación de cambios significativos en las concentraciones de contaminantes a lo largo del tiempo.

B. Análisis Espacial de Puntos Críticos:

- **Identificación de zonas críticas:** Dado que el análisis principal se centra en los gráficos temporales, se utilizarán los resultados de los gráficos de series temporales para identificar meses y áreas de interés que presenten las mayores concentraciones de contaminantes.

C. Validación y Verificación:

- **Interpretación de Resultados:** Se realizarán interpretaciones cualitativas de los resultados obtenidos, comparando las concentraciones detectadas con estudios previos. Esto permitirá contextualizar los picos y anomalías dentro del marco de referencia regional y global, validando la relevancia de los hallazgos.
- **Comparación con Estudios Previos:** Los resultados obtenidos se comparan con investigaciones anteriores y registros históricos disponibles para la región Puno, a fin de corroborar y validar las concentraciones críticas identificadas en el período de estudio.

3.3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS TROPOMI SENTINEL-5P EN GEE.

La metodología aplicada para la generación de datos de los contaminantes se ha considerado las características de los datos del sensor TROPOMI Sentinel-5P.

Tabla 01: Disponibilidad de datos de satélite Sentinel-5P sensor TROPOMI.

CONTAMINANTE	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Monóxido de carbono CO	Disponibilidad de datos	de 22 de noviembre del 2018 hasta 30 junio de 2024
	Proveedor de datos	unión Europea, Agencia Espacial Europea (ESA) y Copernicus
	GEE Snippet	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_CO")
	Banda	CO_column_number_density
	Unidad	$mollm^2$
Dióxido de nitrógeno NO₂	Disponibilidad de datos	de 10 de julio del 2018 hasta 30 junio de 2024
	Proveedor de datos	unión Europea, Agencia Espacial Europea (ESA) y Copernicus
	GEE Snippet	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2")
	Banda	NO2_column_number_density
	Unidad	$mollm^2$
Dióxido de azufre SO₂	Disponibilidad de datos	de 10 de julio del 2018 hasta 30 junio de 2024
	Proveedor de datos	unión europea, Agencia Espacial Europea (ESA) y Copernicus
	GEE Snippet	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_SO2")
	Banda	SO2_column_number_density
	Unidad	$mollm^2$
Metano CH₄	Disponibilidad de datos	de 08 de febrero del 2019 hasta 30 mayo de 2024
	Proveedor de datos	unión europea, Agencia Espacial Europea (ESA) y Copernicus

	GEE Snippet	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/O FFL/L3_SO2")
	Banda	SO2_column_number_density
	Unidad	ppb
	Disponibilidad datos	de 02 de Octubre del 2018 hasta 30 junio de 2024
	Proveedor de datos	unión Europea, Agencia Espacial Europea (ESA) y Copernicus
Formaldehído		
HCHO	GEE Snippet	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/N RTI/L3_HCHO")
	Banda	tropospheric_HCHO_column_number_den sity
	Unidad	mol/m^2

Fuente: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>.

Se aplicarán algoritmos en JavaScript dentro de la plataforma GEE para obtener la información de los gases contaminantes.

3.3.5. PROGRAMAS UTILIZADOS

Los programas que se utilizaran en este estudio referido a concentración de los gases contaminantes, debido a sus características y potenciales que presentan cada uno de ellos, se enumeran a continuación

Tabla 02: Programas o Plataforma y Acciones

Programa plataforma	o Acciones
GEE	Herramienta poderosa y versátil para el análisis y gestión de datos geoespaciales a gran escala, facilitando el trabajo de investigadores y profesionales en diversas disciplinas.
QGIS	Herramienta geoespacial utilizada para visualizar mapas, manejar datos raster y realizar análisis espaciales de concentraciones de contaminantes.
RStudio	Para los cálculos estadísticos de los datos, correlaciones y gráficos de comportamiento de los contaminantes en el tiempo
javaScript	Se utilizó en GEE para escribir scripts para extraer y visualizar datos satelitales y generar mapas para su análisis.
Excel	Se utilizó para organizar datos, crear gráficos y resumir estadísticas de series de tiempo.
SPSS	Software estadístico avanzado utilizado para realizar correlaciones, y otras pruebas estadísticas complejas.

3.4. OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 03: Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador/definición operativa	Escala de medición	Categoría/Valores
Univariable Concentración de gases contaminantes (CO, NO ₂ , SO ₂ , CH ₄ y HCHO)	Contaminante	Promedios mensuales de CO de las 13 provincias	Razón	μmol/m ²
		Promedios mensuales de NO ₂ de las 13 provincias		μmol/m ²
		Promedios mensuales de SO ₂ de las 13 provincias		μmol/m ²
		Promedios mensuales de CH ₄ de las 13 provincias		ppb
		Promedios mensuales de HCHO de las 13 provincias		μmol/m ²

3.5. MÉTODO ESTADÍSTICO

El análisis estadístico desempeña un papel fundamental en la interpretación de los datos ambientales, permitiendo identificar tendencias, patrones estacionales y variabilidad espacial en las concentraciones de gases contaminantes. En este estudio, se han aplicado varias técnicas estadísticas para analizar los datos obtenidos de las imágenes Sentinel-5P, enfocándose en el análisis espacio-temporal de los contaminantes SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO en la región Puno. período julio 2018 a junio 2024.

Los métodos estadísticos seleccionados permiten evaluar tanto la significancia de las tendencias observadas como la relación espacial entre diferentes áreas de estudio, proporcionando una comprensión más completa del comportamiento de estos contaminantes en la región.

A. Pruebas de Normalidad de los datos.

De acuerdo a los resultados del Anexo 15, se ha determinado que los datos no tienen una distribución Normal, por lo que se utilizarán estadísticos para medidas no paramétricas como son:

- Test de Mann-Kendall.
- Correlación de Spearman.

B. Test de Tendencia de Mann-Kendall

El test de Mann-Kendall es una prueba no paramétrica utilizada para detectar la presencia de una tendencia monótona (Mann, 1945) (ya sea ascendente o descendente) en una serie temporal. Este test es particularmente útil en estudios ambientales donde los datos pueden no seguir una distribución normal o pueden contener valores atípicos.

En este estudio, se utilizó el test de Mann-Kendall para analizar las tendencias en las concentraciones de los cinco contaminantes en las 13 provincias de la región Puno. Los valores de concentración anual promedio fueron organizados en Excel y luego analizados en RStudio. Se calculó el estadístico Z para cada contaminante, y se interpretaron los resultados para determinar si las tendencias observadas eran estadísticamente significativas.

Tabla 04: Descripción de la significancia del test de Mann - Kendall.

SIGNIFICANCIA	SIMBOLOGÍA	Z
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	> +1.96
Tendencia significativa decreciente	TSD	< - 1.96
Tendencia no significativa creciente	TNSC	< +1.96
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	> - 1.96

Fuente: (Alves et al., 2015)

C. CORRELACIÓN DE SPEARMAN.

La valoración de Spearman es una medida no paramétrica que evalúa la relación entre dos variables ordinales o continuas. Se utiliza para determinar la fuerza y dirección de una asociación monótona (es decir, si una variable tiende a aumentar cuando la otra lo hace, o si una tiende a disminuir mientras la otra aumenta). A diferencia de la evaluación de Pearson, no asume que los datos signifiquen una distribución normal ni que la relación entre las variables sea lineal.

El coeficiente de calificación de Spearman, representado como rho (ρ), se calcula a partir de los rangos de los datos y varía entre -1 (correlación perfectamente negativa) y 1 (correlación perfectamente positiva), con 0 indicando que no existe compensación (Hernández Sampieri et al., 2014).

Tabla 05: Descripción de la significancia del Coeficiente de Spearman.

RELACIÓN	RANGO
Correlación negativa perfecta	-0.91 a -1.00
Correlación negativa muy fuerte	-0.76 a -0.90
Correlación negativa considerable	-0.51 a -0.75
Correlación negativa media	-0.11 a -0.50
Correlación negativa débil	-0.01 a -0.10
No existe correlación	0.00
Correlación positiva débil	+0.01 a +0.10
Correlación positiva media	+0.11 a +0.50
Correlación positiva considerable	+0.51 a +0.75
Correlación positiva muy fuerte	+0.76 a +0.90
Correlación positiva perfecta	+0.91 a +1.00

Fuente: (Hernández Sampieri et al., 2014).

Análisis de Patrones Espaciales Para entender la distribución espacial de los contaminantes en la región Puno, se utilizaron mapas temáticos de manera anual generados en el software QGIS de los contaminantes SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO evaluados.

Análisis Comparativo Se realizaron comparaciones entre las diferentes provincias y años utilizando gráficos de serie de tiempo y espacial para identificar diferencias

significativas en las concentraciones promedio de contaminantes. Este análisis permitió resaltar las provincias que presentan los mayores niveles de contaminación y las diferencias entre años y estaciones.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados del análisis espacio-temporal de gases contaminantes en la región Puno, período julio 2018 a junio 2024, utilizando imágenes del satélite Sentinel-5P. Los resultados se organizan de acuerdo con los objetivos planteados en la investigación y se muestran mediante tablas y figuras que contienen los valores mensuales y anuales de concentración de gases como SO₂, NO₂, CO, CH₄ y HCHO. Se destacan las observaciones más relevantes, como la identificación de puntos críticos y períodos con altas concentraciones en cada provincia de la región Puno.

Asimismo, se realiza la contrastación de hipótesis, la cual evidencia la evaluación entre la variación de los gases contaminantes con factores geográficos, estacionales y actividades humanas, como el tráfico vehicular y la densidad poblacional. Para ello, se presentan los resultados de los análisis estadísticos, como el test de Mann-Kendall, que permiten evaluar las tendencias espaciales y temporales de los contaminantes. Finalmente, se discuten los resultados obtenidos en relación con investigaciones previas y normativas de calidad ambiental, resaltando su importancia para la gestión ambiental en la región Puno.

4.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS POR OBJETIVOS

4.1.1. CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (NO₂, SO₂, CH₄, HCHO Y CO).

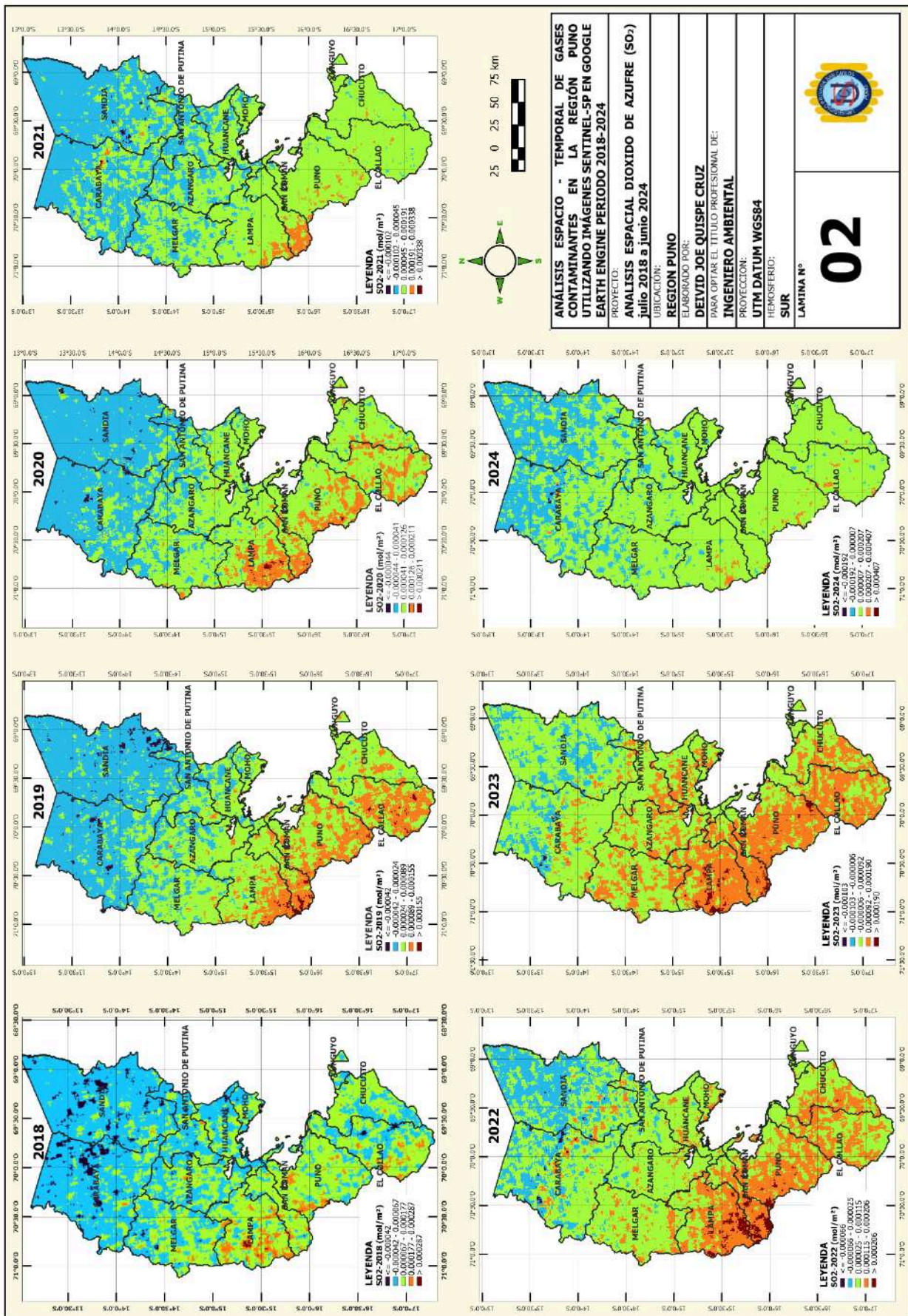


Figura 02: Mapa de variación espacial y variación anual de SO₂ en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.

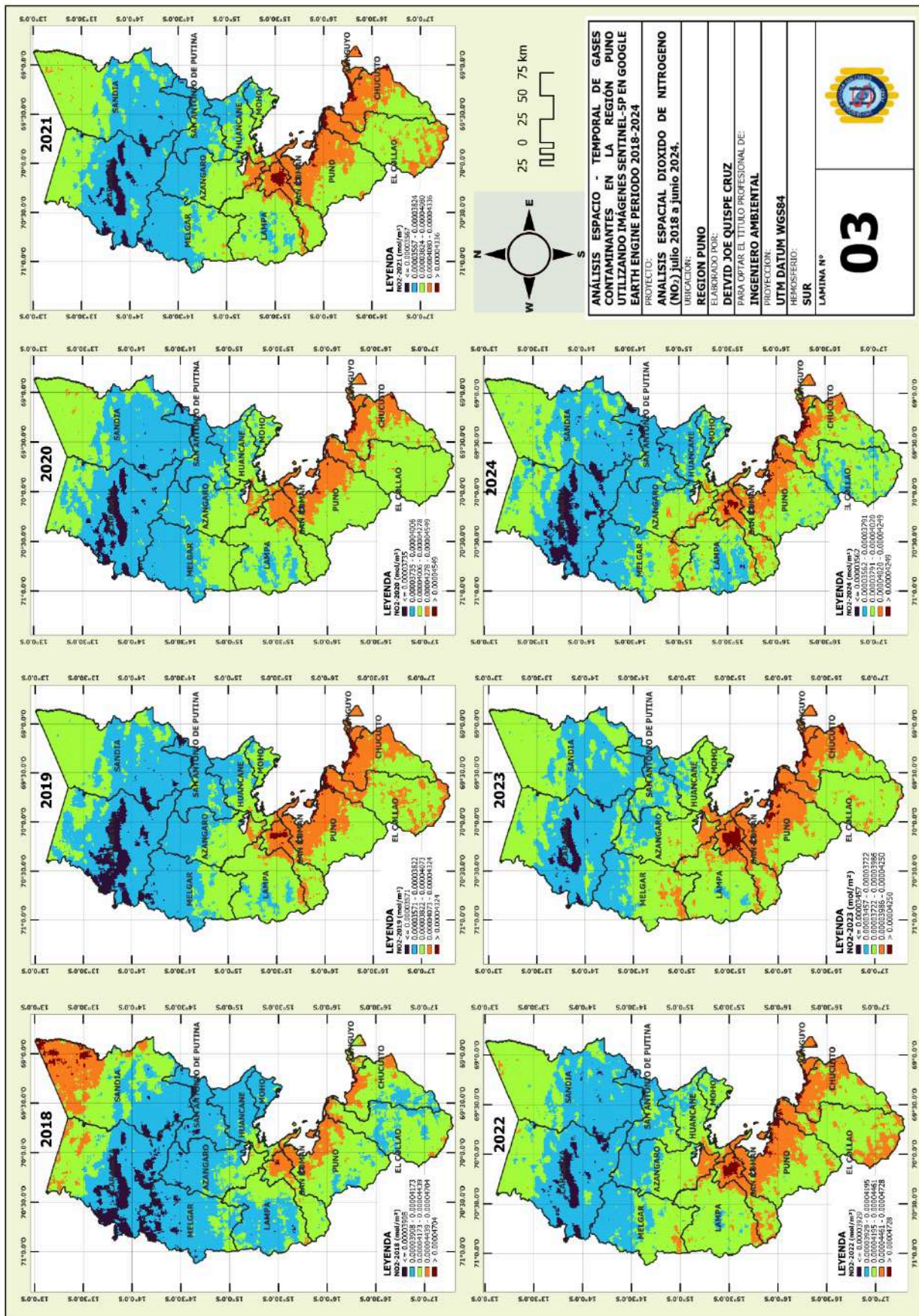


Figura 03: Mapa de variación espacial y variación anual de NO₂ en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.

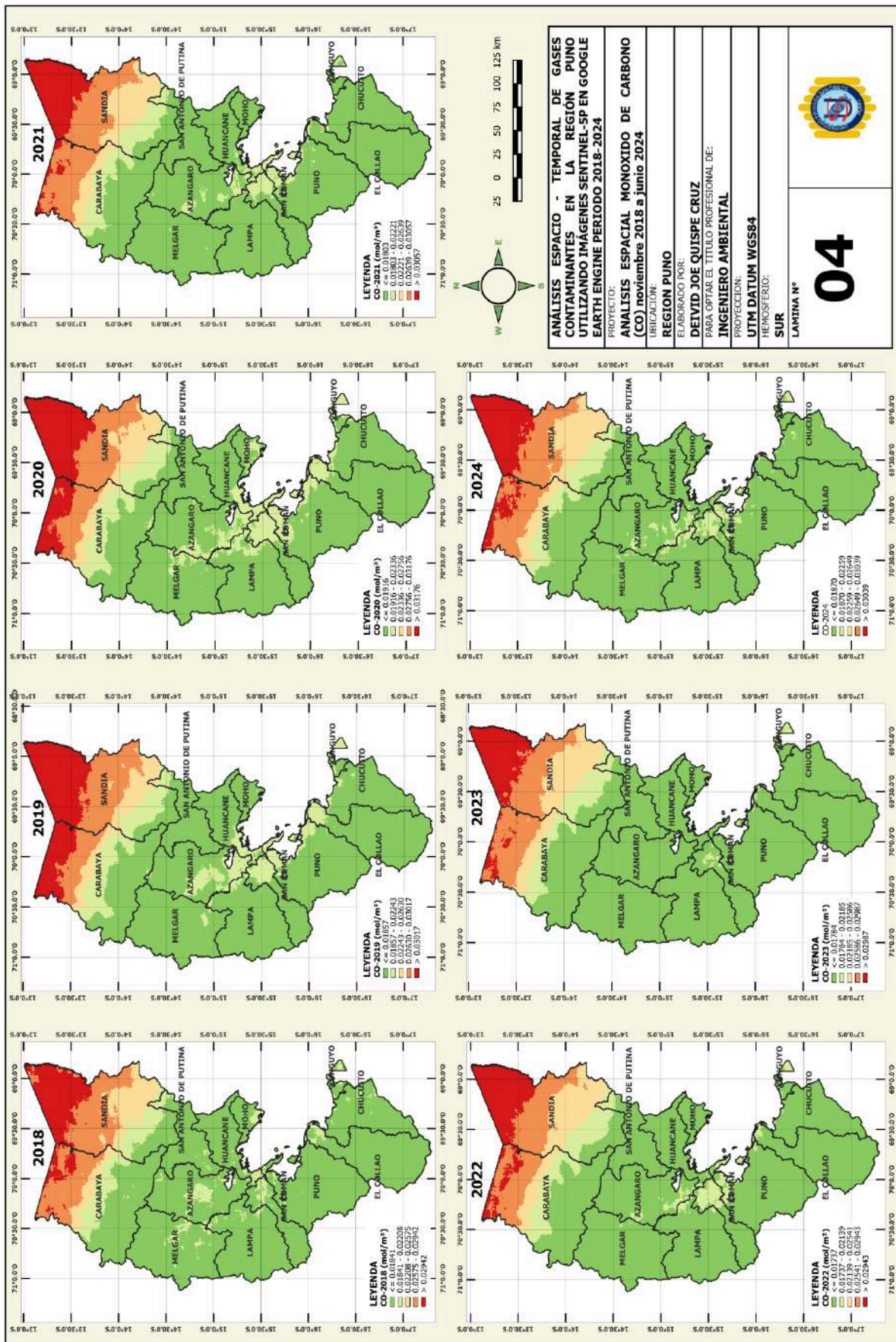


Figura 04: Mapa de variación espacial y variación anual de CO en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.

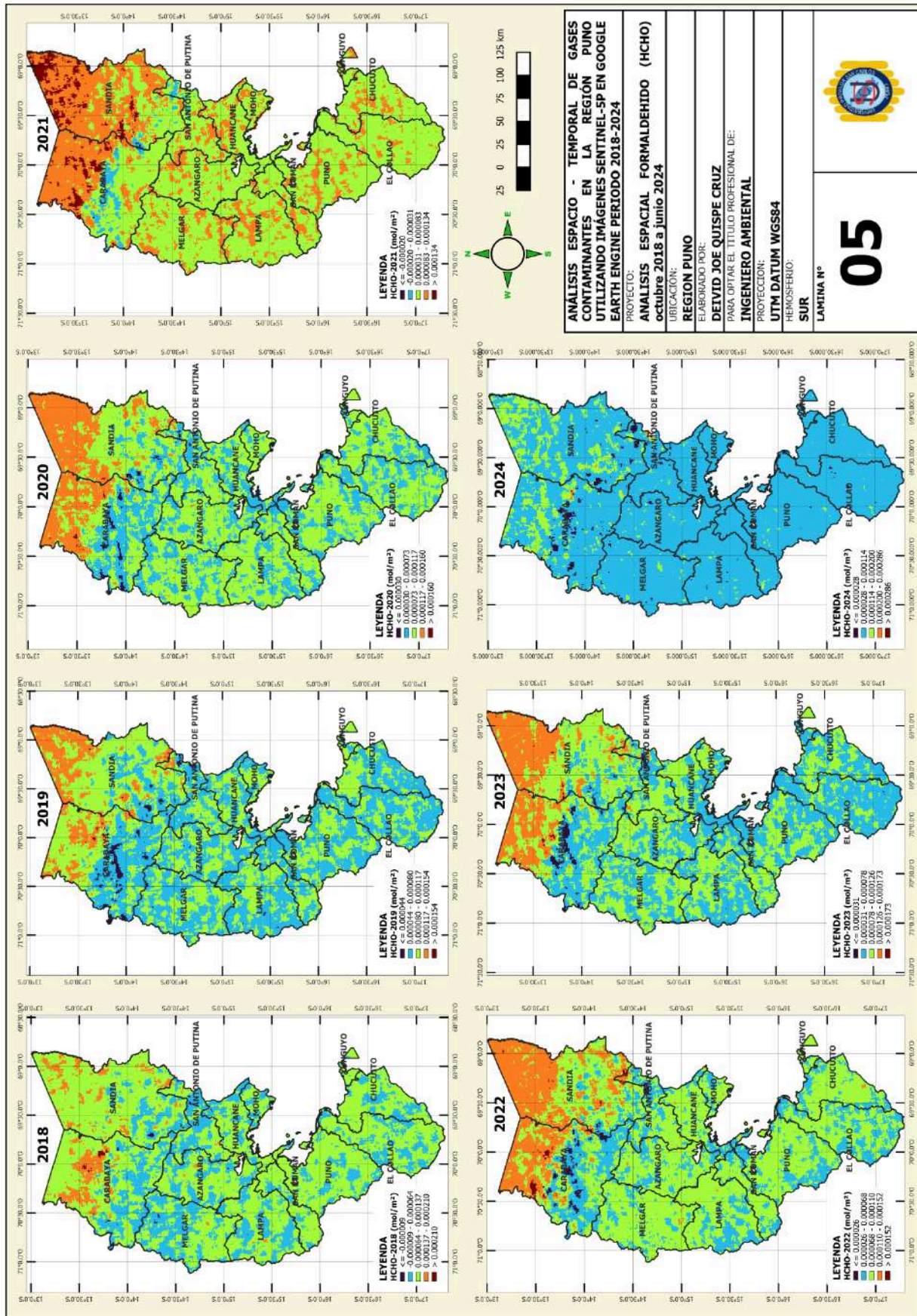


Figura 05: Mapa de variación espacial y variación anual de HCHO en los años 2018, 2019, 2020, 2023 y 2024.

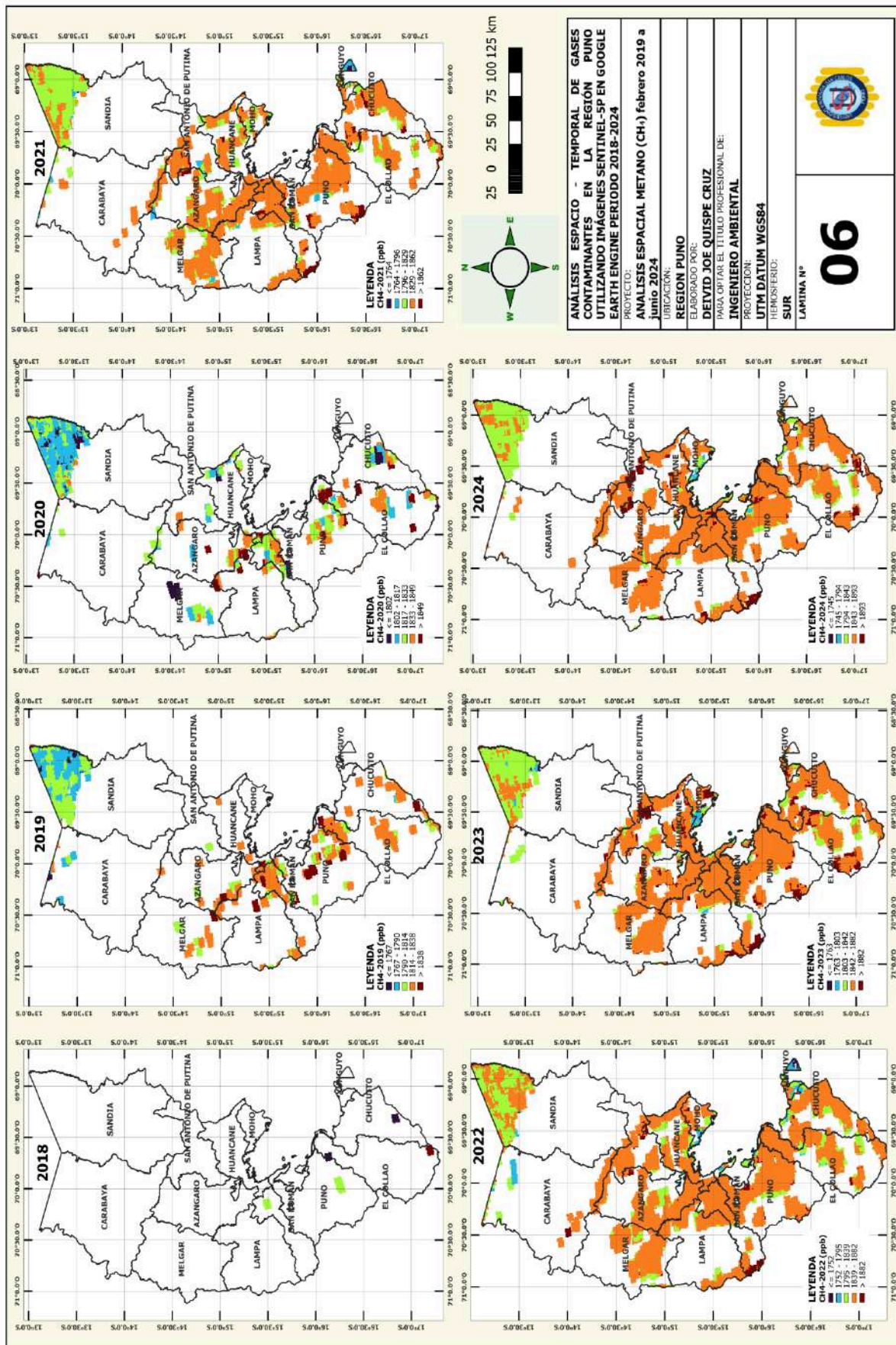


Figura 06: Mapa de variación espacial y variación anual de CH₄ en los años 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.

4.1.2. ANÁLISIS DE PATRONES ESPACIALES Y TENDENCIAS TEMPORALES DE LOS CONTAMINANTES (NO₂, SO₂, CH₄, HCHO Y CO).

I. ANÁLISIS PARA CONTAMINANTE SO₂.

Interpretación de Variación Espacial y Temporal.

- El **análisis espacial** de las concentraciones de SO₂ entre octubre 2018 a junio 2024, como se observa en la Figura 02, muestra que las provincias de Lampa, San Román, Puno, Yunguyo y El Collao, presentan un incremento notable en la concentración del contaminante para los años 2019 y 2020, estas provincias ya exhiben zonas con coloraciones anaranjadas, indicativas de concentraciones moderadas a altas, especialmente en áreas urbanas. Sin embargo, para los años 2022 y 2023, las coloraciones naranjas y rojas aumentaron significativamente, coincidiendo con áreas de mayor densidad poblacional. Según (INEI, 2022), San Román, con una DP 155.02 hab/km² y una PT de 356090 hab. Así también, Yunguyo con una DP 125,03 hab/km² y una PT 35825 hab, mostraron niveles más altos, sobre todo en la zona sur de las provincias, mientras que Lampa, Puno también presentaron un aumento notable en las concentraciones de SO₂, debido a que el parque automotor incrementó un 18% desde el año 2018 hasta 2024 según (MTC, 2024).

En contraste, las provincias ubicadas en el norte de la región, como Sandia, Carabaya, Melgar, Azángaro, San Antonio de Putina, Huancané y Moho, presentaron concentraciones considerablemente más bajas, con coloraciones verde, celeste y azul, lo que indica niveles bajos de contaminación. Estas provincias, en su mayoría ubicadas en zonas de ceja de selva y selva, como Sandia y Carabaya, parecen estar menos afectadas por el SO₂, debido a su menor densidad poblacional y las características geográficas que favorecen la dispersión de los contaminantes (Arpi Quilca, et al., 2023).

- A **nivel temporal**, las concentraciones más altas de SO₂ se observaron consistentemente entre los meses de mayo a julio de acuerdo a la Figura 07 durante todo el período evaluado, lo que sugiere que las condiciones climáticas, como la

disminución de las precipitaciones y la menor circulación de aire, juegan un papel clave en la acumulación del contaminante en estas zonas.

- **Tendencia Test Mann-Kendall:** El análisis de Mann-Kendall para SO₂ como se muestra en la Tabla 05, revela tendencias variadas en las 13 provincias de Puno. Presentaron tendencia no significativa decreciente TNSD (Puno, San Roman, Chucuito y Melgar), en tanto presentaron tendencia no significativa creciente TNSC (Yunguyo, El Collao, Azángaro, Lampa, Huancané, Moho, Carabaya, Sandia y San Antonio de Putina). Estos resultados, indican que las variaciones en las concentraciones de SO₂ no son estadísticamente relevantes en la mayoría de las provincias, lo que concuerda con estudios previos que indican la complejidad de identificar tendencias significativas en regiones con condiciones ambientales variables.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al comparar los resultados de este estudio con investigaciones previas, se observa una tendencia coherente en las concentraciones de SO₂ en diferentes regiones del Perú y otras áreas. (Bayona, 2022) reporta picos de SO₂ en la región de Ayacucho, con concentraciones máximas en mayo y octubre, donde el valor más alto alcanzó 0.00046759 mol/m², sugiriendo variaciones estacionales en esta región. De manera similar, (Solís, 2023) detectó concentraciones de SO₂ en Apurímac que oscilan entre 0.000015 y 0.000161 mol/m² para los años 2020 y 2021, observándose niveles más altos en provincias con mayor densidad poblacional. Esto sugiere una correlación entre la actividad humana y la emisión de SO₂.

Por otro lado, el estudio de Jodhani et al. (2024) en Gujarat, India, encontró que las concentraciones de SO₂ variaron entre 4×10^{-5} y 2.8×10^{-3} mol/m², con los valores más altos en las regiones central y sur, que incluyen áreas urbanas densamente pobladas como Ahmedabad y Vadodara. En contraste, las áreas rurales presentaron menores concentraciones. Esto refuerza la correlación observada en los estudios peruanos, donde la urbanización y la actividad humana parecen influir directamente en los niveles de SO₂.

En conjunto, estos estudios subrayan un patrón común: las áreas más urbanizadas y densamente pobladas tienden a registrar concentraciones más altas de SO_2 , independientemente de la región geográfica. Asimismo, se observan fluctuaciones estacionales que pueden estar vinculadas a factores climáticos y actividades humanas. Estos resultados respaldan la necesidad de implementar estrategias de mitigación en zonas urbanas para reducir las emisiones de SO_2 y proteger la salud pública.

Finalmente, además de las fuentes antropogénicas, es relevante destacar la influencia de las fuentes naturales, como los volcanes y océanos, que pueden contribuir hasta un 30% de las emisiones globales de SO_2 mientras que el 70% restante proviene de actividades humanas (UNEP, 2021b).

Tabla 06: Resultados del Test Mann-Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para SO₂ periodo octubre 2018 a junio 2024.

ANÁLISIS DE TENDENCIA PARA SO₂				
PROVINCIA	ESTADÍSTICO	CALCULO Z	TIPO DE TENDENCIA	TENDENCIA
				$\alpha = 0.05$
PUNO	MEAN	-0.067334	NEGATIVO	TNSD
SAN ROMAN	MEAN	-0.072516	NEGATIVO	TNSD
YUNGUYO	MEAN	0.051796	POSITIVO	TNSC
CHUCUITO	MEAN	-0.051796	NEGATIVO	TNSD
EL COLLAO	MEAN	0.041437	POSITIVO	TNSC
AZANGARO	MEAN	0.87017	POSITIVO	TNSC
LAMPA	MEAN	0.046617	POSITIVO	TNSC
HUANCANE	MEAN	0.85462	POSITIVO	TNSC
MOHO	MEAN	0.3781	POSITIVO	TNSC
MELGAR	MEAN	-0.036257	NEGATIVO	TNSD
CARABAYA	MEAN	1.1396	POSITIVO	TNSC
SANDIA	MEAN	1.0411	POSITIVO	TNSC
SAN ANTONIO DE PUTINA	MEAN	1.4918	POSITIVO	TNSC

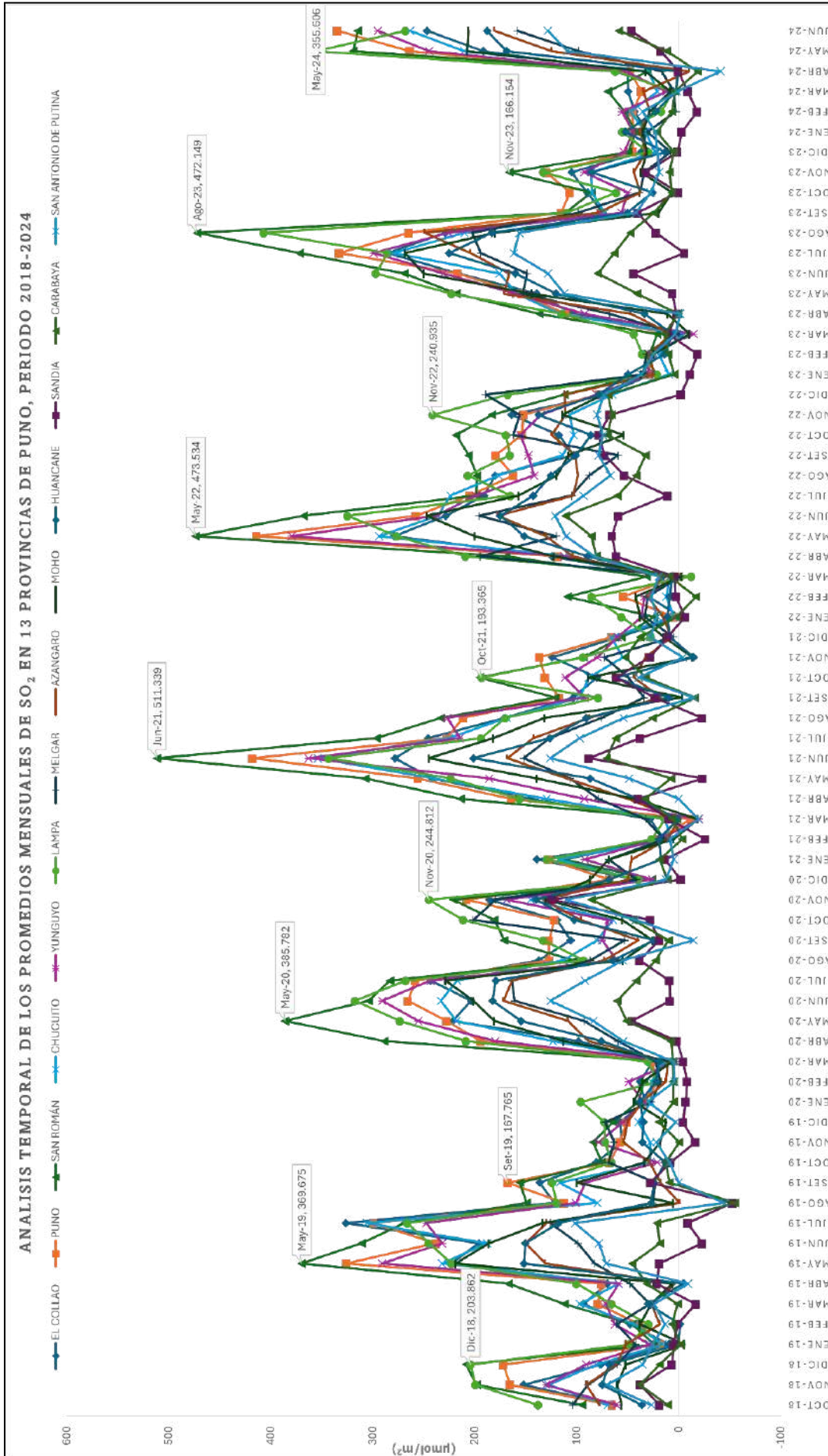


Figura 07: Serie de tiempo para SO₂ periodo octubre 2018 a junio 2024

II. ANÁLISIS PARA CONTAMINANTE NO₂.

Interpretación de Variación Espacial y Temporal.

- El **análisis espacial** de las concentraciones de NO₂, representado en la Figura 03, en la región Puno durante julio de 2018 y junio de 2024. Las provincias de San Román, Puno, El Collao, Chucuito y Yunguyo, que bordean el lago Titicaca y comprenden zonas urbanas y de tránsito principal (MTC, 2024), presentan las concentraciones más elevadas de NO₂. Estas áreas muestran colores predominantes de anaranjado y rojo, particularmente en San Román, donde el aumento ha sido más notorio durante el período evaluado. Este incremento coincide con las zonas de mayor densidad poblacional, como San Román con DP 155.02 hab/km², Yunguyo con DP 125.03 hab/km², y Puno DP con 19.52 hab/km² (INEI, 2022), lo que sugiere que la urbanización juega un papel crucial en la contaminación por NO₂.

Otro factor relevante es el aumento del tráfico vehicular. Según datos del MTC (2024), el parque automotor en la región Puno ha experimentado un crecimiento del 18% entre 2018 y 2024, lo que ha contribuido significativamente a las concentraciones más altas de NO₂, especialmente a lo largo de la carretera Panamericana Sur, que conecta Puno y Desaguadero. Esta vía es una de las principales rutas de transporte en la región, lo que refuerza una relación entre el tráfico vehicular y las elevadas concentraciones de NO₂.

En contraste, las provincias del norte de Puno, como Sandia, Carabaya, Melgar, Azángaro, San Antonio de Putina, Huancané y Moho, muestran concentraciones considerablemente más bajas, representadas por colores celeste, verde y azul en los mapas. Estas provincias se encuentran en áreas de ceja de selva y selva, con menor densidad poblacional y menos actividad vehicular. Carabaya en particular presenta los valores más bajos de NO₂ a lo largo de todo el período evaluado.

- A **nivel temporal**, las concentraciones más altas de NO₂ se observaron consistentemente entre los meses de julio a diciembre de acuerdo a la Figura 08, durante el período evaluado, lo que sugiere que las condiciones climáticas, como la

disminución de las precipitaciones y la menor circulación de aire, juegan un papel clave en la acumulación del contaminante en estas zonas.

- **Tendencia Test Mann-Kendall:** El test de Mann-Kendall aplicado a los datos de NO₂ Tabla 06, muestra varias provincias con tendencias significativas. tendencia no significativa decreciente TNSD (Yunguyo, Chucuito, El Collao, Carabaya y Sandia), así mismo (San Román, Azángaro, Lampa, Huancané, Moho, Melgar y San Antonio de Putina) presentaron Tendencia no Significativa Creciente TNSC, y solo la provincia de Puno Sin Tendencia ST.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los estudios revisados también muestran patrones similares de variabilidad en diferentes regiones, destacando la influencia tanto de factores antropogénicos como de fuentes naturales. (Bayona, 2022) en su análisis de la región de Ayacucho durante 2019 reporta picos de concentración en meses de mayor tráfico vehicular, asociados al crecimiento poblacional y la urbanización, con valores de NO₂ particularmente elevados en zonas urbanas. (Jodhani et al., 2024) en su estudio en Gujarat, India, observan concentraciones máximas en las regiones más densamente pobladas e industrializadas, con valores que varían entre 1.2×10^{-4} mol/m² y 2.1×10^{-3} mol/m². Mientras tanto, (Solís, 2023) en Apurímac detectó que las concentraciones de NO₂ fluctuaban entre 0.000017 y 0.000182 mol/m², siendo más altas en provincias con intensa actividad agrícola y vehicular.

Estos estudios revelan una tendencia clara que vincula las concentraciones de NO₂ con la actividad humana, especialmente en zonas con tráfico vehicular, urbanización y procesos industriales. Sin embargo, también se debe considerar el aporte de fuentes naturales. Según estudios realizados por entidades como la OMS y el PNUMA, una parte significativa del NO₂ puede provenir de fuentes naturales como incendios forestales y la actividad microbiana en suelos, aunque estas contribuciones suelen ser inferiores a las de las fuentes antropogénicas, representando aproximadamente entre un 10 % y 20% del total global de NO₂.

Así, los resultados de estos estudios confirman que el NO_2 en las regiones evaluadas está estrechamente relacionado con la actividad humana, particularmente en áreas urbanas y con alta densidad poblacional. Sin embargo, el impacto de las fuentes naturales, aunque menor en proporción, también es relevante en ciertas circunstancias, como incendios forestales o suelos fértiles, lo que añade complejidad a la gestión de la calidad del aire en estas zonas. Esto subraya la necesidad de políticas de mitigación que aborden tanto las fuentes urbanas como los eventos naturales que contribuyen a la variabilidad en las concentraciones de NO_2 .

Tabla 07: Resultados del Test Mann-Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para NO₂ periodo octubre 2018 a junio 2024.

ANÁLISIS DE TENDENCIA PARA NO₂				
PROVINCIA	ESTADÍSTICO	CALCULO Z	TIPO DE TENDENCIA	TENDENCIA
				$\alpha = 0.05$
PUNO	MEAN	0		ST
SAN ROMAN	MEAN	0.27709	POSITIVO	TNSC
YUNGUYO	MEAN	-0.17014	NEGATIVO	TNSD
CHUCUITO	MEAN	-0.053474	NEGATIVO	TNSD
EL COLLAO	MEAN	-0.12639	NEGATIVO	TNSD
AZANGARO	MEAN	0.49099	POSITIVO	TNSC
LAMPA	MEAN	0.1507	POSITIVO	TNSC
HUANCANE	MEAN	0.11181	POSITIVO	TNSC
MOHO	MEAN	0.1507	POSITIVO	TNSC
MELGAR	MEAN	0.841	POSITIVO	TNSC
CARABAYA	MEAN	-0.063196	NEGATIVO	TNSD
SANDIA	MEAN	-0.27709	NEGATIVO	TNSD
SAN ANTONIO DE PUTINA	MEAN	0.21876	POSITIVO	TNSC

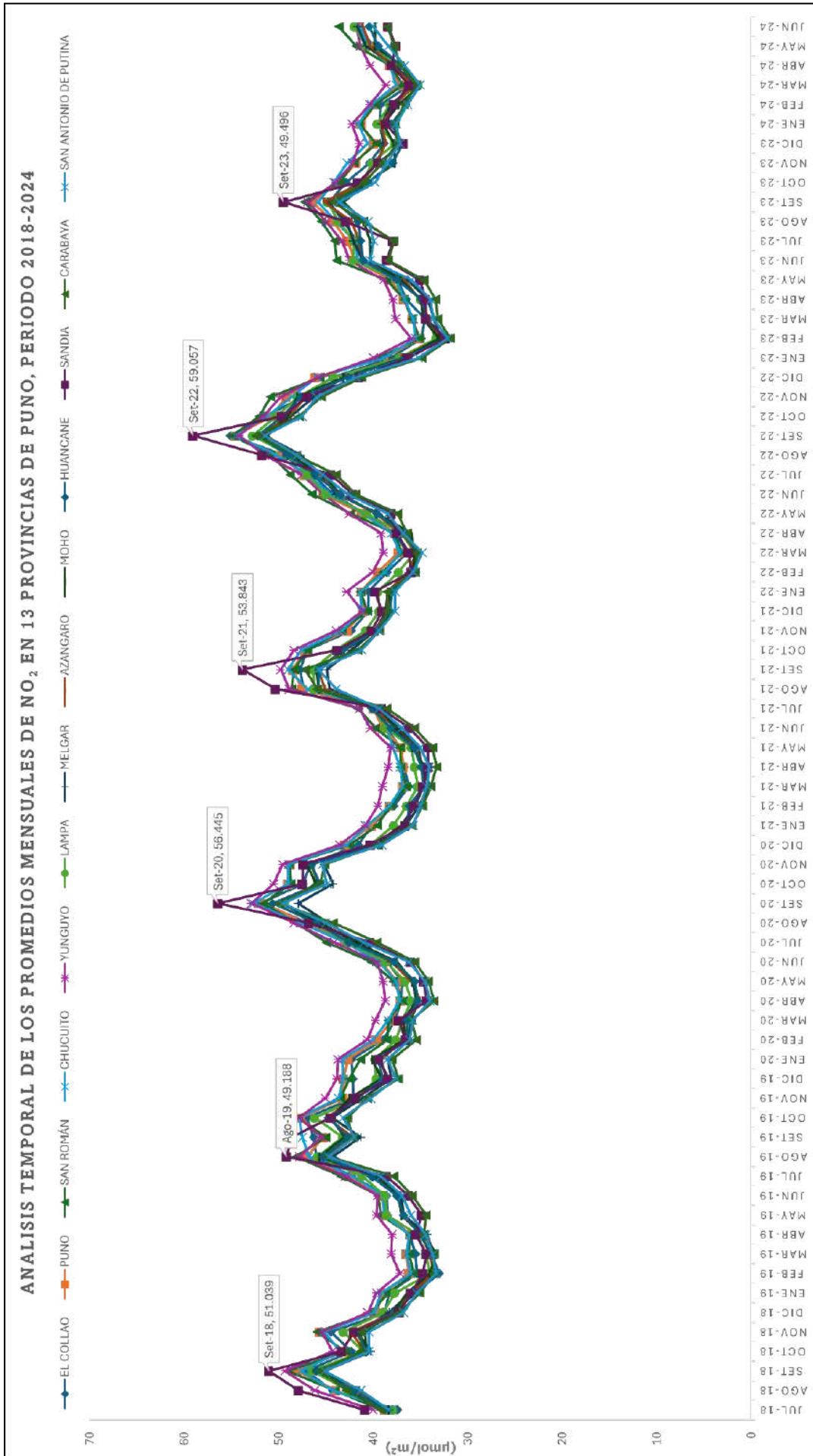


Figura 08: Serie de tiempo para NO₂ periodo julio 2018 a junio 2024.

III. ANÁLISIS PARA CONTAMINANTE CO.

Interpretación de Variación Espacial y Temporal.

- El **análisis espacial** de las concentraciones de CO, presentado en la Figura 04, revela una distribución diferenciada a lo largo de la región Puno entre noviembre de 2018 y junio de 2024. Las provincias de Sandía y Carabaya, situadas en el norte de la región y en zonas de selva, muestran concentraciones notablemente más altas de CO, representadas por colores anaranjado y rojo en los mapas, estas provincias experimentaron un incremento significativo en las concentraciones de este contaminante.

En contraste, las otras 11 provincias de la región Puno muestran concentraciones mucho más bajas de CO, representadas por una coloración verde en los mapas, lo que indica valores menores y una situación más estable. Estas provincias, situadas mayormente en zonas altoandinas, presentan un ambiente menos propenso a la liberación de CO debido a la menor presencia de actividad forestal intensa y la ausencia de grandes procesos de quema o deforestación.

- **Tendencia Test Mann-Kendall:** La prueba de Mann-Kendall (Tabla 07), revela que 12 de las 13 provincias de Puno muestran una tendencia decreciente no significativa en las concentraciones de CO, lo que significa que, si bien las concentraciones parecen estar disminuyendo, los cambios no son estadísticamente concluyentes. Sin embargo, una provincia exhibe una tendencia decreciente significativa, lo que indica una reducción confiable en los niveles de CO durante el período de evaluación de 2018 a 2024.
- A **nivel temporal**, las concentraciones más altas de CO se observaron consistentemente entre los meses de septiembre y octubre de acuerdo a la Figura 09, durante todo el período evaluado, lo que sugiere que las condiciones climáticas, como la disminución de las precipitaciones y la menor circulación de aire, juegan un papel clave en la acumulación del contaminante en estas zonas.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los estudios revisados ofrecen una visión variada de la situación en diferentes regiones. (Jodhani et al., 2024) reportan que las concentraciones de CO en Gujarat oscilan entre 0.030 y 0.040 mol/m², con niveles más altos en áreas urbanas como Ahmedabad, Vadodara y Surat, donde las actividades industriales y el tráfico vehicular son predominantes. En contraste, los hallazgos de (Bayona, 2022) en Ayacucho para el año 2019 revelan una concentración máxima de 0.0298071 mol/m² en marzo, con un mínimo de 0.0161 mol/m² en junio, indicando una estacionalidad en la calidad del aire.

Por otro lado, Solís (2023) estudió la región de Apurímac durante el periodo 2018-2021 y detectó concentraciones de CO que varían entre 0.0207 y 0.0251 mol/m², siendo las más altas en la provincia de Abancay. También reportó que en 2019, las concentraciones aumentaron a un rango de 0.0236 a 0.0284 mol/m², mientras que en los años siguientes se observaron disminuciones graduales. Este fenómeno de aumento en 2019 podría estar asociado con la vasta extensión de áreas forestales en las provincias, ya que, según (Ledesma et al., 2021), los bosques jóvenes liberan CO durante procesos de regeneración o debido a cambios en el uso del suelo, como la deforestación y la quema de biomasa, actividades comunes en estas regiones.

En conjunto, estos estudios evidencian que las concentraciones de CO están fuertemente influenciadas por la actividad humana, especialmente en zonas urbanas, pero también están sujetas a la variabilidad natural de los ecosistemas forestales. Las prácticas de manejo de tierras en regiones como Sandia y Carabaya, donde se producen cambios significativos en el uso de la tierra, pueden contribuir a las emisiones de CO, lo que subraya la importancia de implementar políticas adecuadas para mitigar estas emisiones y preservar la calidad del aire en estas áreas.

Tabla 08: Resultados del Test Mann - Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para CO, periodo octubre 2018 a junio 2024.

ANÁLISIS DE TENDENCIA PARA CO				
PROVINCIA	ESTADÍSTICO	CALCULO Z	TIPO DE TENDENCIA	TENDENCIA
				$\alpha = 0.05$
PUNO	MEAN	-1.4133	NEGATIVO	TNSD
SAN ROMAN	MEAN	-1.4133	NEGATIVO	TNSD
YUNGUYO	MEAN	-2.652	NEGATIVO	TSD
CHUCUITO	MEAN	-1.6462	NEGATIVO	TNSD
EL COLLAO	MEAN	-1.5404	NEGATIVO	TNSD
AZANGARO	MEAN	-1.6992	NEGATIVO	TNSD
LAMPA	MEAN	-1.5404	NEGATIVO	TNSD
HUANCANE	MEAN	-1.678	NEGATIVO	TNSD
MOHO	MEAN	-1.5721	NEGATIVO	TNSD
MELGAR	MEAN	-1.6462	NEGATIVO	TNSD
CARABAYA	MEAN	-1.3604	NEGATIVO	TNSD
SANDIA	MEAN	-0.97928	NEGATIVO	TNSD
SAN ANTONIO DE PUTINA	MEAN	-1.5721	NEGATIVO	TNSD

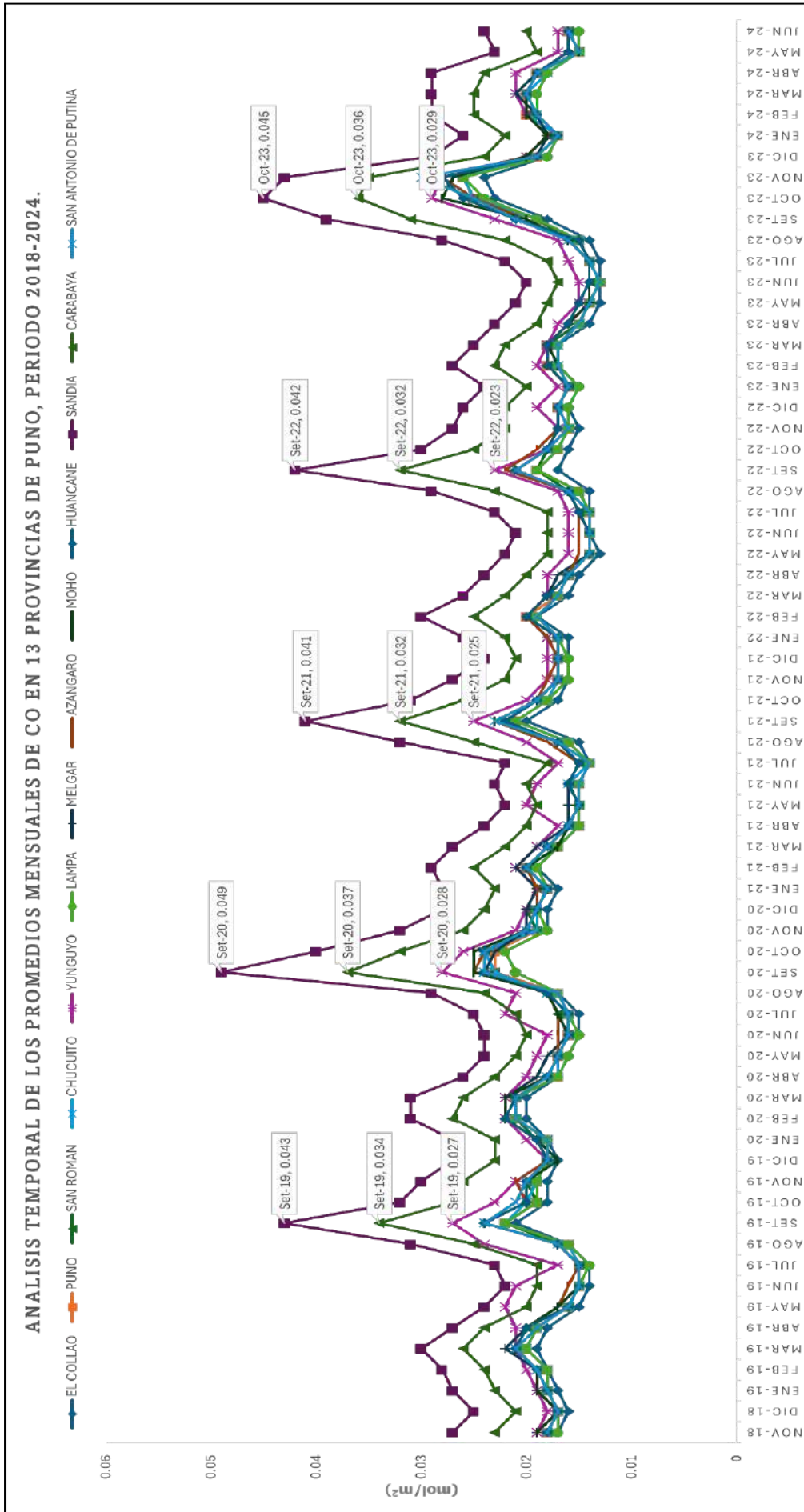


Figura 09: Serie de Tiempo para CO, periodo octubre 2018 a junio 2024.

IV.RESULTADOS PARA CONTAMINANTE HCHO.

Interpretación de Variación Espacial y Temporal.

- El análisis espacial de las concentraciones de HCHO, representado en la Figura 05, muestra que las provincias de Sandia y Carabaya, ubicadas en la zona norte de la región Puno, presentan las concentraciones más altas de HCHO durante el periodo evaluado de octubre de 2018 a junio de 2024. Estas áreas están marcadas por coloraciones anaranjadas y rojas, lo que indica un incremento significativo de este contaminante en comparación con el resto de la región.

En contraste, las otras **11 provincias** de la región Puno presentan concentraciones mucho más bajas de HCHO, reflejadas por una coloración **verde** en los mapas, lo que indica niveles más estables de este gas. Estas provincias están mayormente ubicadas en zonas altoandinas, con menor cobertura forestal y menor actividad industrial o agrícola intensiva, lo que explica las bajas concentraciones de HCHO.

- **Tendencia Test Mann-Kendall:** El test de Mann-Kendall aplicado a los datos de HCHO Tabla 08 revela tendencias variadas. En general, se observa una tendencia fluctuante en las concentraciones promedio de HCHO en la mayoría de las provincias. presentaron tendencia no significativa decreciente TNSD (Puno, Yunguyo, El Collao y Sandia), presentaron tendencia no significativa creciente TNSC (San Román, Chucuito, Azángaro, Lampa, Huancané, Moho, Melgar, Carabaya y San Antonio de Putina).
- En **nivel temporal**, las concentraciones más elevadas de HCHO se registraron de manera constante entre los meses de agosto y diciembre, destacando septiembre como el mes con las concentraciones más altas, tal como se muestra en la Figura 10. Durante este período, las condiciones climáticas, como la disminución de las precipitaciones y la menor circulación del aire, parecen desempeñar un papel clave en la acumulación de este contaminante en las zonas evaluadas, como se detalla en la Tabla 26.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Los estudios realizados en diferentes partes del mundo revelan importantes patrones de concentración, lo que permite comparar los resultados obtenidos en Puno con otras regiones. (Jodhani et al., 2024) identifican que en Gujarat, las concentraciones de HCHO varían entre 2×10^{-5} y $2,8 \times 10^{-3}$ mol/m², con las concentraciones más bajas registradas en el norte y oeste, mientras que las más altas se encuentran en el centro y sur del estado, en áreas urbanizadas como Ahmedabad y Vadodara. Esto indica un vínculo directo entre las actividades humanas, como la urbanización y las emisiones industriales, con mayores concentraciones de HCHO.

De manera similar, estudios realizados en América del Norte y Europa muestran patrones comparables. En áreas urbanas de los Estados Unidos, (Li et al., 2024) detectaron concentraciones elevadas de HCHO en ciudades industriales, reflejando el impacto de las actividades humanas. En Europa, también resaltó que el HCHO está presente en altas concentraciones en áreas industriales, particularmente en países del este del continente, donde las industrias pesadas y el tráfico vehicular son fuentes clave.

En Asia, particularmente en China, Xia et al. (2024) encontraron concentraciones elevadas de HCHO en grandes áreas metropolitanas, lo que también está relacionado con el aumento de la industrialización y el tráfico en estas áreas.

Tabla 09: Resultados del Test Mann - Kendall aplicado para detección de tendencia por provincia para HCHO, periodo octubre 2018 a junio 2024.

ANÁLISIS DE TENDENCIA PARA HCHO				
PROVINCIA	ESTADÍSTICO	CALCULO Z	TIPO DE TENDENCIA	TENDENCIA
				$\alpha = 0.05$
PUNO	MEAN	-0.17092	NEGATIVO	TNSD
SAN ROMAN	MEAN	0.29523	POSITIVO	TNSC
YUNGUYO	MEAN	-0.10877	NEGATIVO	TNSD
CHUCUITO	MEAN	0.088052	POSITIVO	TNSC
EL COLLAO	MEAN	-0.53349	NEGATIVO	TNSD
AZANGARO	MEAN	0.81318	POSITIVO	TNSC
LAMPA	MEAN	0.24344	POSITIVO	TNSC
HUANCANE	MEAN	0.28487	POSITIVO	TNSC
MOHO	MEAN	0.72446	POSITIVO	TNSC
MELGAR	MEAN	0.75103	POSITIVO	TNSC
CARABAYA	MEAN	0.75103	POSITIVO	TNSC
SANDIA	MEAN	0.71995	POSITIVO	TNSD
SAN ANTONIO DE PUTINA	MEAN	0.55421	POSITIVO	TNSC

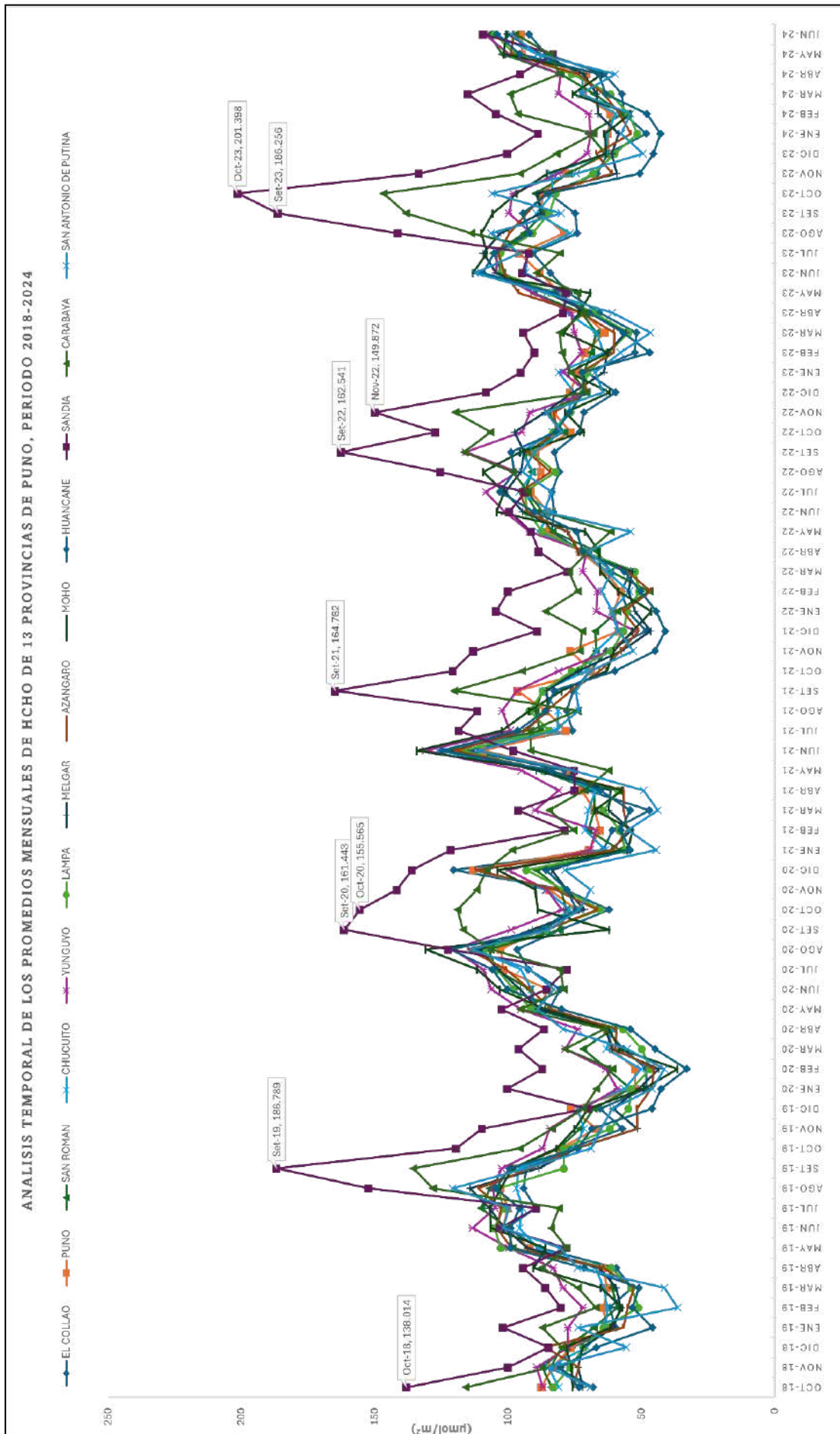


Figura 10: Serie de tiempo para HCHO, periodo octubre 2018 a junio 2024.

V.RESULTADOS PARA CONTAMINANTE CH₄.

Interpretación de variables espaciales y temporales

- El análisis espacial de las concentraciones de CH₄, presentado en la Figura 06, revela que entre febrero de 2019 y junio de 2020, las provincias de San Román, Puno, El Collao, Chucuito y Yunguyo, ubicadas en las zonas que bordean el lago Titicaca, mostraron una presencia dispersa de concentraciones de CH₄, con coloraciones anaranjadas y rojas. Sin embargo, a partir del año 2021 hasta 2024, el sensor TROPOMI detecta un aumento significativo de CH₄ en una mayor extensión de territorio, abarcando también las provincias de Melgar, Azángaro, Huancané, Moho, Lampa, San Román, Puno, El Collao, Chucuito y Yunguyo.

Por otro lado, las provincias en la zona norte de Puno, como Sandía y Carabaya, muestran coloraciones celestes, verdes y azules, lo que indica concentraciones más bajas de CH₄. En estas áreas, que pertenecen a la ceja de selva y selva, las condiciones naturales de la vegetación densa y la menor actividad industrial pueden estar limitando las emisiones de este gas. Carabaya, en particular, presenta valores considerablemente bajos, lo que refuerza esta hipótesis.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Este aumento en las concentraciones coincide principalmente con zonas agrícolas y áreas de mayor densidad poblacional. Según el (INEI, 2022), San Román DP de 155.02 hab/km², Puno DP de 19.52 hab/km² y Yunguyo DP de 125.03 hab/km² presentan las mayores densidades, lo que sugiere que la actividad agrícola y la densidad poblacional podrían estar contribuyendo a este incremento. Además, según (MTC, 2024), el parque automotor en la región Puno ha crecido un 18% entre 2018 y 2024, lo que también podría estar relacionado con la mayor concentración de CH₄, especialmente en áreas urbanas.

Además, según la Dirección Regional Agraria de Puno, registradas en datos de (INEI, 2024) la superficie sembrada en estas provincias varía considerablemente. Es así, como Azángaro reporta un 8% de incremento en la superficie agrícola, mientras que San

Antonio de Putina y Moho muestran disminuciones de 9% y 6%, respectivamente, lo que podría explicar en parte las variaciones en las concentraciones de CH₄ observadas.

Por su parte Jodhani et al. (2024) observaron que en la región central y sur de Gujarat, en ciudades como Ahmedabad, Vadodara, y Surat, los niveles de CH₄ alcanzaron valores máximos entre 1920 y 1960 ppb, mientras que las concentraciones más bajas, entre 1800 y 1920 ppb, se detectaron en ciudades del norte como Patan y Kutch. Este comportamiento indica una fuerte relación entre la densidad poblacional y las actividades industriales, que son fuentes importantes de emisiones de CH₄.

En América del Norte, UNEP (2021a) reportó que las principales fuentes de CH₄ en los Estados Unidos provienen de las actividades agrícolas, los vertederos y la producción de combustibles fósiles. Las concentraciones más altas se registran cerca de grandes áreas metropolitanas e instalaciones industriales, lo que coincide con los patrones observados en otras regiones del mundo.

Además, las emisiones de CH₄ también están influenciadas por fuentes naturales. Según (UNEP, 2022), aproximadamente el 40% de las emisiones de CH₄ a nivel mundial provienen de fuentes naturales, como los humedales, los cuales emiten CH₄ debido a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. En regiones como las provincias de Sandía y Carabaya en Puno, donde abundan humedales y áreas boscosas, estas fuentes naturales pueden desempeñar un papel importante en los niveles de CH₄.

En resumen, los resultados observados en el estudio de Jodhani et al. (2024) sobre CH₄ muestran similitudes con estudios realizados en otras regiones del mundo, donde las concentraciones más altas de metano están asociadas con áreas urbanizadas y fuentes industriales. Sin embargo, es importante destacar que las fuentes naturales también juegan un papel relevante, especialmente en regiones con ecosistemas como los humedales.

Tabla 10: Concentración periódica de CH₄

CONCENTRACIÓN DE CH₄ (ppb)						
PROVINCIA	2019	2020	2021	2022	2023	2024
AZANGARO	1811	1819	1837	1856	1863	1874
CARABAYA	1810	1828	1844	1856	1862	1879
CHUCUITO	1815	1809	1841	1852	1861	1871
EL COLLAO	1813	1822	1838	1852	1861	1868
HUANCANE	1812	1809	1833	1852	1868	1877
LAMPA	1814	1829	1839	1855	1860	1873
MELGAR	1814	1808	1840	1857	1866	1875
PUNO	1813	1817	1842	1857	1866	1873
SAN ANTONIO DE PUTINA	1800	1813	1837	1860	1863	1877
SAN ROMAN	1814	1814	1847	1865	1869	1881
SANDIA	1812	1836	1858	1868	1860	1868
YUNGUYO	1808		1831	1818	1837	1820
MOHO		1817	1836	1850	1847	1850

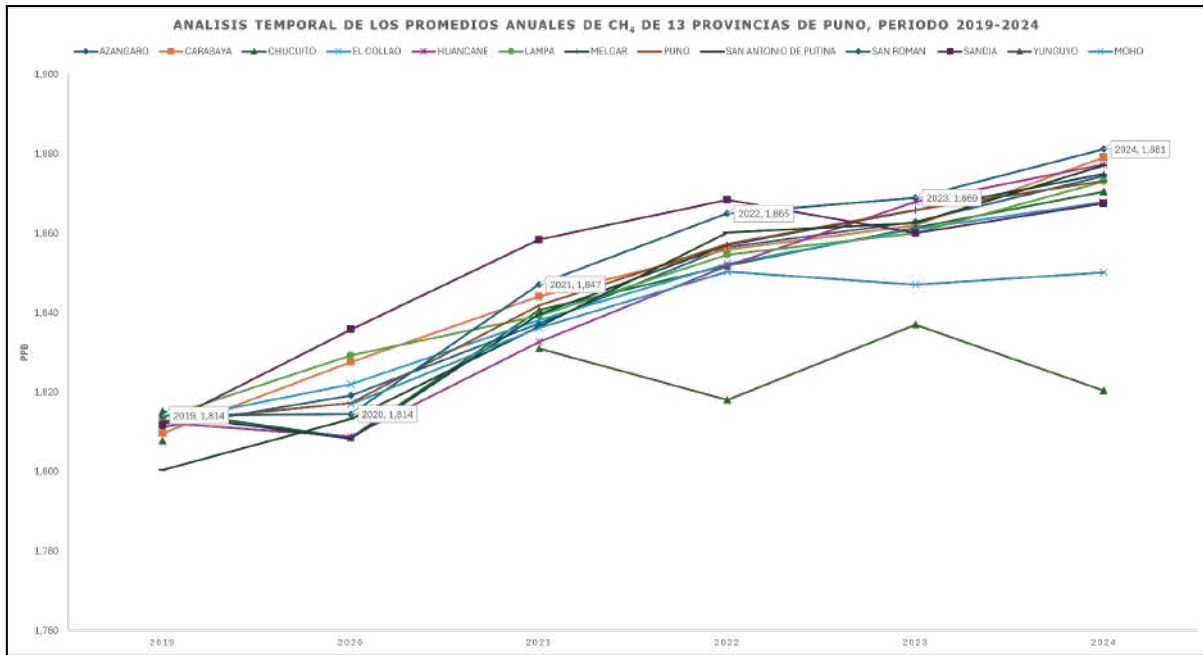


Figura 11: Serie de tiempo para CH₄ periodo febrero 2019 a junio 2024.

4.1.3. IDENTIFICAR PUNTOS CRÍTICOS Y PERÍODOS CON MAYORES CONCENTRACIONES.

A. RESULTADO PARA CONTAMINANTE SO₂

- Picos Estacionales y meses con mayores concentraciones de SO₂:** En la región Puno, se identificaron picos significativos de SO₂ entre mayo, junio y julio durante el periodo evaluado, con valores más altos en provincias como Puno, San Román, Yunguyo y Lampa ver (Figura 07). Estos picos coinciden con la estación seca y están asociados a la quema de biomasa y actividades agrícolas. Los niveles en estas provincias varían entre 417.682 y -11.809 μmol/m² (Puno), 511.339 y 1.333 μmol/m² (San Román), 379.365 y -20.031 μmol/m² (Yunguyo) y 406.622 y -12.61 μmol/m² (Lampa). La correlación de Spearman muestra una fuerte relación negativa muy fuerte de -0.834 Puno, San Román considerable de -0.742, Yunguyo muy fuerte de -0.782, -0.714 considerable en Lampa, ver (Tabla 11) y Anexo (16, 17, 18, 19 y 20) indicando que la disminución de precipitaciones durante la estación seca contribuye a mayores concentraciones de SO₂. Estos resultados son consistentes con estudios anteriores que observan patrones estacionales similares (Bayona, 2022; Lopez Fernandez, 2010).
- Meses con menores concentraciones de SO₂:** Los meses con menores concentraciones de SO₂ son de diciembre a marzo, durante la temporada de lluvias. La Figura 03 y la correlación de Spearman muestran una fuerte relación negativa entre Temperatura mínima y concentraciones de SO₂, con valores de -0.800 CN Muy Fuerte en Puno (Tabla 11), -0.664 CP Considerable en San Román y -0.610 CN Considerable en Yunguyo y -0.811 CN Muy Fuerte en Lampa ver Anexo (21, 22 y 23). Esto sugiere que las lluvias facilitan la dispersión y menores concentraciones de SO₂ del aire (García G et al., 2013). En provincias como Sandia y Carabaya, los valores de SO₂ oscilan entre 124.183 y -55.268 μmol/m², y entre 124.183 y -55.268 μmol/m², respectivamente. Las temperaturas mínimas también tienen una CN más débil con

-0.427 en Sandia y -0.415 en Carabaya, sugiriendo que temperaturas más bajas contribuyen a concentraciones menores de SO₂ (Gutiérrez, 2021).

Tabla 11: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con precipitación en la provincia de Puno.

Correlaciones		
		PUNO.SO2
Rho de Spearman	Prec.CP Puno	-.834
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	41

Tabla 12: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Puno.

Correlaciones		
		PUNO.SO2
Rho de Spearman	TMin. CP Puno	-.800
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	46

B. RESULTADOS PARA EL CONTAMINANTE NO₂

- **Picos Estacionales de NO₂:** Se identificaron picos significativos de NO₂ entre julio a diciembre de 2018 a 2023 con valores altos en las provincias de Sandia 59.057 a 32.383 µmol/m², El Collao 55.1 a 34.541 µmol/m², Puno 54.611 a 35.11 µmol/m², San Román 54.899 a 35.105 µmol/m², Yunguyo 54.208 a 35.983 µmol/m² y Chucuito

54.503 a 35.531 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Estas provincias bordean el Lago Titicaca, y según los datos obtenidos en QGIS, las concentraciones más altas se encuentran a lo largo de la carretera Panamericana, que conecta San Roman, Puno con Desaguadero, una vía de alta circulación vehicular. Además, La correlación de Spearman revela una relación considerable positiva entre las concentraciones de NO_2 y las precipitaciones en Sandia (0.656) ver Tabla 13, así como con la temperatura mínima (0.679) Tabla 14. En Yunguyo, se registran coeficientes positivos considerable de 0.548 y 0.541 para precipitaciones y temperatura mínima, respectivamente ver Anexo (24 y 25). las temperatura máximas también también presentan correlación (0.737) Tabla 15. Asimismo, el (INEI, 2022) señala que las áreas urbanas con mayor densidad poblacional se encuentran precisamente en estas provincias, lo que podría influir en las altas concentraciones. Este comportamiento es consistente con estudios como los de (Bayona, 2022; García G et al., 2013), quienes observaron patrones estacionales y la influencia de factores urbanos en el aumento de NO_2 . **Meses con Menores Concentraciones:** Las menores concentraciones de NO_2 se registran entre enero a junio, coincidiendo con la temporada de lluvias, lo que sugiere que las precipitaciones contribuyen a la dispersión de contaminantes. Este comportamiento ha sido observado en estudios como el de Lopez Fernandez (2010), quienes destacan la influencia de factores meteorológicos en la reducción de NO_2 durante las estaciones húmedas en regiones andinas.

Tabla 13: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO₂ con Precipitación en la provincia de Sandia.

Correlaciones		
		SANDIA.NO2
Rho de Spearman	Prec.CO Sandia	.656
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	46

Tabla 14: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Sandia.

Correlaciones		
		SANDIA.NO2
Rho de Spearman	TMín.CO Sandia	.679
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	66

Tabla 15: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO₂ con Temperatura Máxima en la provincia de Sandia.

Correlaciones		
		YUNGUYO.NO2
Rho de Spearman	TMax.CO Yunguyo	.737
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	52

C. RESULTADOS PARA CONTAMINANTE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

- **Picos Estacionales de CO:** En la Figura 09 se observan picos significativos de CO en las provincias de Sandia y Carabaya, con concentraciones que varían entre 0.049 a 0.020mol/m² en Sandia, y entre 0.037 a 0.017mol/m² en Carabaya, especialmente en los meses de septiembre y octubre, este resultado es coherente con el de Hernandez Romero et al. (2004) concentraciones altas en invierno. Además, el coeficiente de correlación es negativa -0.452 con las precipitaciones (Tabla 16). Las imágenes obtenidas en QGIS también revelan la ubicación de estas concentraciones en áreas de mayor actividad agrícola, lo que podría explicar la variabilidad estacional del CO.

A diferencia de Sandia y Carabaya, el resto de las provincias no presenta concentraciones significativas de CO. Sin embargo, Yunguyo, una provincia en la zona sur de Puno, mostró una tendencia significativa decreciente según el test de Mann-Kendall, mientras que en las demás provincias las tendencias decrecientes no fueron estadísticamente significativas. Este comportamiento sugiere que Yunguyo podría estar implementando medidas de control o cambios en el uso del suelo que han logrado reducir las emisiones de CO de manera efectiva.

- **Meses con menores concentraciones:** Durante los meses restantes del año, las concentraciones de CO no son tan elevadas, lo que refuerza la estacionalidad de las emisiones. Este patrón también se ha observado en estudios realizados por autores como González et al. (2020), quienes identificaron un comportamiento similar en áreas rurales de América Latina donde las actividades agrícolas influyen en la concentración de contaminantes atmosféricos.

Tabla 16: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración CO con Precipitación en la provincia de Sandia.

Correlaciones		
		CARABAYA.NO2
Rho de Spearman	Prec.CO Carabaya	-.452
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	68

D. RESULTADOS PARA EL CONTAMINANTE HCHO

- Picos Estacionales de HCHO:** En la figura 10, se observa que las provincias de Sandia, Carabaya y Yunguyo presentan concentraciones altas de HCHO, con rangos que van desde 201.398 a 69.949 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en Sandia, 146.701 a 60.751 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en Carabaya, y 130.89 a 52.389 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en Yunguyo. Estas concentraciones alcanzan sus picos y máximos valores desde mayo hasta diciembre. También se ha identificado una correlación negativa significativa entre las precipitaciones y las concentraciones de HCHO en Yunguyo, con un coeficiente de Spearman negativa muy fuerte -0.816 (Tabla 17), lo que sugiere que a medida que aumentan las precipitaciones, las concentraciones de HCHO disminuyen. Además, la temperatura mínima también muestra una correlación negativa considerable -0.662 (Tabla 18) con las concentraciones de HCHO, lo que indica que las temperaturas más bajas podrían estar relacionadas con menores niveles de este contaminante.
- Meses con menores concentraciones HCHO:** estas se presentan principalmente entre enero y abril durante el período evaluado. Esta variabilidad estacional refleja la influencia de factores climáticos y geográficos sobre la dispersión y formación del HCHO.

- Los resultados obtenidos en este estudio sobre las concentraciones de HCHO en la región de Puno no muestran una correlación significativa entre la concentración de formaldehído y la cantidad de precipitación. Este hallazgo sugiere que la concentración de HCHO no está siendo controlada principalmente por procesos de dilución causados por las lluvias, lo cual coincide con estudios previos en otras regiones del mundo. Según (Sanhueza et al., 2003) como se citó en Khare et al. 1997) reportaron resultados similares en Gopalpura, India, de igual forma como se citó en Kieber et al. 1999) observaron una falta de correlación en Wilmington, Carolina del Norte, Estados Unidos. Sin embargo, estudios como en Los Ángeles, California, demostraron que en áreas con aire altamente contaminado, las concentraciones de aldehídos en la lluvia disminuían a medida que las precipitaciones se intensificaban, lo que indicaba que el lavado atmosférico era el principal factor de reducción.

Tabla 17: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración HCHO con Precipitación en la provincia de Yunguyo.

Correlaciones		
		YUNGUYO.NO2
Rho de Spearman	Prec.CO Yunguyo	-.816
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	51

Tabla 18: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración HCHO con Temperatura Mínima en la provincia de Yunguyo.

Correlaciones		
		YUNGUYO.NO2
Rho de Spearman	Prec.CO Yunguyo	-.662
	Sig. (bilateral)	<.001
	N	52

E. RESULTADOS PARA EL CONTAMINANTE CH₄.

Durante el período de febrero 2019 a junio 2024, todas las provincias de Puno presentaron concentraciones elevadas de CH₄, con San Román destacándose como una de las provincias con mayores niveles de este gas. Sin embargo, provincias como Yunguyo y Sandia no mostraron concentraciones tan altas en comparación con las demás. Esta variación podría estar relacionada con la actividad agrícola en las diferentes provincias, ya que, según la Dirección Regional Agraria de Puno, la superficie sembrada varía considerablemente entre ellas. Por ejemplo, Azángaro experimentó un incremento del 8% en su superficie agrícola, lo que podría estar relacionado con un aumento en las concentraciones de CH₄ debido a la liberación de CH₄ por la actividad agrícola, particularmente por los cultivos y la ganadería.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La investigación confirma un aumento en las concentraciones de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , y CH_4) en la región Puno, período julio 2018 a junio 2024. Este incremento es especialmente notable en las zonas urbanas y agrícolas de San Román, Puno, Lampa, Yunguyo, El Collao y Chucuito, donde el crecimiento de actividades vehiculares y agrícolas ha contribuido significativamente (INEI, 2024). Asimismo, se observaron niveles elevados de HCHO y CO en las provincias de Sandia y Carabaya. Las variaciones estacionales mostraron picos de concentración durante los meses de estiaje (mayo a diciembre), con una alta correlación con la precipitación y la temperatura mínima, lo que sugiere una menor dispersión de contaminantes en estos periodos. En contraste, los niveles disminuyeron durante la temporada de avenida (enero a abril). Los resultados confirman la hipótesis planteada sobre el aumento de la contaminación en la región.

SEGUNDA: La utilización de los datos satelitales del Sentinel-5P permitió recopilar y procesar eficazmente información espacial y temporal sobre las concentraciones de los gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO, CH_4 y HCHO) en la región Puno. Este análisis reveló concentraciones máximas promedio en las 13 provincias, confirmando la hipótesis planteada. Los picos de contaminación se registraron principalmente entre los meses de estiaje, y las concentraciones bajas en los meses de avenida. Estos resultados demuestran que el Sentinel-5P es una herramienta adecuada para la identificación de variaciones espacio-temporales de contaminantes atmosféricos en Puno.

TERCERA: El análisis espacio-temporal de las concentraciones de los gases contaminantes en la región Puno permitió identificar patrones claros de distribución geográfica. Las provincias de San Román, Puno, El Collao, Chucuito, Lampa y Yunguyo

presentaron concentraciones más elevadas de SO_2 , NO_2 , y CH_4 , representadas con coloraciones rojas y anaranjadas en los mapas, lo que indica zonas críticas de contaminación. Por otro lado, las provincias de Sandia y Carabaya mostraron las mayores concentraciones de HCHO y CO, también reflejadas en tonos rojizos y anaranjados. El análisis temporal evidenció un incremento en las concentraciones durante los meses de estiaje, lo que coincide con el aumento del 18% en el parque automotor en la región entre 2018 y 2021, según el (MTC, 2024). Adicionalmente, el test de Mann-Kendall indicó tendencias no significativas crecientes y decrecientes para los cinco contaminantes en todas las provincias, con excepción de Yunguyo, que presentó una tendencia significativa decreciente en las concentraciones de CO. Estos resultados refuerzan la relación entre las actividades antropogénicas y las variaciones estacionales en los niveles de contaminación atmosférica.

CUARTA: El análisis de los picos estacionales reveló concentraciones significativamente altas de (SO_2 , NO_2 , CO, CH_4 y HCHO) en diversos periodos y provincias de la región Puno. En cuanto al SO_2 , se identificaron picos en los meses de mayo, junio y julio con valores que alcanzan $511.339\mu\text{mol}/\text{m}^2$ en San Román. El NO_2 presentó sus mayores concentraciones de julio a diciembre, con picos en Sandia que variaron entre 59.057 y $32.383\mu\text{mol}/\text{m}^2$, y en El Collao entre 55.1 y $34.541\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Para el CO, las concentraciones promedio más altas en septiembre y octubre son de $0.049\text{mol}/\text{m}^2$ en Sandia. HCHO alcanzó picos de 201.398 a $69.949\mu\text{mol}/\text{m}^2$ también en Sandia en los meses de agosto a septiembre. CH_4 mostró un incremento sostenido, con un valor máximo de 1881 ppb en San Román en el año 2024 y 1875 ppb en Melgar ese mismo año. Además, se identificó una correlación negativa de -0.834 para SO_2 en Puno, una correlación positiva de 0.656 para NO_2 , y correlaciones negativas de -0.452 para CO, -0.816 para HCHO, y un incremento del 4% en las concentraciones de CH_4 entre 2018 y 2024. Estos resultados evidencian un patrón de picos estacionales en las concentraciones de gases contaminantes, que reflejan la influencia de factores como las actividades humanas y las condiciones climáticas en la dispersión de los contaminantes.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a las entidades del Estado como el MINAM, SENAMHI, y el Gobierno Regional de Puno que fortalezcan el monitoreo de la calidad del aire mediante el uso de herramientas satelitales como el Sentinel-5P, aprovechando las capacidades de plataformas como Google Earth Engine. Asimismo, se sugiere la implementación de estaciones de monitoreo terrestre para complementar los datos satelitales y mejorar la precisión del análisis espacio-temporales. Estas acciones contribuirían a una mayor comprensión de la evolución de los gases contaminantes en la región Puno y facilitarían la toma de decisiones en políticas ambientales.

SEGUNDA: Se recomienda realizar un filtrado exhaustivo en la plataforma Google Earth Engine (GEE) para garantizar la obtención de datos mensuales y anuales de los gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO), ya que en el caso de CH_4 solo se pudieron obtener datos anuales. Además, es fundamental aplicar filtros temporales y espaciales para mejorar la calidad del análisis, y complementar los datos satelitales con estaciones terrestres. Asimismo, se sugiere la capacitación en plataformas como GEE, QGIS, RStudio y SPSS, para que las autoridades locales puedan implementar políticas de monitoreo continuo, lo cual fortalecería la gestión ambiental en la región Puno.

TERCERA: Continuar con las investigaciones en las provincias más afectadas por concentraciones altas de contaminantes. Específicamente, las provincias de San Román, Puno, El Collao, Lampa, Chucuito y Yunguyo, que mostraron niveles elevados de NO_2 , SO_2 y CH_4 , con coloraciones rojas y anaranjadas en los mapas de concentración. Asimismo, se debe prestar atención a las provincias de Sandía y Carabaya, donde HCHO

y CO presentaron picos significativos. La importancia del monitoreo satelital, como el uso de Sentinel-5P, ha sido clave para identificar estas variaciones espaciales y temporales. Se sugiere que futuras investigaciones se enfoquen en un análisis más detallado de las estaciones secas, donde se concentran los niveles más altos de estos gases, y en ajustar los métodos de medición para lograr resultados aún más precisos.

CUARTA: Se sugiere a futuras investigaciones se enfoquen en las estaciones de estiaje, dado que es cuando se registran las concentraciones más elevadas de contaminantes atmosféricos como el (SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 y HCHO). Asimismo, se recomienda que los resultados se corroboren con datos terrestres, y se evalúen conforme a los estándares de calidad ambiental. Es importante que se tenga en cuenta la dispersión de contaminantes debido a las precipitaciones, ya que el agua puede reducir su concentración en el aire. Además, debe continuar con la correlación entre las emisiones de contaminantes y actividades agrícolas, ganaderas, el crecimiento poblacional, el viento y otros factores geográficos y meteorológicos, lo que ayudará a identificar con mayor precisión las fuentes emisoras y a tomar medidas correctivas más efectivas para mitigar la contaminación en la región Puno.

BIBLIOGRAFÍA

- Abelsohn, A., & Stieb, D. M. (2011). Health effects of outdoor air pollution. *Canadian Family Physician*, 57(8), 881-887.
- Alves, T. L. B., Azevedo, P. V., & Farias, A. A. de. (2015). Comportamento da Precipitação Pluvial e sua Relação com o Relevo nas Microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do Estado da Paraíba (Rainfall Behavior Rain and Its Relationship with Relief in the Regions Cariri of Eastern and Western State of Paraíba). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(6), Article 6. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150090>
- Amable Álvarez, I., Méndez Martínez, J., Bello Rodríguez, B. M., Benítez Fuentes, B., Escobar Blanco, L. M., & Zamora Monzón, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160-1170.
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 123-132.
- Araya-Araya, M., Sibaja-Brenes, J. P., Soto-Fallas, R., Mora-Barrantes, J. C., Alfaro-Solís, R., Borbón-Alpizar, H., Valdés-González, J., Araya-Araya, M., Sibaja-Brenes, J. P., Soto-Fallas, R., Mora-Barrantes, J. C., Alfaro-Solís, R., Borbón-Alpizar, H., & Valdés-González, J. (2023). Evaluación de la variación en la concentración de aldehídos en agua de lluvia y aire: Caso de estudio en un área de conservación de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(2), 143-154. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4470>
- Arpi Quilca, L., Condori Fernández, L., & Quispe Álvarez, M. (2023). *CARACTERIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PUNO. BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ SUCURSAL PUNO*. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Puno/puno-caracterizacion.pdf>
- ATSDR. (2021, enero 25). *Resumen de Salud Pública: Formaldehído (Formaldehyde)* |

- PHS | ATSDR. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.html
- Bayona, M. A. (2022). Modelamiento de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca con teledetección satelital -2019. *Universidad Privada del Norte*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3216514>
- Carrillo, M. S. (2018, octubre 30). *Censos 2017: Departamento de Puno tiene 1 172 697 habitantes – Censos Nacionales 2017*. <https://censo2017.inei.gob.pe/censos-2017-departamento-de-puno-tiene-1-172-697-habitantes/>
- Castaño Fernández, S., Ruiz Gallardo, J. R., & Vela Mayorga, A. (1996). La Teledetección: Sus bases. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 11, 183-194.
- Chatfield, C. (2020). *El análisis de series temporales: Una introducción con R*.
- Chesniuk, S. (2023, junio 16). *Análisis de Tendencias y Patrones en Datos Ambientales: Un Enfoque Est. MetroQuimica Net*. <https://metroquimica.net/blogs/news/analisis-de-tendencias-y-patrones-en-datos-ambientales-un-enfoque-estadistico-para-la-evaluacion-del-impacto-ambiental-de-la-mineria>
- Chuvieco Salinero, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio* (1a. ed. en esta presentación, actualizada.). Ariel.
- Duncan, B. N., Prados, A. I., Lamsal, L. N., Liu, Y., Streets, D. G., Gupta, P., Hilsenrath, E., Kahn, R. A., Nielsen, J. E., Beyersdorf, A. J., Burton, S. P., Fiore, A. M., Fishman, J., Henze, D. K., Hostetler, C. A., Krotkov, N. A., Lee, P., Lin, M., Pawson, S., ... Ziemba, L. D. (2014). Satellite data of atmospheric pollution for U.S. air quality applications: Examples of applications, summary of data end-user resources, answers to FAQs, and common mistakes to avoid. *Atmospheric Environment*, 94, 647-662. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.061>
- Flores Yucra, R., Ginez Choque, P. A., Alfaro Alejo, R., Flores Quispe, E. L., & Flores Condori, E. (2024). Efecto del Parque Automotor en el Nivel de Contaminación por

- Dióxido de Carbono en la Ciudad de Puno. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(1), 5932-5948.
- García, A. E. H. (2019). Evaluación de la concentración de CO, NO₂ y SO₂ en el aire por tráfico vehicular en el distrito de Morales, 2018. *Universidad Peruana Unión*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2608>
- García G, M., Ramírez S, H., Ulloa G, H., García G, O., Meulenert P, Á., & Alcalá G, J. (2013). Concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y correlación con H⁺, SO₄-2 y NO₃- durante la temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 29(2), 81-88. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482013000200004>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gutiérrez, A. F. (2021). Monitoreo de SO₂, NO₂ Y CO para estimar la calidad del aire en la ciudad de Montería. *Universidad de Córdoba*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4290>
- Hernandez Romero, J. C., Madrigal Uribe, D., & Morales Mendez, C. C. (2004). Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001. *Ciencia Ergo Sum (México) Num.3 Vol.11*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/38028>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Huang, S., Li, H., Wang, M., Qian, Y., Steenland, K., Caudle, W. M., Liu, Y., Sarnat, J., Papatheodorou, S., & Shi, L. (2021). Long-term exposure to nitrogen dioxide and mortality: A systematic review and meta-analysis. *The Science of the Total Environment*, 776, 145968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145968>
- INEI. (2022, de setiembre de). *Perú: Proyecciones de Población Total según*

- Departamento, Provincia y Distrito, 2018-2022.*
<https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3464927-peru-proyecciones-de-poblacion-total-segun-departamento-provincia-y-distrito-2018-2022>
- INEI. (2024, enero 28). *Compendio Estadístico, Puno 2023.*
<https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/5373689-compendio-estadistico-puno-2023>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., & Taylor, J. (2023). *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in Python.* Springer Nature.
- Jodhani, K. H., Gupta, N., Parmar, A. D., Bhavsar, J. D., Patel, H., Patel, D., Singh, S. K., 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>
- Justo, J. (2021). Evaluación de la calidad del aire según los niveles de concentración de SO₂, NO₂, CO Y O₃ en puntos críticos de la ciudad de Juliaca. *Universidad Nacional de Juliaca.* <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3352095>
- Kain, D. T. (2024, marzo 24). *Efectos del monóxido de carbono en el medio ambiente.* Sigma Earth.
<https://sigmaearth.com/es/efectos-del-mon%C3%B3xido-de-carbono-en-el-medio-ambiente/>
- KNMI. (2023, abril 17). *TROPOMI Observing Our Future - TROPOMI: TROPOspheric Monitoring Instrument* [Webpagina]. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
<https://www.tropomi.eu/>
- Ledesma, S. G., Sione, S. M. J., Ozsust, J. D., Rosenberger, L. J., Ledesma, S. G., Sione, S. M. J., Ozsust, J. D., & Rosenberger, L. J. (2021). Estimación del contenido y captura potencial de carbono en la biomasa arbórea de bosques nativos del Espinal (Entre Ríos, Argentina). *Fave. Sección ciencias agrarias*, 20(1), 331-345.
- Li, Q., Gong, D., Chen, Z., Li, J., Wu, G., Deng, S., Wang, H., He, L., & Wang, B. (2024). Origins of formaldehyde in a mountainous background atmosphere of southern

- China. *Science of The Total Environment*, 931, 172707.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172707>
- Lopez Fernandez, S. (2010). Influencia de las variables físicas (humedad relativa, precipitaciones) y químicas (So₂, NO_x) en el pH de las precipitaciones en Lima Metropolitana. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/143744>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
<https://doi.org/10.2307/1907187>
- Martín, C., Amigo, J. M., & Castro, K. (2023). Environmental science through orbiters. An example of Sentinel-5P on how the Covid-19 pandemic impacted the air quality. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 240, 104927.
<https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.104927>
- Masoud, A. A. (2023). Spatio-temporal patterns and trends of the air pollution integrating MERRA-2 and in situ air quality data over Egypt (2013–2021). *Air Quality, Atmosphere & Health*, 16(8), 1543-1570.
<https://doi.org/10.1007/s11869-023-01357-6>
- Moretti-Villegas, L. F., Tafur-Anzualdo, V. I., Valiente-Saldaña, Y. M., Moretti-Villegas, L. F., Tafur-Anzualdo, V. I., & Valiente-Saldaña, Y. M. (2023). Contaminación del aire en la ciudad de Lima, Perú. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8, 822-830.
<https://doi.org/10.35381/r.k.v8i2.2975>
- MTC. (2024, julio 5). *Estadística—Servicios de Transporte Terrestre por Carretera—Parque Automotor*.
<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344892-estadistica-servicios-de-transporte-terrestre-por-carretera-parque-automotor>
- Omenetto, S. (2019). Geographic Information Systems and Geography of Religions: An International Review of Research. *Historia Religionum: An International Journal*: 11, 2019. <https://doi.org/10.19272/201904901004>
- OMS. (2022, diciembre 19). *Calidad del aire ambiente (exterior) y 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)

- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N. K., Edenhofer, O., Elgizouli, I., Field, C. B., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestvedt, J., Gomez-Echeverri, L., Hallegatte, S., ... van Ypserle, J.-P. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. En R. K. Pachauri & L. Meyer (Eds.), *EPIC3 Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., pp. 151, ISBN: 978-92-9169-143-2* (p. 151). IPCC. <https://epic.awi.de/id/eprint/37530/>
- PAHO. (2024, junio 14). *Las Américas hospedarán la Segunda Conferencia Mundial sobre la Contaminación del Aire y la Salud de la OMS - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/noticias/14-6-2024-americas-hospedara-segunda-conferencia-mundial-sobre-contaminacion-aire-salud>
- Perilla, G. A., & Mas, J. F. (2020). Google Earth Engine (GEE): Una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones geográficas, 101*, 1170.
- Quispe Cruz, D. J. (2024). Análisis de la tendencia de los parámetros físico químicos del agua de la central hidroeléctrica de Chijisia, durante los años 2016-2021 del distrito de Sandia 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/884>
- Reshi, A. R., Pichuka, S., & Tripathi, A. (2024). Applications of Sentinel-5P TROPOMI Satellite Sensor: A Review. *IEEE Sensors Journal, 24*(13), 20312-20321. IEEE Sensors Journal. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3355714>
- Romero, F. S. (2016). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC, 24*, Article 24. <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/212>

- Sanhueza, E., Alfonso, Y., & Santana, M. (2003). Compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera de la gran sabana. ii: Hcho, hcooh y ch₃cooh en lluvias. *Interciencia*, 28(1), 29-35.
- Sanucci, C., Represa, N. S., & Porta, A. A. (2020). *Evaluación de las imágenes satelitales del sensor TROPOMI para el análisis de los niveles de metano en la provincia de Neuquén*. III Simposio Argentino de Informática Industrial e Investigación Operativa (SIIIO 2020) - JAIIO 49 (Modalidad virtual). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/116737>
- Saunio, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Raymond, P. A., Dlugokencky, E. J., Houweling, S., Patra, P. K., Ciais, P., Arora, V. K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K. M., Carrol, M., ... Zhuang, Q. (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12(3), 1561-1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>
- Sentinel-5P*. (s. f.). Sentinel Online. Recuperado 18 de junio de 2024, de <https://copernicus.eu/copernicus/sentinel-5p>
- Solís, V. (2023). Análisis de Contaminantes del aire atmosférico (CO, NO₂ y SO₂), a través de imágenes Sentinel-5P de la región de Apurímac periodo 2018—2021. *Escuela de Posgrado Newman - EPN*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3465345>
- UNEP. (2021a, agosto 20). *Las emisiones de metano están acelerando el cambio climático. ¿Cómo podemos reducirlas?* UNEP. <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/las-emisiones-de-metano-estan-acelerando-el-cambio-climatico-como>
- UNEP. (2021b, septiembre 7). *Air Pollution Note – Data you need to know*. <https://www.unep.org/interactives/air-pollution-note>
- UNEP. (2022, agosto 11). *Datos sobre el metano*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/es/explore-topics/energy/datos-sobre-el-metano>

- US EPA, O. (2018, octubre 10). *Impacto del monóxido de carbono en la calidad del aire de los interiores* [Overviews and Factsheets].
<https://espanol.epa.gov/cai/impacto-del-monoxido-de-carbono-en-la-calidad-del-air-e-de-los-interiores>
- US EPA, O. (2021, julio 29). *Formaldehído* [Overviews and Factsheets].
<https://espanol.epa.gov/cai/formaldehido>
- US EPA, O. (2022, marzo 15). *El impacto del dióxido de nitrógeno en la calidad del aire interior* [Overviews and Factsheets].
<https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-del-dioxido-de-nitrogeno-en-la-calidad-del-aire-interior>
- Vásquez Taco, J. D., & Arboleda Guerrero, Á. S. (2021). *Evaluación de datos satelitales del sensor de calidad de aire TROPOMI - SENTINEL 5P para el Ecuador entre los años 2018 a 2020* [bachelorThesis].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20893>
- Vela, J. R. (2021a). *Concentración de contaminantes primarios del parque automotor en la atmósfera del distrito de la Banda de Shilcayo—San Martín.*
- Vela, J. R. (2021b). *Concentración de contaminantes primarios del parque automotor en la atmósfera del distrito de la Banda de Shilcayo—San Martín. Repositorio Institucional - UCV.* <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75331>
- WHO. (2018). *Air pollution and child health: Prescribing clean air: summary* (WHO/CED/PHE/18.01). Article WHO/CED/PHE/18.01.
<https://iris.who.int/handle/10665/275545>
- World Health Organization. (2023). *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide.*
[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Xia, H., Wang, D., Abad, G. G., Yang, X., Zhu, L., Pu, D., Feng, X., Zhang, A., Song, Z., Mo, Y., & Wang, J. (2024). Multi-scale correlation reveals the evolution of

socio-natural contributions to tropospheric HCHO over China from 2005 to 2022.

Science of The Total Environment, 954, 176197.

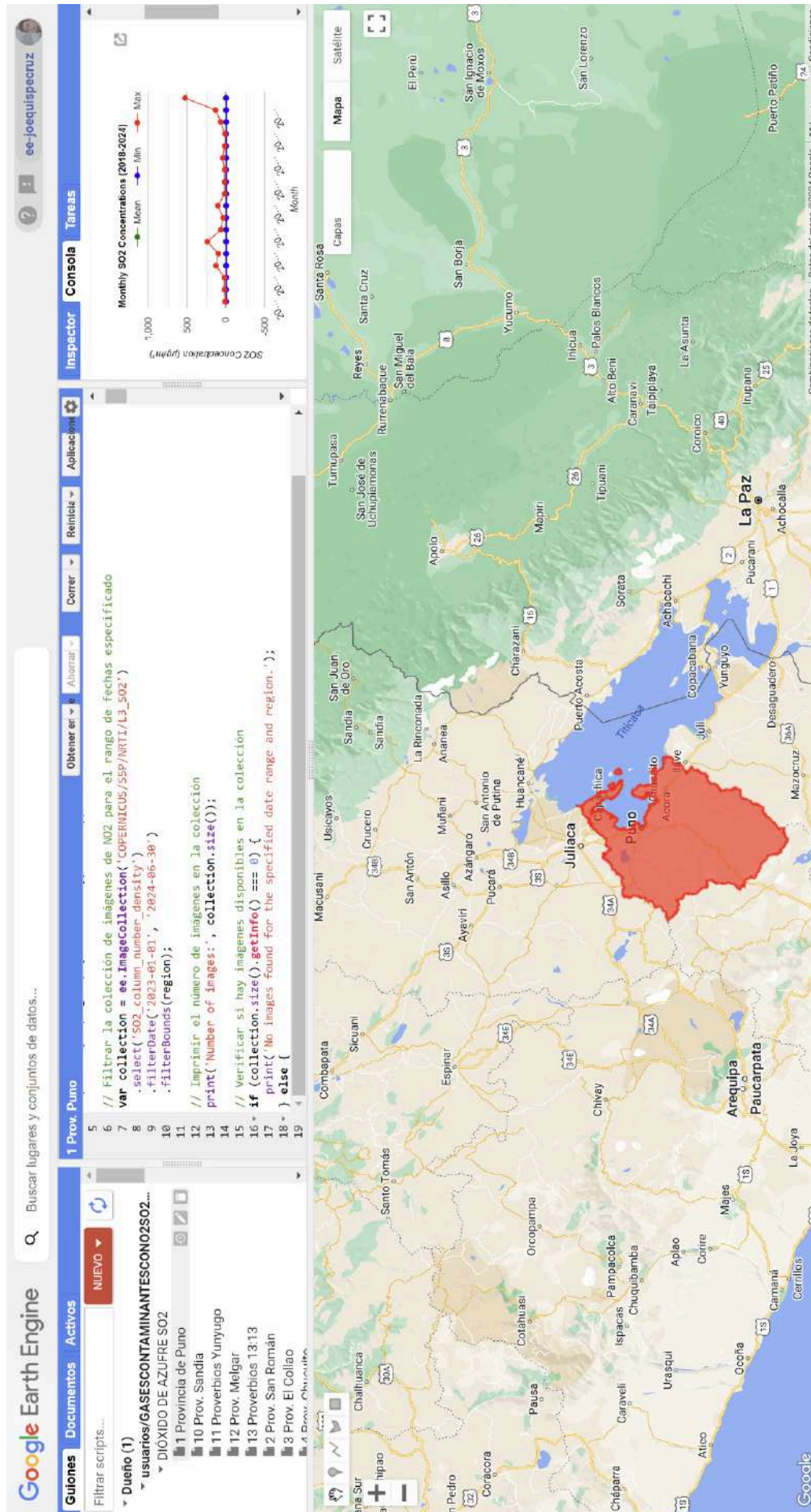
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176197>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
GENERAL ¿Cuál será la concentración de gases contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno a partir de imágenes Sentinel-5P en Google Earth Engine, periodo, julio 2018 a junio 2024?	GENERAL Analizar los niveles de concentración de gases contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno utilizando imágenes Sentinel-5P en la plataforma Google Earth Engine, periodo julio 2018 a junio 2024.	GENERAL La concentración de gases contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO), en la región Puno ha experimentado un aumento, periodo julio 2018 a junio 2024.	UNIVARIABLE Concentración de Gases Contaminantes	Monóxido de Carbono (CO) Dioxido de Nitrogeno (NO ₂) Dióxido de Azufre (SO ₂) Metano (CH ₄) Formaldehído (HCHO)	Tipo de Investigación - Descriptivo Diseño de Investigación - No Experimental muestra HERRAMIENTAS Plataforma Google Earth Engine GEE Satélite Copernicus Sentinel-5P Qgis JavaScript RStudio Microsoft Office Excel
ESPECÍFICOS ¿Cómo se pueden utilizar las imágenes del satélite Sentinel-5P en la plataforma Google Earth Engine para obtener datos precisos sobre los niveles de gases contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024?.	ESPECÍFICOS Recopilar datos satelitales específicos de gases contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno, utilizando imágenes del satélite Sentinel-5P en la plataforma Google Earth Engine, periodo julio 2018 a junio 2024.	ESPECÍFICOS La utilización de datos del satélite Sentinel-5P permitirá identificar patrones espaciales y temporales de gases contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO), en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024.			
ESPECÍFICOS ¿Cómo varían los niveles de contaminación (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas de la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024?	ESPECÍFICOS Analizar patrones espaciales y tendencias temporales de los contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno, para comprender su variabilidad a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas, periodo julio 2018 a junio 2024.	ESPECÍFICOS La variabilidad espacial y temporal de los contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno, está relacionada con factores geográficos, estacionales y actividades humanas, periodo julio 2018 a junio 2024.			
ESPECÍFICOS ¿Cuáles son los puntos críticos y periodos con mayores concentraciones de contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024?.	ESPECÍFICOS Identificar puntos críticos y periodos con mayores concentraciones de contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno, periodo julio 2018 a junio 2024.	ESPECÍFICOS Los puntos críticos y periodos de mayores concentraciones de contaminantes (SO ₂ , NO ₂ , CO, CH ₄ y HCHO) en la región Puno se correlacionan con factores geográficos y actividades humanas, periodo julio 2018 a junio 2024.			

Anexo 02: Extracción y visualización de datos del contaminante SO₂ en la provincia Puno (junio 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine y shapefile provincial con datos del satélite Sentinel-5P.



The screenshot displays the Google Earth Engine interface. On the left, the 'Scripts' panel shows a list of scripts, with 'usuarios/GASESCONTAMINANTESCONSO2SO2...' selected. The 'Code' editor contains the following JavaScript code:

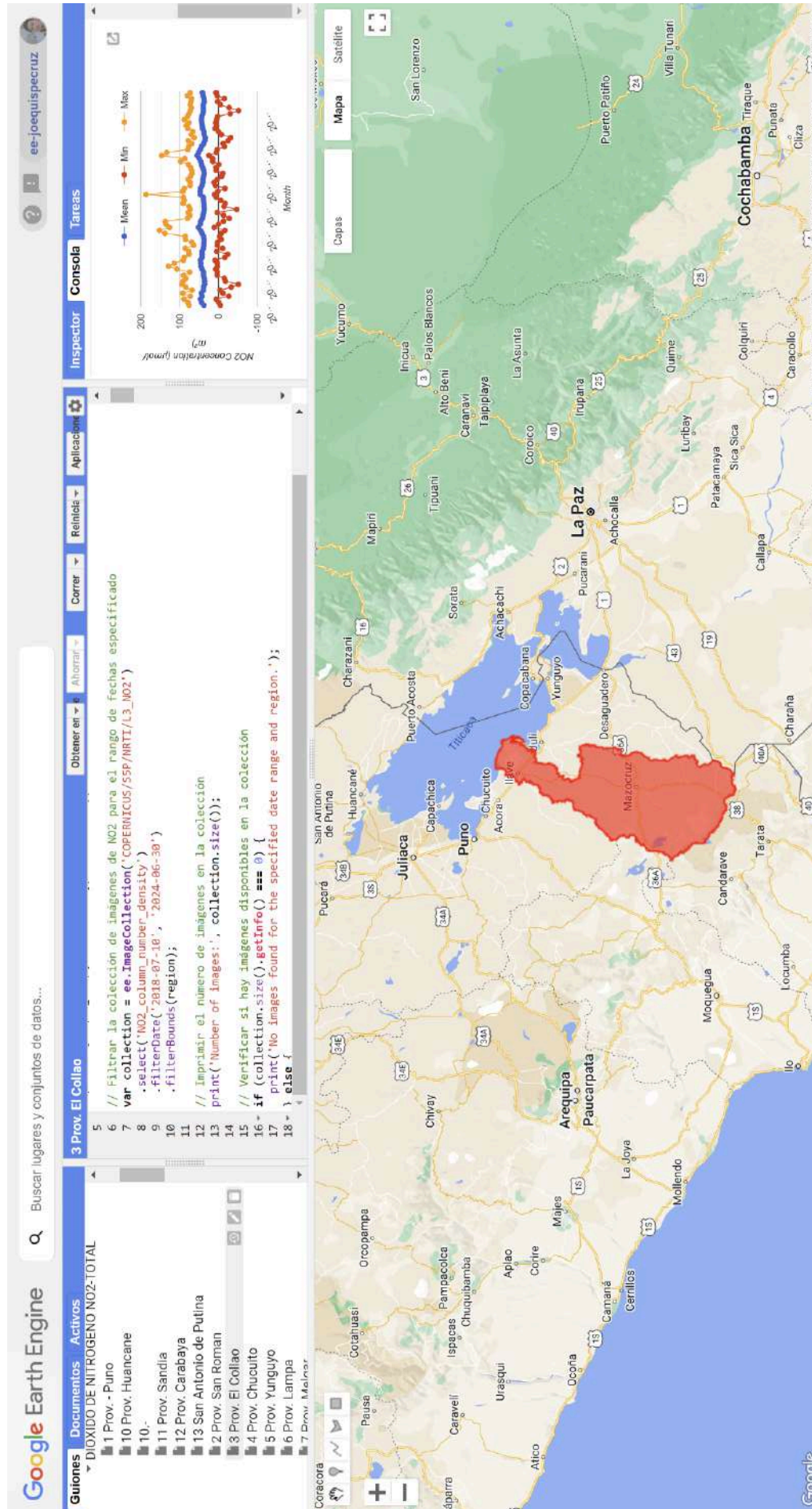
```

5 // Filtrar la colección de imágenes de MOD para el rango de fechas especificado
6 var collection = ee.ImageCollection("COPERNICUS/SSP/NRT1/L3_SO2")
7   .select('SO2_column_number_density')
8   .filterDate('2023-01-01', '2024-06-30')
9   .filterBounds(region);
10
11 // Imprimir el número de imágenes en la colección
12 print('Number of Images:', collection.size());
13
14 // Verificar si hay imágenes disponibles en la colección
15 if (collection.size().getInfo() !== 0) {
16   print('No images found for the specified date range and region.');
```

On the right, the 'Inspector' panel shows a line graph titled 'Monthly SO2 Concentrations (2018-2024)'. The y-axis is 'SO2 Concentration (µg/m³)' ranging from -500 to 1,000. The x-axis is 'Month'. The graph shows three data series: 'Mean' (red line with dots), 'Min' (blue line with dots), and 'Max' (green line with dots). The 'Mean' series shows a significant peak in late 2023, reaching approximately 1,000 µg/m³.

The main map shows the Puno region in Peru, with a red shaded area highlighting the province of Puno. The map includes various geographical features, roads, and place names such as Juliaca, Arequipa, and Paucarpata.

Anexo 03: Extracción y visualización de datos del contaminante NO₂ en la provincia Puno (junio 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine y shapefile provincial con datos del satélite Sentinel-5P.



The screenshot displays the Google Earth Engine interface. At the top, the search bar contains "3 Prov. El Collao". The left sidebar shows a list of active documents, with "DIOXIDO DE NITROGENO NO2-TOTAL" selected. The main editor contains a JavaScript script:

```

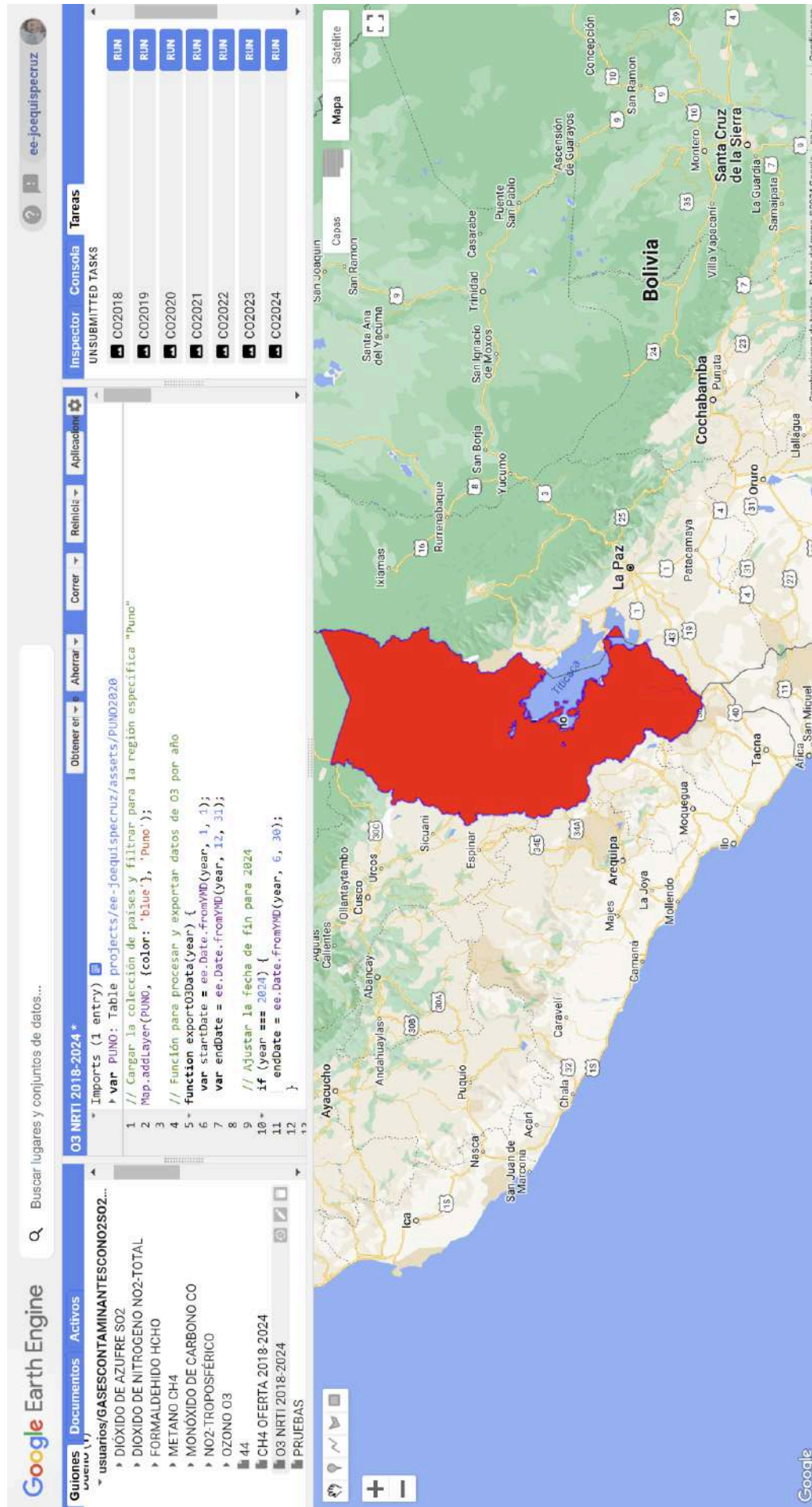
3 Prov. El Collao
5
6 // Filtrar la colección de imágenes de NO2 para el rango de fechas especificado
7 var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/SSP/NRTI/L3_NO2')
8   .select('NO2_column_number_density')
9   .filterDate('2018-07-16', '2024-06-30')
10  .filterBounds(region);
11
12 // Imprimir el número de imágenes en la colección
13 print('Number of Images:', collection.size());
14
15 // Verificar si hay imágenes disponibles en la colección
16 - if (collection.size().getInfo() == 0) {
17   print('No images found for the specified date range and region. ');
18 } else {

```

The console on the right shows the output: "3 Prov. El Collao" and "Number of Images: 20". Below the console is a line graph titled "NO2 Concentration (µmol/m³)" showing data from July 2018 to July 2024. The graph includes a mean line (blue) and a maximum line (orange). The y-axis ranges from -100 to 200 µmol/m³. The x-axis is labeled "Month".

At the bottom, a map of the region shows the province of Puno highlighted in red. The map includes labels for various cities and towns such as Juliaca, Puno, Arequipa, Paucarpata, La Paz, and Cochabamba. The map also shows major roads and geographical features like Lake Titicaca.

Anexo 04: Visualización y Extracción en GeoTIFF de datos del contaminante CO de la región Puno (noviembre 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine con datos del satélite Sentinel-5P.



The screenshot displays the Google Earth Engine interface. On the left, a search bar contains "Buscar lugares y conjuntos de datos...". Below it, a list of documents is shown, including "GASESCONTAMINANTESCONO2SO2...", "DIÓXIDO DE AZUFRE SO2", "DIÓXIDO DE NITRÓGENO NO2-TOTAL", "FORMALDEHIDO HCHO", "METANO CH4", "MONÓXIDO DE CARBONO CO", "NO2-TROPOSFÉRICO", "OZONO O3", "CH4 OFERTA 2018-2024", "O3 NRTI 2018-2024", and "PRUEBAS".

The main editor area shows a script for processing CO data in Puno, Bolivia. The script includes the following code:

```

Imports (1 entry)
var PUNO: Table<projects/ee-joequispecruz/assets/PUNO2020>
// Ganar la colección de países y filtrar para la región específica "Puno"
Map.addLayer(PUNO, {color: 'blue'}, 'Puno');
// Función para procesar y exportar datos de O3 por año
function exportO3Data(year) {
  var startDate = ee.Date.fromYMD(year, 1, 1);
  var endDate = ee.Date.fromYMD(year, 12, 31);
  // Ajustar la fecha de fin para 2024
  if (year === 2024) {
    endDate = ee.Date.fromYMD(year, 6, 30);
  }
}

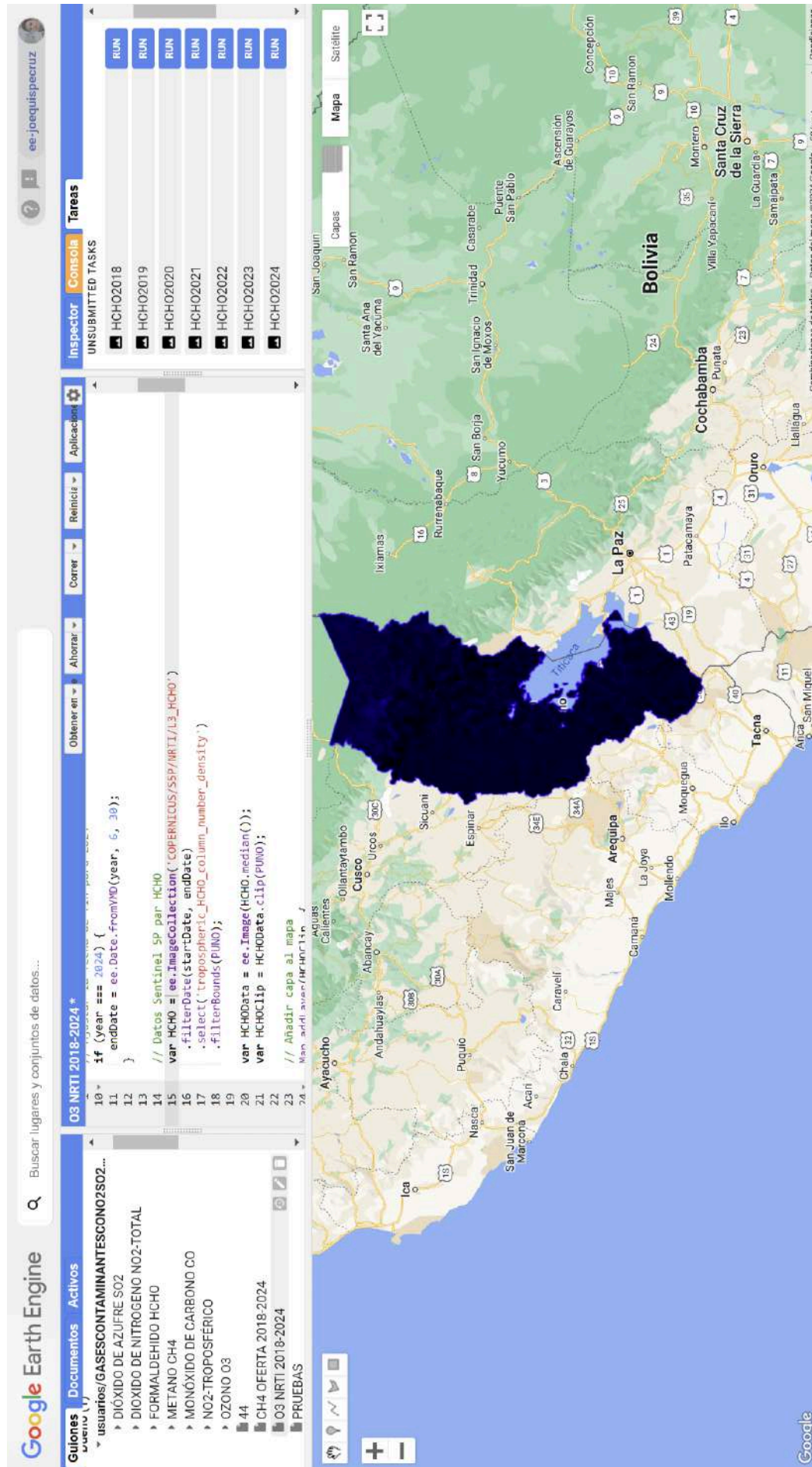
```

On the right, a table of tasks is visible:

Inspector	Consola	Tareas
UNSUBMITTED TASKS		
CO2018		RUN
CO2019		RUN
CO2020		RUN
CO2021		RUN
CO2022		RUN
CO2023		RUN
CO2024		RUN

The map on the right shows a geographical view of Bolivia and surrounding regions (La Paz, Cochabamba, Oruro, Tachá, Ayacucho, Arequipa). A large red-shaded area highlights the Puno region, which is the focus of the data extraction script.

Anexo 05: Visualización y Extracción en GeoTIFF de datos del contaminante HCHO de la región Puno (octubre 2018 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine con datos del satélite Sentinel-5P.



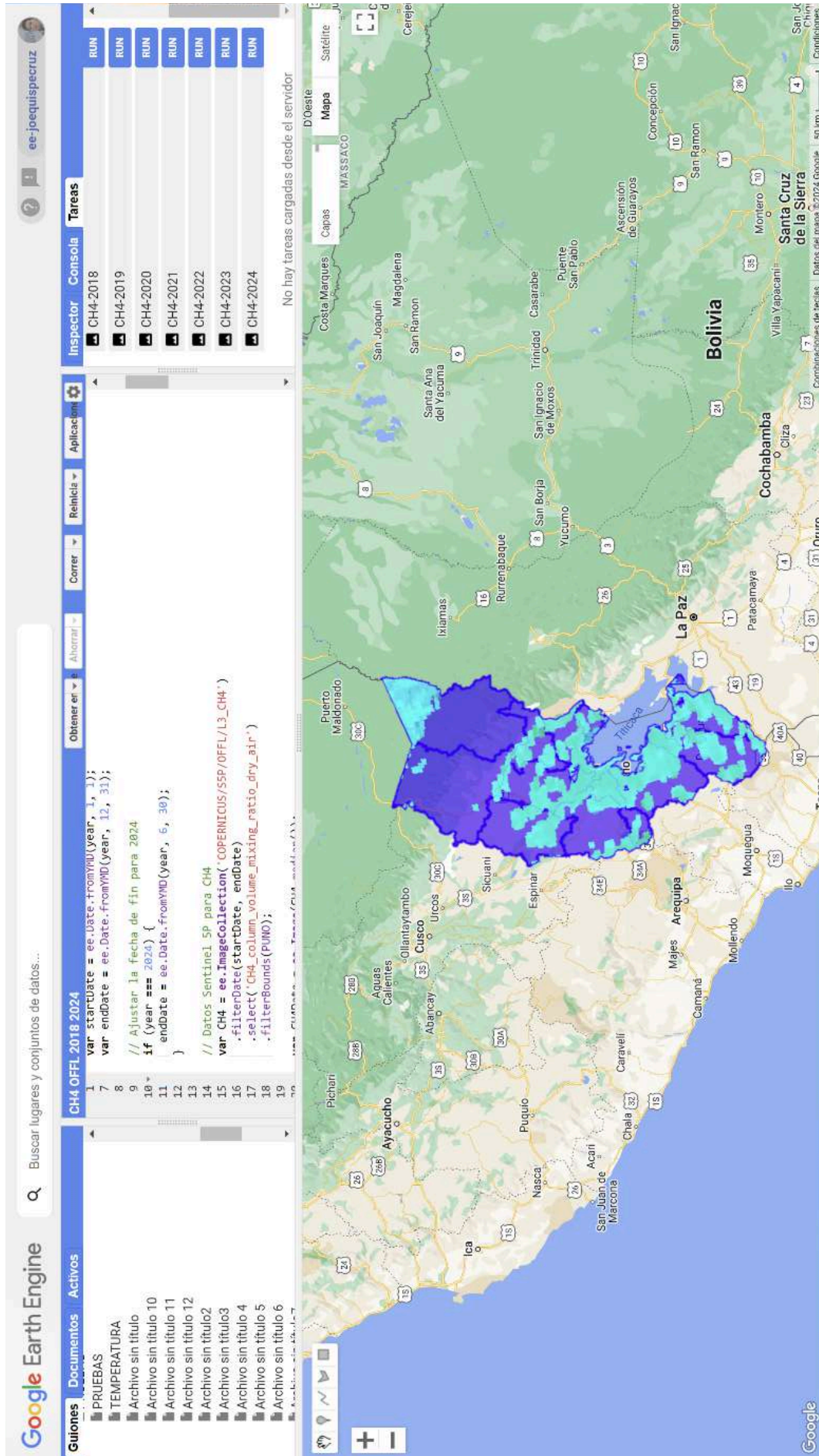
The screenshot displays the Google Earth Engine web interface. At the top, there is a search bar with the text "Buscar lugares y conjuntos de datos...". Below it, a list of documents is visible, including "03 NRTI 2018-2024" and "CH4 OFERTA 2018-2024". The main area is a code editor containing the following JavaScript script:

```

10 *
11 if (year == 2024) {
12   enddate = ee.Date.fromYMD(year, 6, 30);
13 }
14 // Datos Sentinel 5P por HCHO
15 var HCHO = ee.ImageCollection('COPERNICUS/SSP/MRTI/L3_HCHO')
16   .filterDate(startDate, endDate)
17   .select('tropical_hcho_column_density')
18   .filterBounds(PUNO);
19
20 var HCHOData = ee.Image(HCHO.median());
21 var HCHOClip = HCHOData.clip(PUNO);
22
23 // Añadir capa al mapa
24 Map.addLayer(HCHOClip);
  
```

On the right side, the "Tareas" (Tasks) panel shows a list of "UNSUBMITTED TASKS" with columns for "RUN" and "HCHO" for the years 2018 through 2024. The map on the left shows a satellite view of Bolivia with a dark blue shaded region in the southern part of the country, corresponding to the Puno region mentioned in the text. The map includes labels for various cities and regions like La Paz, Cochabamba, and Santa Cruz de la Sierra.

Anexo 06: Visualización y Extracción en GeoTIFF de datos del contaminante HCHO de la región Puno (febrero 2019 a julio 2024) utilizando scripts en Google Earth Engine con datos del satélite Sentinel-5P.



The screenshot displays the Google Earth Engine (GEE) interface. On the left, a script is written in JavaScript to extract CH4 data from Sentinel-5P. The script includes comments in Spanish and code for setting dates, filtering by year (2019-2024), and selecting the CH4 column. The right side of the interface shows a map of the Puno region in Peru, with a specific area highlighted in purple and blue, indicating the extraction area. The map includes labels for various cities and regions like Ayacucho, Arequipa, and La Paz.

```

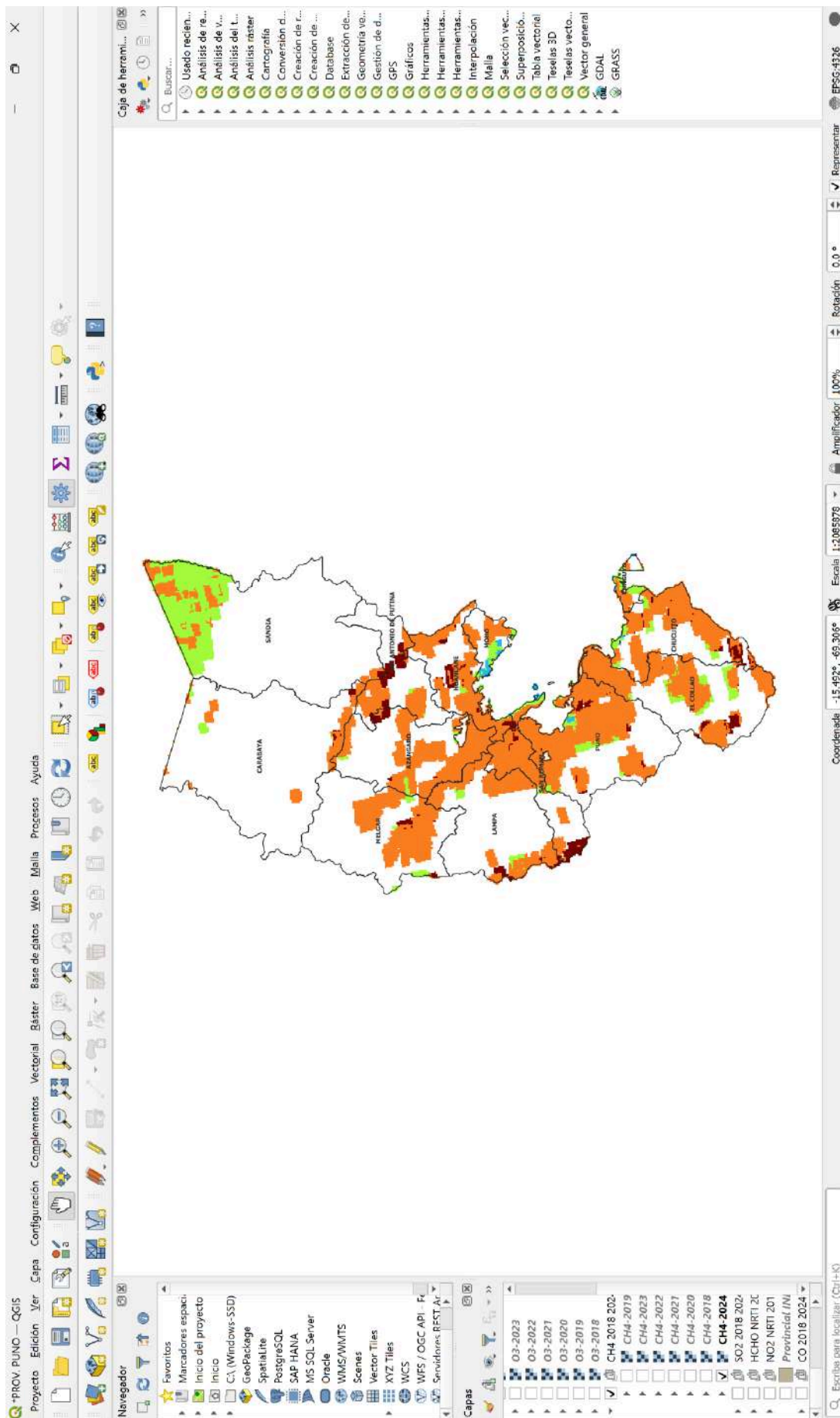
1  CH4-OFEL 2018 2024
2  var startDate = ee.Date.fromYMD(year, 1, 1);
3  var endDate = ee.Date.fromYMD(year, 12, 31);
4  // Ajustar la fecha de fin para 2024
5  if (year === 2024) {
6    endDate = ee.Date.fromYMD(year, 6, 30);
7  }
8  // Datos Sentinel_5P para CH4
9  var CH4 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/SSP/OFEL/L3_CH4')
10  .filterDate(startDate, endDate)
11  .select('CH4_column_volume_mixing_ratio_dry_air')
12  .filterBounds(PUNO);
13
14
15
16
17
18
19

```

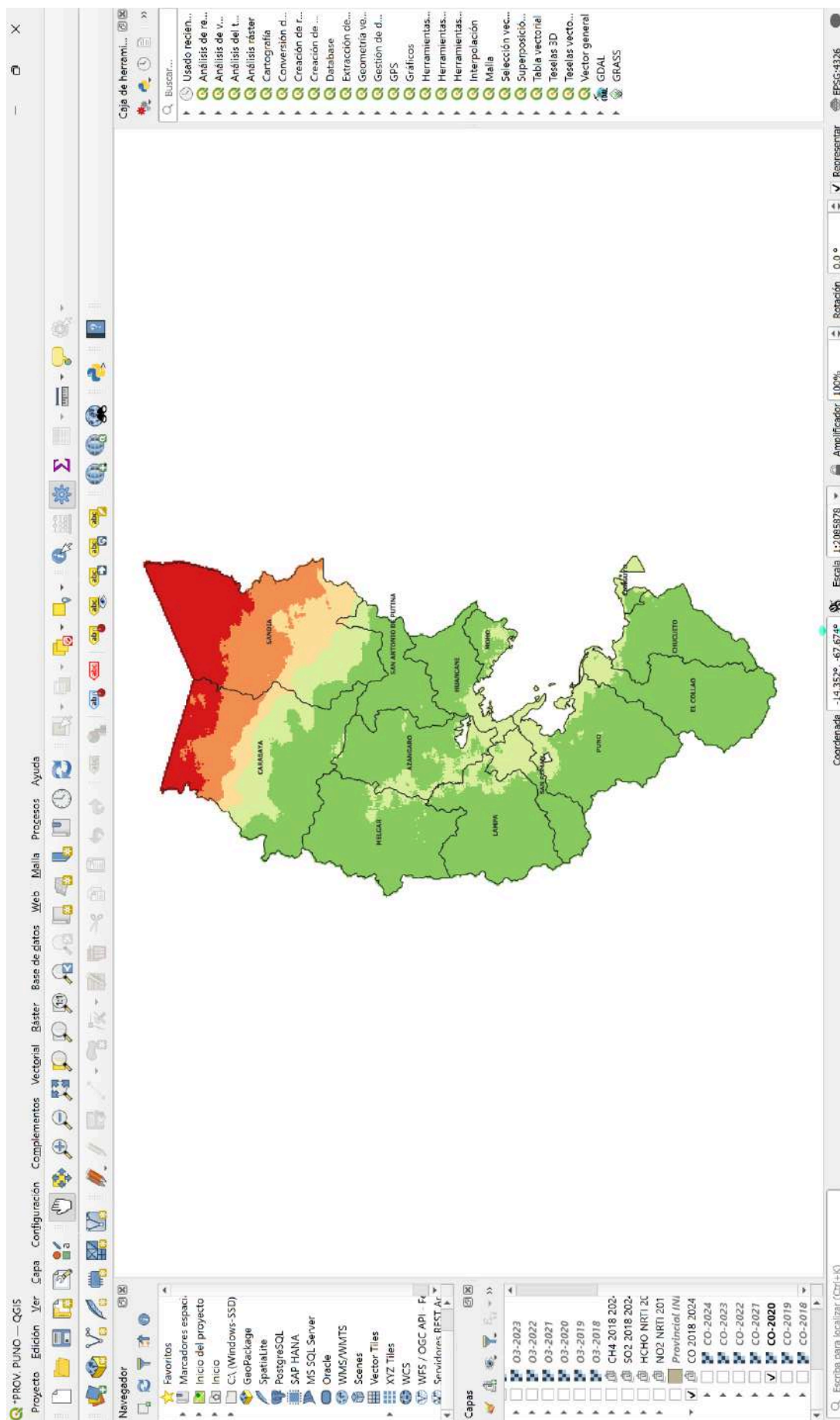
Inspector: CH4-2018 RUN
 CH4-2019 RUN
 CH4-2020 RUN
 CH4-2021 RUN
 CH4-2022 RUN
 CH4-2023 RUN
 CH4-2024 RUN

No hay tareas cargadas desde el servidor

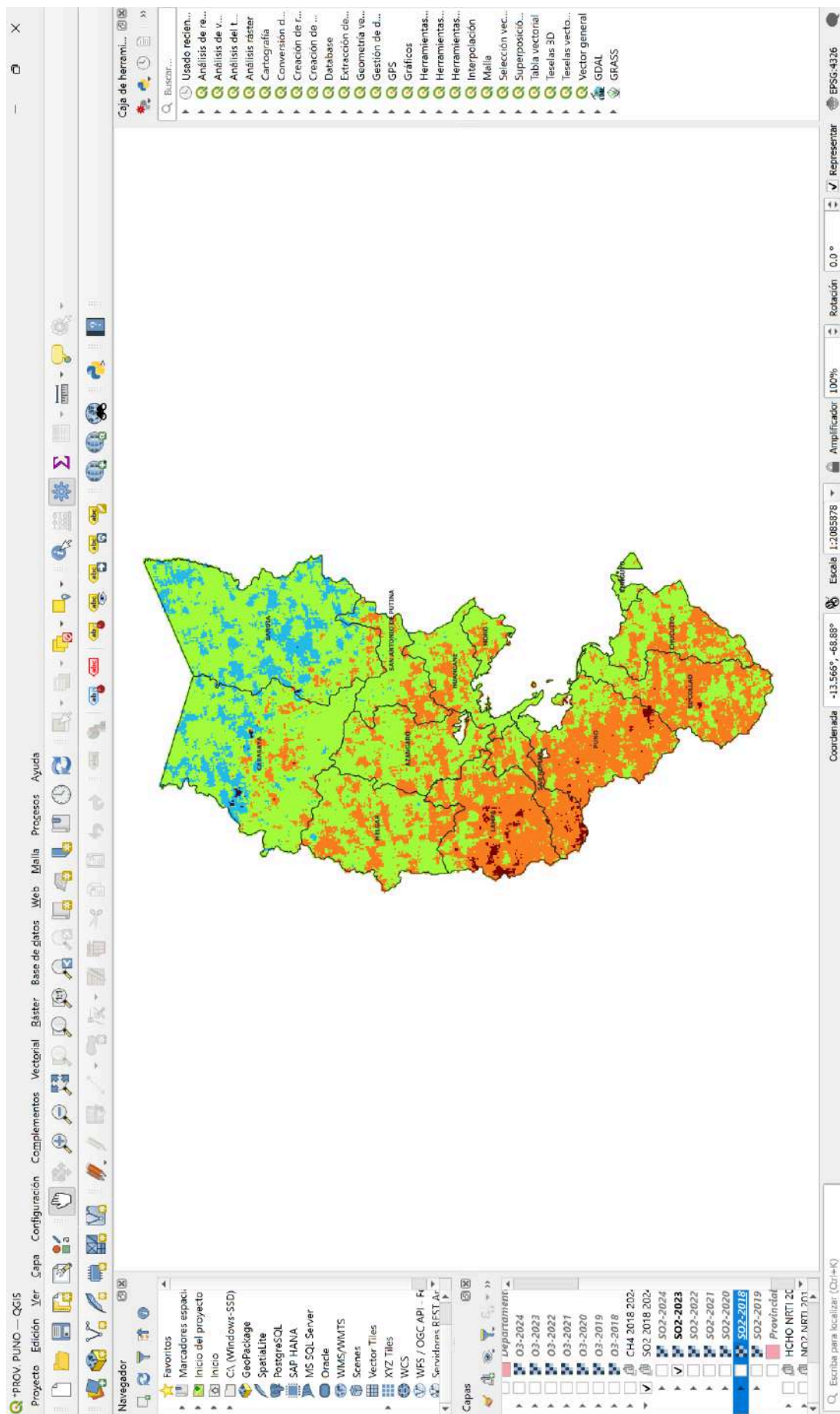
Anexo 07: Procesamiento del contaminante CH₄ en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.



Anexo 09: Procesamiento del contaminante CO en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.



Anexo 10: Procesamiento del contaminante NO₂ en el software QGIS de la región Puno periodo 2018 - 2024.



Anexo 12: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para SO₂, durante el período 2018 - 2024.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ELCOLLAO	.103	69	.069	.945	69	.004
PUNO	.108	69	.045	.941	69	.003
SANROMAN	.121	69	.013	.929	69	<.001
CHUCUITO	.122	69	.012	.919	69	<.001
YUNGUYO	.192	69	<.001	.915	69	<.001
LAMPA	.100	69	.086	.954	69	.012
MELGAR	.107	69	.047	.921	69	<.001
AZANGARO	.161	69	<.001	.930	69	<.001
MOHO	.178	69	<.001	.897	69	<.001
HUANCANE	.160	69	<.001	.911	69	<.001
SANDIA	.136	69	.003	.950	69	.008
CARABAYA	.131	69	.005	.951	69	.009
SANANTONIODEPUTINA	.131	69	.005	.960	69	.025

a. Corrección de significación de Lilliefors

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La distribución de ELCOLLAO es normal con la media .958 y la desviación estándar .661530.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.069	Conserve la hipótesis nula.
2	La distribución de PUNO es normal con la media 1.111 y la desviación estándar .821467.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.045	Rechace la hipótesis nula.
3	La distribución de SANROMAN es normal con la media 1.348 y la desviación estándar 1.007899.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.013	Rechace la hipótesis nula.
4	La distribución de CHUCUITO es normal con la media .890 y la desviación estándar .707786.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.012	Rechace la hipótesis nula.
5	La distribución de YUNGUYO es normal con la media .961 y la desviación estándar .768775.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.
6	La distribución de LAMPA es normal con la media 1.176 y la desviación estándar .815666.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.086	Conserve la hipótesis nula.
7	La distribución de MELGAR es normal con la media .652 y la desviación estándar .478798.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.047	Rechace la hipótesis nula.
8	La distribución de AZANGARO es normal con la media .603 y la desviación estándar .476908.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.
9	La distribución de MOHO es normal con la media .673 y la desviación estándar .635666.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.
10	La distribución de HUANCANE es normal con la media .580 y la desviación estándar .510483.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.
11	La distribución de SANDIA es normal con la media .134 y la desviación estándar .249985.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.003	Rechace la hipótesis nula.
12	La distribución de CARABAYA es normal con la media .215 y la desviación estándar .240245.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.005	Rechace la hipótesis nula.
13	La distribución de SANANTONIODEPUTINA es normal con la media .375 y la desviación estándar .383479.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.005	Rechace la hipótesis nula.

a. El nivel de significación es de .050.

b. Lilliefors corregido. Se muestra la significancia asintótica.

Anexo 13: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para NO₂, durante el período 2018 - 2024.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ELCOLLAO	.121	72	.011	.943	72	.003
PUNO	.110	72	.030	.950	72	.006
SANROMÁN	.112	72	.025	.953	72	.009
CHUCUITO	.095	72	.170	.947	72	.005
YUNGUYO	.118	72	.014	.940	72	.002
LAMPA	.082	72	.200 [*]	.962	72	.028
MELGAR	.080	72	.200 [*]	.966	72	.050
AZANGARO	.096	72	.095	.957	72	.015
MOHO	.110	72	.032	.944	72	.003
HUANCANE	.116	72	.018	.949	72	.006
SANDIA	.155	72	<.001	.889	72	<.001
CARABAYA	.124	72	.008	.940	72	.002
SANANTONIODEPUTINA	.104	72	.053	.946	72	.004

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La distribución de ELCOLLAO es normal con la media 41.430 y la desviación estándar 4.522791.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.011	Rechace la hipótesis nula.
2	La distribución de PUNO es normal con la media 42.100 y la desviación estándar 4.500489.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.030	Rechace la hipótesis nula.
3	La distribución de SANROMÁN es normal con la media 42.419 y la desviación estándar 4.751481.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.025	Rechace la hipótesis nula.
4	La distribución de CHUCUITO es normal con la media 42.180 y la desviación estándar 4.538291.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.170	Conserve la hipótesis nula.
5	La distribución de YUNGUYO es normal con la media 43.088 y la desviación estándar 4.314855.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.014	Rechace la hipótesis nula.
6	La distribución de LAMPA es normal con la media 40.680 y la desviación estándar 4.434938.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
7	La distribución de MELGAR es normal con la media 39.751 y la desviación estándar 4.209953.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
8	La distribución de AZANGARO es normal con la media 40.080 y la desviación estándar 4.363134.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.095	Conserve la hipótesis nula.
9	La distribución de MOHO es normal con la media 39.906 y la desviación estándar 4.383965.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.032	Rechace la hipótesis nula.
10	La distribución de HUANCANE es normal con la media 39.955 y la desviación estándar 4.527464.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.018	Rechace la hipótesis nula.
11	La distribución de SANDIA es normal con la media 40.575 y la desviación estándar 5.937475.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.
12	La distribución de CARABAYA es normal con la media 39.037 y la desviación estándar 4.593648.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.008	Rechace la hipótesis nula.
13	La distribución de SANANTONIODEPUTINA es normal con la media 39.174 y la desviación estándar 4.335193.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.053	Conserve la hipótesis nula.

a. El nivel de significación es de .050.

b. Lilliefors corregido. Se muestra la significancia asintótica.

c. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Anexo 14: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para CO, durante el período 2018 - 2024.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ELCOLLAO	.073	68	.200*	.959	68	.025
PUNO	.074	68	.200*	.955	68	.015
SANROMAN	.075	68	.200*	.954	68	.013
CHUCUITO	.087	68	.200*	.936	68	.002
YUNGUYO	.105	68	.059	.916	68	<.001
LAMPA	.087	68	.200*	.949	68	.008
MELGAR	.092	68	.200*	.949	68	.008
AZANGARO	.084	68	.200*	.945	68	.005
MOHO	.115	68	.026	.921	68	<.001
HUANCANE	.093	68	.200*	.931	68	<.001
SANDIA	.157	68	<.001	.845	68	<.001
CARABAYA	.133	68	.004	.889	68	<.001
SANANTONIODEPUTINA	.098	68	.171	.921	68	<.001

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La distribución de ELCOLLAO es normal con la media 96.543 y la desviación estándar 13.541514.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
2	La distribución de PUNO es normal con la media 101.183 y la desviación estándar 14.631612.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
3	La distribución de SANROMAN es normal con la media 103.123 y la desviación estándar 14.945711.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
4	La distribución de CHUCUITO es normal con la media 101.394 y la desviación estándar 15.160822.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
5	La distribución de YUNGUYO es normal con la media 113.631 y la desviación estándar 17.646020.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.059	Conserve la hipótesis nula.
6	La distribución de LAMPA es normal con la media 99.014 y la desviación estándar 14.809569.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
7	La distribución de MELGAR es normal con la media 105.286 y la desviación estándar 16.008606.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
8	La distribución de AZANGARO es normal con la media 105.969 y la desviación estándar 16.588919.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
9	La distribución de MOHO es normal con la media 105.034 y la desviación estándar 17.187520.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.026	Rechace la hipótesis nula.
10	La distribución de HUANCANE es normal con la media 104.405 y la desviación estándar 16.681696.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
11	La distribución de SANDIA es normal con la media 162.831 y la desviación estándar 35.281712.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.
12	La distribución de CARABAYA es normal con la media 135.474 y la desviación estándar 25.971528.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.004	Rechace la hipótesis nula.
13	La distribución de SANANTONIODEPUTINA es normal con la media 103.182 y la desviación estándar 17.432044.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.171	Conserve la hipótesis nula.

a. El nivel de significación es de .050.

b. Lilliefors corregido. Se muestra la significancia asintótica.

c. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Anexo 15: Resultados del Análisis de la Prueba de Normalidad utilizando Software estadístico SPSS para HCHO, durante el período 2018 - 2024.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ELCOLLAO	.076	69	.200 [*]	.966	69	.057
PUNO	.074	69	.200 [*]	.977	69	.231
SANROMAN	.096	69	.193	.977	69	.224
CHUCUITO	.077	69	.200 [*]	.970	69	.094
YUNGUYO	.100	69	.085	.983	69	.466
LAMPA	.109	69	.041	.952	69	.010
MELGAR	.107	69	.047	.963	69	.038
AZANGARO	.124	69	.011	.956	69	.017
MOHO	.101	69	.077	.966	69	.059
HUANCANE	.093	69	.200 [*]	.966	69	.055
SANDIA	.169	69	<.001	.885	69	<.001
CARABAYA	.133	69	.004	.926	69	<.001
SANANTONIODEPUTINA	.074	69	.200 [*]	.983	69	.473

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La distribución de ELCOLLAO es normal con la media 72.437 y la desviación estándar 15.845397.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
2	La distribución de PUNO es normal con la media 78.773 y la desviación estándar 14.321782.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
3	La distribución de SANROMAN es normal con la media 80.351 y la desviación estándar 16.145042.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.193	Conserve la hipótesis nula.
4	La distribución de CHUCUITO es normal con la media 78.967 y la desviación estándar 15.022821.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
5	La distribución de YUNGUYO es normal con la media 87.373 y la desviación estándar 16.250044.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.085	Conserve la hipótesis nula.
6	La distribución de LAMPA es normal con la media 76.255 y la desviación estándar 18.342872.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.041	Rechace la hipótesis nula.
7	La distribución de MELGAR es normal con la media 77.396 y la desviación estándar 18.925604.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.047	Rechace la hipótesis nula.
8	La distribución de AZANGARO es normal con la media 76.658 y la desviación estándar 19.482226.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.011	Rechace la hipótesis nula.
9	La distribución de MOHO es normal con la media 80.406 y la desviación estándar 21.270574.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.077	Conserve la hipótesis nula.
10	La distribución de HUANCANE es normal con la media 74.390 y la desviación estándar 22.282157.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.
11	La distribución de SANDIA es normal con la media 108.948 y la desviación estándar 29.488912.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	<.001	Rechace la hipótesis nula.
12	La distribución de CARABAYA es normal con la media 89.278 y la desviación estándar 19.588465.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.004	Rechace la hipótesis nula.
13	La distribución de SANANTONIODEPUTINA es normal con la media 73.778 y la desviación estándar 19.767802.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	.200 ^c	Conserve la hipótesis nula.

a. El nivel de significación es de .050.

b. Lilliefors corregido. Se muestra la significancia asintótica.

c. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Anexo 16: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con precipitación en la provincia de Sandía.

Correlaciones

		SANDIA.SO2	
Rho de Spearman	Prec.CO ₂ San	Coefficiente de correlación	-.427
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	65

Anexo 17: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con precipitación en la provincia de Carabaya.

Correlaciones

		CARABAYA. SO2	
Rho de Spearman	Prec.CO ₂ Carab	Coefficiente de correlación	-.415
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	69

Anexo 18: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con precipitación en la provincia de San Román.

Correlaciones

		SANROMAN. SO2	
Rho de Spearman	Prec.CO ₂ Rom	Coefficiente de correlación	-.742
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	68

Anexo 19: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con precipitación en la provincia de Yunguyo.

Correlaciones

		YUNGUYO. SO2	
Rho de Spearman	Prec.CO ₂ Yun	Coefficiente de correlación	-.782
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	51

Anexo 20: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con precipitación en la provincia de Lampa.

Correlaciones

			LAMPA.SO2
Rho de Spearman	Prec.COLam	Coefficiente de correlación	-.714
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	64

Anexo 21: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Lampa.

Correlaciones

			LAMPA.SO2
Rho de Spearman	TMin.COLam	Coefficiente de correlación	-.811
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	67

Anexo 22: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con Temperatura Mínima en la provincia de San Román.

Correlaciones

			SANROMAN. SO2
Rho de Spearman	TMin.COSRom	Coefficiente de correlación	-.664
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	69

Anexo 23: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración SO₂ con Temperatura Mínima en la provincia de San Román.

Correlaciones

			YUNGUYO. SO2
Rho de Spearman	TMin.COYun	Coefficiente de correlación	-.610
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	52

Anexo 24: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO₂ con Precipitación en la provincia de Yunguyo.

Correlaciones

		YUNGUYO. NO2	
Rho de Spearman	Prec.COYun	Coefficiente de correlación	.548
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	51

Anexo 25: Resultado de Rho de Spearman de correlación de concentración NO₂ con Temperatura Mínima en la provincia de Yunguyo.

Correlaciones

		YUNGUYO. NO2	
Rho de Spearman	TMin.COYun	Coefficiente de correlación	.541
		Sig. (bilateral)	<.001
		N	52

Anexo 26: Panorama general sobre las características y particularidades de cada provincia dentro del departamento de Puno.

Provincia	Área (km ²)	Población	Coordenadas	Den Pobl. (hab/km ²)	m.s.n.m.	Límites	Descripción
Puno	11,496.64	219.494	15°50'S, 70°01'O	19.52	3.848	Al norte con San Román y Lampa, Al este con el lago Titicaca, Al sur con Chucuito Al oeste con Moquegua y Arequipa	Es la capital de la región y es conocida por su rica historia cultural, su economía está orientada al turismo, agricultura y comercio.
San Román	2,277.63	307.417	15°29'S, 70°08'O	155.02	3.877	Al norte con Azángaro, Al este con Huancané y Lampa, Al sur con Puno, Al oeste con Melgar	Es una de las provincias más urbanizadas, con Juliaca como su capital. La economía es diversa, incluyendo comercio, industria y agricultura.
El Collao	5,600.51	63.878	16°01'S, 69°47'O	11.49	3.907	Al norte con Chucuito, Al este con Bolivia, Al sur con Tacna, Al oeste con Moquegua	Se destaca por sus paisajes andinos y su cercanía al lago Titicaca. La economía se basa en la agricultura y la ganadería.
Azángaro	4,970.01	110.392	14°54'S, 70°12'O	21.99	3.878	Al norte con Carabaya y San Antonio de Putina, Al este con Huancané, Al sur con San Román, Al oeste con Melgar.	Es una provincia con una fuerte tradición agropecuaria, siendo uno de los principales centros de producción ganadera de la región.
Carabaya	12,266.40	73.322	13°47'S, 70°48'O	6.50	4.311	Al norte con Madre de Dios, Al este con Bolivia, Al sur con Sandía y Azángaro, Al oeste con Melgar y Cusco	Provincia con actividades agropecuarias, de baja densidad poblacional. El territorio está conformado por selva alta. La minería es una actividad económica importante aquí.
Chucuito	3,978.13	89.002	16°15'S, 69°36'O	21.43	3.878	Al norte con Puno, Al este con Bolivia, Al sur con El Collao, Al oeste con Moquegua	Es una provincia conocida por sus prácticas agrícolas y ganaderas.

Huancané	2,805.85	57.651	15° 14'S, 69° 45'O	20.46	3.866	Al norte con Moho, al este con Bolivia, al sur con Azángaro y Puno, al oeste con San Antonio de Putina.	La economía está basada en la agricultura y ganadería, con un crecimiento notable en la actividad artesanal y textil.
Lampa	5,791.73	40.856	15° 20'S, 70° 22'O	7.14	3.881	Al norte con Melgar, Al este con San Román, Al sur con Puno, Al oeste con Cusco y Arequipa	La economía es mayoritariamente agrícola, con importantes cultivos de papa, quinua y cebada.
Melgar	6,446.85	67.138	14° 41'S, 70° 36'O	10.63	3.937	Al norte con Cusco y Carabaya, Al este con Azángaro y Lampa, Al sur con San Román, Al oeste con Ayacucho	Es conocida por su producción ganadera y agrícola.
Moho	1,005.25	19.753	15° 16'S, 69° 25'O	18.35	3.902	Al norte con San Antonio de Putina, Al este con Bolivia, Al sur con Huancané, Al oeste con San Antonio de Putina.	Es la provincia más pequeña y menos poblada de Puno. Es conocida por su paisaje montañoso, con una economía predominantemente agrícola.
San Antonio de Putina	3,207.38	36.113	14° 49'S, 69° 53'O	10.36	3.878	Al norte con Sandía, al este con Huancané, al sur con Azángaro, al oeste con Carabaya.	Esta provincia es conocida por su riqueza minera y agrícola.
Sandía	11,862.41	50.742	14° 23'S, 69° 26'O	4.63	2.206	Al norte con Madre de Dios, Al este con Bolivia, Al sur con San Antonio de Putina, Al oeste con Carabaya	Es una región con fuertes tradiciones agrícolas y es conocida por la producción de café y té.
Yunguyo	290.21	36,939	16° 15'S, 69° 06'O	125.03	3.850	Al norte y oeste con Chucuito, Al este con Bolivia, Al sur con el lago Titicaca	Está situada cerca de la frontera con Bolivia y tiene un fuerte intercambio cultural y comercial con este país.

fuentes: (INEI, 2022)

Anexo 27: Puno: Temperatura y precipitación promedio mensual según estación meteorológica, 2018 - 2024.

Estación - 2018	Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
CP. Chuquibambilla	T. Máxima	15.6	15.8	15.3	17.2	17.7	15.7	15.2	15.3	18.2	16.7	18.2	18.6
	T. Mínima	3.0	3.8	3.3	-1.4	-6.3	-6.3	-8.3	-5.7	-5.8	-0.4	0.4	1.6
CP. Puno	Precipitación	131.1	147.7	167.8	22.1	0.0	18.9	27.4	41.3	11.7	78.3	99.8	53.3
	T. Máxima	16.0	15.3	15.1	15.7	15.5	14.0	14.4	15.0	16.8	16.6	19.1	17.8
CO. Azángaro	T. Mínima	5.8	6.2	6.1	4.3	1.6	1.2	1.3	1.4	2.4	5.5	6.6	6.0
	Precipitación	171.1	152.1	114.1	33.2	7.8	12.9	32.1	0.0	3.6	45.5	22.7	89.8
CO. Cabanillas	T. Máxima	16.3	15.9	16.0	16.8	17.2	15.4	15.9	16.5	18.5	17.6	19.1	18.3
	T. Mínima	5.1	5.6	5.2	1.6	-1.8	-2.0	-2.8	-0.3	0.0	3.9	5.0	4.1
CO. Capachica	Precipitación	105.0	102.6	149.3	24.2	6.1	26.0	22.1	7.5	4.6	68.3	73.5	68.9
	T. Máxima	16.7	16.0	16.6	17.2	17.4	15.7	16.0	16.8	19.1	18.7	20.4	18.8
CO. Crucero	T. Mínima	3.1	3.4	5.3	1.9	0.8	-0.5	-0.9	-0.6	-0.2	3.6	4.6	3.1
	Precipitación	157.0	139.5	183.5	43.7	5.7	13.3	25.6	0.8	0.0	39.1	63.3	118.4
CO. Cuyo Cuyo	T. Máxima	14.7	14.0	14.6	15.0	14.6	13.2	13.9	14.5	16.1	16.1	17.6	16.2
	T. Mínima	4.2	4.4	4.2	1.0	-2.9	-3.1	-2.8	-2.4	-1.7	3.2	3.4	3.2
CO. Cuyo Cuyo	Precipitación	190.4	163.2	136.2	33.0	14.6	18.7	35.3	11.1	9.7	70.1	29.6	81.2
	T. Máxima	15.5	14.2	14.3	15.3	15.9	14.8	14.2	14.2	15.2	14.9	15.1	15.6
CO. Cuyo Cuyo	T. Mínima	2.2	2.2	1.2	-1.7	-7.4	-7.7	-9.2	-3.7	-5.8	0.9	1.7	-0.1
	Precipitación	120.7	118.4	147.7	14.6	3.3	10.9	26.6	10.6	8.0	57.7	48.8	42.6
CO. Cuyo Cuyo	T. Máxima	11.7	12.1	13.6	13.2	13.0	12.2	13.7	12.1	13.6	12.7	13.5	13.3

	T. Mínima	5.3	5.3	5.5	4.0	2.9	2.1	2.0	2.9	3.5	5.8	6.1	6.0
	Precipitación	97.9	151.7	137.9	32.9	2.7	30.7	34.0	36.9	18.1	55.1	41.8	50.0
CO. Desaguadero	T. Máxima	15.5	15.1	15.7	15.6	15.0	12.9	13.9	13.9	15.7	15.9	17.2	16.8
	T. Mínima	5.5	5.6	5.6	2.8	-1.8	-1.1	-1.1	-1.2	-1.0	4.5	4.6	4.6
	Precipitación	204.4	144.2	101.3	11.3	0.0	32.4	41.0	7.0	0.0	87.5	62.4	98.3
CO. Huaraya Moho	T. Máxima	15.0	14.8	14.8	15.5	15.0	13.5	14.0	15.0	16.7	15.6	17.7	17.2
	T. Mínima	4.4	4.6	4.3	1.5	-1.0	-0.8	-1.7	-0.9	-0.2	3.6	4.5	3.6
	Precipitación	111.3	159.9	207.1	20.1	24.1	25.3	15.9	2.6	6.2	82.6	18.3	105.1
CO. Isla Taquile	T. Máxima	16.1	17.4	15.8	16.3	14.9	14.1	14.4	14.8	16.5	16.8	19.0	17.8
	T. Mínima	6.5	6.5	6.7	6.1	4.5	3.3	2.7	3.9	5.1	6.2	7.8	6.8
	Precipitación	211.9	211.8	218.0	86.3	16.7	22.5	74.8	4.9	4.8	89.5	8.5	85.4
CO. Juli	T. Máxima	13.9	13.8	14.1	14.7	14.2	12.9	13.1	13.5	14.7	14.9	16.5	15.6
	T. Mínima	5.4	5.4	5.5	3.4	1.0	0.5	0.7	1.1	1.8	4.9	5.8	5.2
	Precipitación	257.8	246.4	169.1	31.7	4.5	24.8	34.3	25.6	7.7	103.5	12.2	72.1
CO. Juliaca	T. Máxima	16.6	16.3	16.9	17.8	17.7	15.8	15.9	17.0	19.0	18.7	20.8	19.0
	T. Mínima	4.9	5.2	4.7	-0.1	-4.1	-4.1	-4.0	-3.6	-3.2	2.8	2.8	3.4
	Precipitación	125.7	157.1	149.1	32.1	13.2	13.1	23.6	0.0	0.2	48.0	50.2	93.3
CO. Lampa	T. Máxima	15.5	16.2	16.5	17.6	17.0	15.6	16.0	15.9	18.4	17.8	19.7	18.4
	T. Mínima	4.1	3.8	3.7	-0.4	-4.5	-3.7	-3.8	-0.7	-4.3	2.0	1.7	2.0
	Precipitación	119.2	175.7	126.2	32.4	5.6	18.7	34.8	26.7	1.3	134.5	66.4	118.1
CO. Laraqueiri	T. Máxima	16.5	15.8	16.0	17.3	16.6	14.6	14.9	15.9	18.1	17.8	20.0	18.6

	T. Mínima	3.2	3.7	2.7	-2.7	-6.7	-6.2	-5.8	-6.3	-6.0	0.8	1.8	2.0
	Precipitación	141.5	213.2	73.5	50.7	6.7	28.9	30.3	0.0	3.2	66.7	48.6	108.0
CO. Macusani	T. Máxima	10.5	11.2	11.5	11.9	12.5	10.3	10.4	11.2	12.8	11.4	12.4	12.6
	T. Mínima	-0.5	0.1	-0.7	-2.4	-7.2	-7.5	-7.3	-3.8	-4.0	0.6	1.8	0.2
	Precipitación	138.0	128.1	168.0	9.2	7.5	31.0	37.0	8.5	27.0	91.5	90.8	77.0
CO. Mañazo	T. Máxima	15.9	15.3	15.9	16.6	16.6	14.8	14.9	16.0	18.3	17.9	20.0	18.4
	T. Mínima	4.7	4.6	4.3	0.9	-1.0	-0.6	-1.2	-1.0	-0.7	3.5	4.5	4.3
	Precipitación	161.0	146.6	118.3	40.6	0.0	14.0	22.9	0.0	0.0	49.6	46.2	96.3
CO. Mazocruz	T. Máxima	17.1	16.5	16.8	18.3	17.6	14.6	14.2	16.3	18.9	19.3	21.5	19.9
	T. Mínima	2.5	-0.1	1.4	-4.7	-9.6	-7.1	-7.5	-9.2	-11.8	-3.2	-4.5	-1.7
	Precipitación	172.1	168.6	83.2	42.3	1.4	14.1	43.4	0.2	0.6	43.2	14.4	93.6
CO. Putina	T. Máxima	15.8	15.8	16.3	17.0	17.5	16.3	16.6	16.9	18.8	17.1	18.5	17.7
	T. Mínima	3.0	4.6	4.5	-0.6	-3.4	-3.5	-4.3	-2.0	-2.1	2.9	4.0	2.5
	Precipitación	73.9	132.4	114.9	38.4	0.9	31.2	19.1	19.3	7.6	128.7	90.2	87.4
CO. San Gabán	T. Máxima	28.1	29.3	27.6	29.2	28.2	25.1	27.9	26.9	30.6	30.2	28.0	28.8
	T. Mínima	12.2	12.1	11.1	10.6	9.2	7.0	11.6	8.9	10.1	10.9	11.4	10.8
	Precipitación	948.9	713.1	874.7	486.4	331.6	393.9	137.2	334.2	162.5	692.5	582.1	1234.4
CO. Tambopata 1/	T. Máxima	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	T. Mínima	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Precipitación	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Continúa..

Estación - 2019	Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
CP. Chuquibambilla	T. Máxima	18.3	17.3	17.1	17.7	16.0	16.6	15.4	17.8	18.9	17.6	17.9	16.7
	T. Mínima	4.5	5.8	4.5	2.7	-1.4	-9.0	-10.1	-9.7	-3.5	-3.9	1.6	2.3
	Precipitación	203.8	212.8	111.1	53.6	32.2	0.0	0.0	0.0	5.5	31.4	115.5	141.6
CP. Puno	T. Máxima	16.8	16.0	16.6	16.4	15.6	15.6	15.0	16.2	17.4	17.5	17.1	17.7
	T. Mínima	7.0	7.0	6.7	5.6	3.4	0.7	0.5	1.3	4.6	4.7	5.8	6.8
	Precipitación	152.0	7837.0	43.7	58.6	21.7	2.2	7.6	0.0	12.6	39.9	92.5	81.5
CO. Azángaro	T. Máxima	17.2	16.6	17.4	17.1	16.4	17.0	17.0	18.1	19.0	18.5	18.0	17.9
	T. Mínima	5.2	5.6	5.0	4.1	2.2	-3.2	-3.9	-3.6	1.0	2.1	4.4	5.4
	Precipitación	122.3	71.3	111.7	61.7	33.5	0.0	0.3	0.0	3.3	65.0	S/D	116.7
CO. Cabanillas	T. Máxima	17.1	16.7	17.3	17.3	16.9	17.2	17.4	18.2	18.9	18.6	18.5	19.1
	T. Mínima	4.2	4.3	3.6	1.7	2.7	-3.6	-1.1	-1.4	2.7	2.0	4.2	5.0
	Precipitación	93.2	135.4	64.8	57.5	12.8	0.6	5.5	0.0	15.1	41.2	70.7	100.1
CO. Capachica	T. Máxima	15.6	15.0	15.8	14.1	14.6	14.0	14.0	15.2	16.5	16.1	15.8	16.6
	T. Mínima	4.4	4.7	4.0	2.2	1.0	-4.7	-4.6	-4.6	0.2	0.9	3.6	4.5
	Precipitación	93.9	122.1	94.2	59.3	42.2	13.2	15.6	0.0	28.1	55.0	98.8	71.7
CO. Crucero	T. Máxima	15.2	14.7	14.9	15.3	15.1	15.0	14.8	15.5	15.8	15.7	15.5	14.9
	T. Mínima	1.7	2.4	1.1	-0.3	-1.8	-9.1	-9.1	-9.9	-4.5	-0.3	1.3	1.9
	Precipitación	88.8	120.5	113.2	48.4	14.6	8.6	6.4	0.0	0.1	44.9	99.0	99.6
CO. Cuyo Cuyo	T. Máxima	12.9	12.2	13.6	13.5	13.2	14.1	13.2	13.9	13.7	13.3	13.3	12.9
	T. Mínima	6.0	6.1	5.4	4.5	4.1	2.9	3.0	2.6	4.0	4.5	5.5	5.8

	Precipitación	116.2	108.5	93.9	35.4	31.8	7.3	12.1	2.9	29.3	91.4	70.7	124.0
CO. Desaguadero	T. Máxima	15.9	16.1	16.5	15.8	14.2	15.3	14.3	15.2	15.8	16.5	16.9	16.4
	T. Mínima	5.9	6.2	5.8	4.2	0.8	-2.6	-3.0	-3.4	S/D	S/D	S/D	S/D
	Precipitación	263.4	164.4	135.6	76.5	53.9	12.2	18.5	0.0	61.4	54.6	95.7	133.2
CO. Huaraya Moho	T. Máxima	15.4	15.3	15.9	15.7	15.0	14.9	14.6	15.2	16.6	16.4	16.4	16.2
	T. Mínima	4.9	5.0	3.9	3.1	1.7	-1.9	-2.1	-2.3	1.1	1.4	4.2	4.9
	Precipitación	123.8	139.1	116.2	107.1	40.3	9.7	20.9	0.0	17.1	61.2	108.1	174.6
CO. Isla Taquile	T. Máxima	17.1	16.4	17.1	16.3	15.5	15.2	14.5	16.0	16.8	18.7	18.0	18.1
	T. Mínima	7.0	5.5	6.4	6.6	5.2	3.9	3.8	3.5	5.7	5.3	5.9	7.2
	Precipitación	194.2	145.1	103.7	79.3	46.1	1.0	39.7	S/D	40.2	24.4	143.1	88.5
CO. Juli	T. Máxima	14.6	14.4	15.0	15.2	13.9	14.2	13.8	14.1	14.8	14.9	15.0	15.4
	T. Mínima	6.2	6.1	5.5	4.8	2.7	0.2	-0.2	0.3	3.3	3.2	4.9	5.7
	Precipitación	291.4	181.7	107.8	82.6	35.3	12.8	17.9	2.6	46.0	S	124.2	87.0
CO. Juliaca	T. Máxima	17.8	16.9	18.4	18.1	17.4	17.4	17.0	18.2	19.3	19.0	18.9	19.4
	T. Mínima	4.8	5.1	4.5	2.8	-0.3	-5.8	-5.9	-6.6	-0.6	0.4	2.8	4.7
	Precipitación	100.8	134.5	61.1	69.7	19.3	4.5	10.8	0.0	16.2	73.9	54.8	73.3
CO. Lampa	T. Máxima	17.1	16.7	18.1	17.7	16.2	17.1	16.8	18.0	18.4	18.5	18.3	18.4
	T. Mínima	3.6	3.4	3.4	2.6	-1.2	-4.7	-5.0	-5.7	-1.1	-1.1	1.5	3.2
	Precipitación	150.5	153.1	101.2	85.2	24.5	5.9	7.8	0.0	44.8	64.8	S/D	78.9
CO. Laraqueri	T. Máxima	17.0	16.4	17.2	16.9	16.5	16.6	16.3	17.5	18.2	17.9	18.0	18.2
	T. Mínima	3.8	3.8	1.6	0.0	-2.8	-8.1	-8.8	-8.8	-2.8	-2.1	2.3	2.8

	Precipitación	158.8	177.6	62.5	43.0	10.5	8.7	2.5	0.0	56.6	49.1	112.2	103.5
CO. Macusani	T. Máxima	11.3	11.0	11.5	12.2	11.7	12.3	12.2	12.8	12.8	12.8	12.7	11.9
	T. Mínima	1.4	1.9	1.4	0.1	-0.9	-7.0	-8.5	-8.9	-3.8	-1.9	0.3	0.6
	Precipitación	151.4	116.5	111.5	60.0	30.5	1.5	0.5	0.0	11.5	33.7	110.5	207.5
CO. Mañazo	T. Máxima	16.3	15.6	16.8	17.1	16.8	16.4	16.1	17.3	17.9	18.0	17.5	17.7
	T. Mínima	5.0	5.3	4.1	2.4	1.5	-3.0	-3.2	-3.5	1.1	0.8	3.8	4.6
	Precipitación	125.2	181.5	75.4	35.1	14.4	8.2	1.5	0.0	24.5	32.1	142.1	135.8
CO. Mazocruz	T. Máxima	17.8	17.4	18.1	17.6	17.1	17.1	16.6	18.4	18.8	18.7	19.0	20.2
	T. Mínima	2.2	2.8	-0.8	-2.7	-6.2	-11.4	-11.9	-12.7	-5.0	-6.7	-0.7	-0.5
	Precipitación	206.2	152.0	54.2	24.0	13.2	5.6	7.4	0.0	40.6	27.4	63.4	83.2
CO. Putina 2/	T. Máxima	...	...	17.4	18.1	16.4	18.7	18.7	19.7	20.3	18.5	18.1	17.7
	T. Mínima	...	...	3.5	2.8	0.8	-5.2	-5.7	-6.0	-1.3	-0.1	2.3	4.5
	Precipitación	...	...	51.5	75.5	22.3	0.8	1.4	0.0	6.3	67.5	S/D	89.3
CO. San Gabán	T. Máxima	29.2	29.0	28.7	29.6	28.4	28.3	26.8	29.9	30.9	29.4	30.2	28.2
	T. Mínima	11.0	14.1	12.8	11.0	17.6	11.8	9.5	9.6	13.5	13.5	15.6	18.4
	Precipitación	805.7	818.1	717.8	676.2	476.5	268.0	279.3	89.6	254.8	561.6	618.6	791.1
CO. Tambopata 1/	T. Máxima	...	...	...	...	...	...	25.4	28.5	29.4	28.9	29.6	27.1
	T. Mínima	...	...	...	...	...	...	14.4	14.4	15.0	15.7	18.7	17.9
	Precipitación	...	...	...	...	...	...	31.8	22.6	68.3	117.7	271.8	227.7

Continúa...

Estación - 2020	Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
CP. Chuquibambilla	T. Máxima	16.2	16.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	T. Mínima	3.5	4.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	Precipitación	248.7	200.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
CP. Puno	T. Máxima	16.7	16.3	15.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.5
	T. Mínima	7.0	7.2	7.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	6.7
CO. Azángaro	Precipitación	122.0	170.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	114.3
	T. Máxima	17.4	16.2	17.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.6	17.9	20.9	18.1
	T. Mínima	5.5	6.7	6.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	1.3	2.4	2.1	4.8
CO. Cabanillas	Precipitación	136.3	129.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	38.2	67.5	11.5	63.9
	T. Máxima	17.9	17.0	16.8	17.5	17.5	18.0	18.2	19.6	17.8	18.4	21.4	18.4
	T. Mínima	4.9	5.1	4.3	1.3	-0.3	-0.9	-2.1	-0.3	1.7	1.9	2.7	3.4
CO. Capachica	Precipitación	114.1	172.4	S/D	31.3	7.1	0.0	0.0	0.0	30.8	38.7	18.9	203.3
	T. Máxima	15.8	15.3	15.3	S/D	S/D	S/D	16.2	16.7	14.7	15.8	18.3	16.4
	T. Mínima	4.5	5.5	5.3	S/D	S/D	S/D	-4.5	-3.2	-0.5	2.0	1.3	4.3
CO. Crucero	Precipitación	106.3	271.1	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.6	35.6	47.7	4.4	133.0
	T. Máxima	15.2	14.7	15.5	S/D	S/D	S/D	15.0	15.3	15.5	15.6	16.5	15.1
	T. Mínima	2.0	2.7	2.2	S/D	S/D	S/D	-12.9	-12.3	-2.8	0.2	-1.9	1.0
CO. Cuyo Cuyo	Precipitación	78.2	121.2	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	7.8	38.4	7.8	135.8
	T. Máxima	12.9	13.2	13.1	S/D	S/D	S/D	13.1	13.7	12.7	13.0	13.7	11.5
	T. Mínima	6.1	6.4	5.2	S/D	S/D	S/D	3.2	3.2	3.0	4.8	4.3	5.8

	Precipitación	80.3	179.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.6	2.3	26.4	49.4	14.1	92.6
CO. Desaguadero	T. Máxima	16.3	16.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	T. Mínima	S/D	6.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	Precipitación	151.2	154.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
CO. Huaraya Moho	T. Máxima	15.9	15.4	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	15.4	17.3	16.1	15.7	19.1	16.2
	T. Mínima	4.8	5.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-3.2	-1.7	1.4	2.6	1.8	4.5
	Precipitación	121.4	312.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	1.3	69.3	96.9	0.0	189.1
CO. Isla Taquile	T. Máxima	16.8	16.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	T. Mínima	7.0	6.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	Precipitación	138.3	233.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
CO. Juli	T. Máxima	15.2	15.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	15.8	14.6	15.3	17.2	15.4
	T. Mínima	5.9	6.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.4	2.7	3.9	3.9	5.4
	Precipitación	138.6	176.9	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	37.5	65.7	34.9	257.4
CO. Juliaca	T. Máxima	18.7	17.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.0	19.5	18.4	18.6	21.8	18.8
	T. Mínima	4.9	6.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-8.2	-5.1	-0.5	1.3	0.2	4.4
	Precipitación	62.9	178.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	45.8	36.2	10.3	81.7
CO. Lampa	T. Máxima	18.0	16.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.0	19.2	17.7	17.1	21.3	18.6
	T. Mínima	2.9	4.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-7.0	-3.5	0.6	1.3	0.3	3.4
	Precipitación	119.0	188.2	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.4	0.0	30.1	85.2	25.1	126.3
CO. Laraqueri	T. Máxima	17.3	16.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.5	18.9	17.3	17.1	20.5	18.5
	T. Mínima	3.2	3.9	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-11.3	-6.8	-2.5	-0.5	-1.3	1.9

CO. Macusani	Precipitación	134.7	200.2	77.2	21.2	1.1	0.0	0.0	0.0	53.3	66.1	0.0	190.4
	T. Máxima	11.3	11.4	12.1	S/D	S/D	S/D	13.2	13.2	12.2	12.2	13.2	11.4
	T. Mínima	1.3	1.8	0.5	S/D	S/D	S/D	-9.0	-8.4	-2.5	-3.0	-2.9	-0.3
CO. Mañazo	Precipitación	136.5	192.0	S/D	S/D	S/D	S/D	3.5	0.0	47.0	19.9	27.0	114.5
	T. Máxima	17.4	16.0	16.2	S/D	S/D	17.1	17.3	18.4	16.9	17.2	20.8	18.1
	T. Mínima	5.1	5.8	S/D	S/D	S/D	-2.2	-3.8	-1.2	2.4	0.7	2.0	4.7
CO. Mazocruz	Precipitación	81.8	168.8	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	0.0	61.4	84.5	2.4	136.4
	T. Máxima	17.8	16.8	17.2	17.2	17.2	16.9	17.4	18.5	17.6	17.8	21.0	18.8
	T. Mínima	1.7	2.9	1.4	-3.2	-8.5	-11.6	-15.8	-10.9	-3.8	-6.5	-7.9	-1.9
CO. Putina 2/	Precipitación	113.3	214.8	S/D	12.6	0.4	0.0	0.0	0.0	45.8	24.8	6.0	177.2
	T. Máxima	17.8	16.3	17.4	S/D	S/D	17.7	18.1	19.6	17.5	18.6	20.8	18.0
	T. Mínima	4.5	5.7	4.3	S/D	S/D	-6.2	-6.4	-4.8	0.9	-0.3	-0.5	3.3
CO. San Gabán	Precipitación	115.7	199.7	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	3.4	62.1	25.6	8.1	59.7
	T. Máxima	29.7	S/D	30.4	S/D	28.1	26.9	26.8	29.1	S/D	30.1	S/D	28.7
	T. Mínima	18.1	S/D	18.4	S/D	16.2	15.2	15.2	16.1	S/D	17.8	S/D	19.0
CO. Tambopata 1/	Precipitación	1009.7	S/D	647.0	514.0	164.8	298.6	331.8	332.8	S/D	187.9	S/D	1024.3
	T. Máxima	29.1	27.1	29.6	S/D	S/D	26.6	27.0	28.3	31.4	29.8	31.1	27.8
	T. Mínima	17.8	18.0	16.1	S/D	S/D	15.5	15.3	14.4	15.7	15.0	18.7	17.9
Precipitación	112.0	338.4	S/D	S/D	S/D	S/D	15.9	26.8	67.9	42.4	113.6	148.4	

Continua...

Estación - 2021	Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
CP. Chuquibambilla	T. Máxima	15.7	15.3	15.0	15.5	15.1	15.9	17.3	17.9	19.2	19.6	19.0	S/D
	T. Mínima	2.5	2.7	1.8	-0.4	-5.2	-7.7	-8.0	-7.9	-2.0	-1.3	0.6	S/D
	Precipitación	170.5	114.4	157.9	91.6	0.0	0.0	0.0	0.0	29.4	42.1	54.3	S/D
CP. Puno	T. Máxima	S/D	S/D	14.6	15.6	15.4	15.7	15.7	16.6	17.3	18.7	18.4	16.3
	T. Mínima	S/D	S/D	5.2	4.1	2.1	0.6	0.9	1.4	4.5	4.9	6.0	6.2
	Precipitación	S/D	S/D	133.7	36.2	23.0	0.0	0.1	4.2	29.5	36.1	21.2	129.2
CO. Azángaro	T. Máxima	17.1	16.2	16.0	16.5	16.9	16.8	17.6	18.1	19.0	20.1	19.1	16.3
	T. Mínima	5.5	4.8	4.4	2.7	-1.0	-3.0	-4.3	-2.3	1.4	2.8	4.5	5.4
	Precipitación	166.0	77.4	145.4	40.5	0.4	0.3	0.0	0.0	8.6	47.7	96.8	159.6
CO. Cabanillas	T. Máxima	17.1	17.1	16.0	16.8	16.8	16.9	17.6	18.0	18.3	19.8	19.2	16.8
	T. Mínima	2.8	2.3	2.3	2.8	0.9	-0.8	-2.3	-1.0	1.2	2.5	4.6	4.8
	Precipitación	220.7	81.2	155.2	53.6	17.5	1.1	0.0	5.7	34.0	80.0	67.6	122.1
CO. Capachica	T. Máxima	15.1	15.4	14.6	14.9	14.5	14.4	15.2	15.7	16.2	17.4	17.1	14.9
	T. Mínima	4.3	4.4	3.9	1.0	-1.3	-3.4	-3.7	-2.5	0.4	1.5	3.9	4.6
	Precipitación	182.6	136.0	181.9	42.8	44.7	3.8	0.0	9.2	40.4	43.6	81.9	193.7
CO. Crucero	T. Máxima	15.6	15.3	15.4	15.7	15.8	15.7	15.7	16.2	16.1	16.5	15.5	15.1
	T. Mínima	1.2	0.6	1.1	-0.9	-5.5	-8.2	-10.9	-7.8	-3.3	-1.5	0.3	1.7
	Precipitación	72.5	55.0	65.8	69.8	8.4	0.0	0.0	0.0	0.9	11.0	84.1	146.3
CO. Cuyo Cuyo	T. Máxima	11.4	11.7	12.0	12.9	13.3	13.3	13.9	13.9	13.8	13.7	13.1	13.1
	T. Mínima	5.4	5.5	4.2	4.2	2.7	2.0	1.6	2.1	2.7	3.3	3.8	6.1

	Precipitación	113.3	142.7	66.1	27.6	3.1	0.0	1.6	3.1	1.6	40.6	33.5	84.9	125.1
CO. Desaguadero	T. Máxima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	T. Mínima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	Precipitación	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
CO. Huaraya Moho	T. Máxima	15.3	15.2	14.5	15.1	15.0	15.0	15.1	15.8	15.8	16.6	18.1	16.9	14.7
	T. Mínima	4.8	4.3	3.2	1.9	-0.1	-1.4	-2.2	-1.0	-1.0	1.6	2.4	3.7	4.9
	Precipitación	207.8	95.3	119.4	33.7	10.0	8.8	0.0	7.5	26.8	27.1	110.6	255.5	
CO. Isla Taquile	T. Máxima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.8	18.9	S/D	16.4
	T. Mínima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.0	5.9	6.1	6.1	S/D	6.3
	Precipitación	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	28.0	40.4	40.4	S/D	243.4
CO. Juli	T. Máxima	14.7	15.4	13.9	14.4	14.2	13.6	14.1	14.0	15.6	16.9	16.9	16.4	14.2
	T. Mínima	4.7	4.9	3.9	3.7	1.9	-0.3	0.1	0.8	3.5	4.1	4.1	5.5	5.4
	Precipitación	188.2	117.0	238.7	49.6	10.6	0.0	0.0	14.7	25.0	16.6	56.7	243.0	
CO. Juliaca	T. Máxima	17.2	17.1	16.4	17.4	17.3	17.2	17.6	18.4	19.0	19.9	19.9	19.6	16.9
	T. Mínima	5.0	4.6	4.0	0.8	-2.1	-5.6	-5.9	-4.3	0.6	1.4	1.4	2.8	4.9
	Precipitación	151.9	21.5	68.6	22.6	30.8	0.5	0.0	8.0	30.8	60.2	66.6	105.9	
CO. Lampa	T. Máxima	15.9	17.1	15.3	16.7	17.4	18.3	17.7	18.6	18.5	19.3	19.3	19.2	16.5
	T. Mínima	4.6	4.0	3.8	0.7	-1.3	-4.2	-6.0	-3.0	1.2	0.8	0.8	1.6	3.5
	Precipitación	207.8	72.6	122.8	12.2	5.5	3.2	0.0	0.6	49.8	41.5	56.9	134.3	
CO. Laraqueri	T. Máxima	16.5	16.8	15.6	16.8	16.6	16.2	16.8	16.9	18.0	19.5	19.5	19.3	16.1
	T. Mínima	2.7	2.3	2.1	-1.4	-4.8	-7.4	-7.9	-6.7	-2.4	-0.5	1.7	3.6	

	Precipitación	209.3	74.4	121.4	16.9	11.0	0.0	0.0	7.8	39.9	22.0	58.5	182.0
CO. Macusani	T. Máxima	11.7	11.2	11.1	11.6	12.2	12.4	12.6	12.9	13.0	14.0	13.1	12.1
	T. Mínima	0.1	0.2	-0.8	-2.2	-5.9	-7.5	-10.1	-7.5	-4.1	-2.7	-0.9	0.2
	Precipitación	97.5	134.5	123.5	58.0	11.5	1.5	0.0	0.0	11.5	17.0	106.5	152.0
CO. Mañazo	T. Máxima	16.2	16.1	15.1	15.9	16.0	16.1	16.4	17.0	17.7	19.4	18.9	16.0
	T. Mínima	4.4	4.1	4.1	2.1	0.2	-1.7	-1.8	-0.8	2.0	2.4	4.4	4.9
	Precipitación	244.2	58.6	156.8	58.2	21.4	0.0	0.0	7.9	30.3	60.5	38.6	197.6
CO. Mazocruz	T. Máxima	16.8	17.4	15.8	16.7	16.5	15.9	16.7	17.0	18.7	19.8	19.9	16.6
	T. Mínima	1.5	0.7	1.2	-3.5	-7.5	-10.8	-11.1	-10.2	-6.0	-6.1	-3.6	1.9
	Precipitación	183.4	64.9	164.0	20.4	9.6	0.0	0.0	2.0	38.2	16.8	36.4	145.8
CO. Putina 2/	T. Máxima	16.4	16.2	15.9	16.7	17.1	17.1	18.1	18.7	19.3	20.1	18.9	15.9
	T. Mínima	4.3	3.5	3.5	1.8	-1.5	-4.0	-5.7	-3.8	-0.3	1.5	2.9	4.8
	Precipitación	145.0	73.8	111.8	107.8	11.2	0.0	0.0	2.7	26.8	31.4	65.9	169.4
CO. San Gabán	T. Máxima	28.0	29.0	28.4	S/D	27.7	25.6	26.0	29.3	32.0	30.5	S/D	29.5
	T. Mínima	18.3	15.6	18.1	S/D	16.5	15.0	13.2	15.8	17.7	17.9	S/D	18.9
	Precipitación	1866.8	704.1	770.4	S/D	374.3	414.8	192.3	67.3	176.3	434.6	S/D	676.6
CO. Tambopata 1/	T. Máxima	27.2	27.4	27.6	25.9	24.9	23.2	23.9	26.3	26.6	26.1	24.9	24.7
	T. Mínima	17.9	17.7	17.0	17.2	15.4	15.3	13.9	14.8	15.0	15.7	16.6	17.1
	Precipitación	163.4	122.5	110.5	75.0	25.2	99.5	65.7	42.1	113.1	162.4	236.6	217.6

Continua...

Estación - 2022	Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
CP. Chuquibambilla	T. Máxima	15.31	15.7	16.1	17.2	17.0	16.0	17.3	17.8	19.4	20.5	21.1	18.5
	T. Mínima	3.4	4.0	3.6	-1.2	-5.9	-9.3	-9.7	-7.2	-5.0	-5.5	-3.7	1.0
	Precipitación	158.2	85.9	113.5	21.1	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	124.7
CP. Puno 4/	T. Máxima	15.9	15.6	15.8	S/D	S/D	S/D	16.2	16.6	18.1	S/D	S/D	S/D
	T. Mínima	6.0	6.1	6.3	S/D	S/D	S/D	1.1	1.4	2.2	S/D	S/D	S/D
	Precipitación	211.0	95.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	6.4	S/D	S/D	S/D	S/D
CO. Azángaro	T. Máxima	16.1	16.0	16.6	17.5	17.4	16.5	18.1	17.9	19.4	20.2	20.7	18.2
	T. Mínima	5.3	5.5	4.8	1.3	-2.0	-4.7	-4.3	-2.3	-0.6	0.3	1.5	3.3
	Precipitación	114.7	101.9	91.3	68.6	0.7	0.0	0.0	4.4	6.1	17.6	1.2	46.0
CO. Cabanillas	T. Máxima	16.6	16.6	16.3	18.4	18.1	17.1	18.3	18.3	20.0	20.4	21.1	18.8
	T. Mínima	4.4	4.3	4.1	1.6	-0.7	-2.4	-2.5	-1.5	-0.1	-0.3	0.5	1.3
	Precipitación	215.8	104.5	112.2	49.1	0.0	0.6	1.1	0.0	0.8	18.9	16.4	56.9
CO. Capachica	T. Máxima	14.9	15.2	15.2	16.0	15.1	14.3	15.3	14.8	16.9	18.6	19.4	16.7
	T. Mínima	4.4	5.2	4.9	0.2	-1.8	-4.5	-4.1	-3.5	-1.6	0.2	2.4	4.2
	Precipitación	233.2	94.5	151.1	57.9	0.0	0.0	0.0	2.2	3.4	8.7	0.0	92.1
CO. Crucero	T. Máxima	15.6	15.5	15.6	16.3	16.1	15.6	15.9	16.2	15.8	16.2	17.0	16.0
	T. Mínima	2.0	2.3	1.6	-3.0	-7.1	-9.5	-9.4	-7.5	-4.8	-2.1	-3.5	0.8
	Precipitación	93.2	68.2	82.3	8.6	0.0	0.0	0.0	2.8	1.2	16.2	4.2	29.5
CO. Cuyo Cuyo	T. Máxima	13.2	12.9	13.2	14.3	13.7	13.9	14.9	13.7	13.4	14.0	14.4	13.2
	T. Mínima	5.8	5.4	5.2	3.9	2.9	1.9	3.0	2.7	3.5	4.6	4.0	5.1

CO. Desaguadero	Precipitación	128.2	138.2	107.6	10.9	5.8	1.7	4.5	11.3	18.6	21.1	6.6	56.8
	T. Máxima	S/D	S/D	16.0	16.1	15.8	15.5	15.4	15.6	16.7	16.9	17.6	16.7
	T. Mínima	S/D	S/D	5.0	-2.2	-7.3	-9.1	-8.8	-8.3	-5.9	-7.0	-3.5	1.7
CO. Huaraya Moho	Precipitación	S/D	S/D	106.1	60.9	0.0	1.8	0.0	0.5	61.8	60.2	12.9	102.2
	T. Máxima	14.7	15.3	15.1	15.8	15.8	14.9	15.1	15.9	17.9	18.5	19.4	16.5
	T. Mínima	4.9	4.7	3.9	1.5	-0.9	-2.6	-2.5	-1.3	0.4	0.4	2.0	3.4
CO. Isla Taquile	Precipitación	166.4	48.7	112.3	92.9	0.8	2.4	0.0	5.0	6.5	0.8	0.3	110.8
	T. Máxima	16.7	16.4	16.1	16.0	15.9	15.1	14.7	16.4	17.2	18.2	20.7	18.6
	T. Mínima	6.0	6.7	6.4	5.5	4.1	2.6	3.1	3.8	4.0	3.7	5.6	5.3
CO. Juli 3/	Precipitación	295.3	199.0	171.3	84.6	5.0	0.0	0.0	3.1	19.7	6.3	3.9	67.4
	T. Máxima	14.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	16.6	16.8	15.4
	T. Mínima	5.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	1.5	3.3	4.5
CO. Juliaca	Precipitación	274.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5.9	S/D	54.7
	T. Máxima	16.7	16.6	17.0	18.3	18.0	16.6	17.7	17.7	19.5	20.1	20.9	18.9
	T. Mínima	4.7	5.2	4.7	0.0	-5.0	-7.5	-6.3	-5.1	-4.4	-3.3	-0.3	1.9
CO. Lampa	Precipitación	102.9	61.1	67.0	37.4	0.0	0.0	0.0	2.8	0.6	1.2	0.4	S/D
	T. Máxima	15.6	16.1	16.3	17.5	18.3	17.1	18.1	18.6	19.6	19.5	20.7	17.6
	T. Mínima	4.1	4.5	4.4	-0.3	-4.8	-8.9	-6.6	-5.1	-2.7	-0.9	0.6	2.9
CO. Laraqueri	Precipitación	159.5	112.2	110.0	43.6	0.0	0.0	0.9	2.0	0.1	11.9	3.9	101.3
	T. Máxima	15.7	15.5	16.3	17.7	17.3	16.1	16.9	17.4	19.5	19.5	20.5	18.3
	T. Mínima	3.0	3.2	2.6	-2.6	-7.0	-9.4	-7.8	-7.8	-7.8	-5.7	-1.9	1.3

CO. Macusani	Precipitación	203.5	157.3	103.4	23.5	0.0	0.0	3.5	0.0	3.4	3.3	1.7	68.9
	T. Máxima	11.2	11.1	11.7	13.3	12.7	12.2	12.9	13.0	13.7	13.7	14.4	12.0
	T. Mínima	-0.4	-0.5	-0.5	-3.8	-6.0	-8.9	-9.3	-7.1	-5.2	-3.2	-4.7	-1.8
CO. Mañazo	Precipitación	158.0	175.5	108.0	4.5	0.0	0.5	0.0	1.5	2.5	20.9	15.5	65.2
	T. Máxima	15.4	15.5	15.7	17.5	17.4	16.1	17.2	17.4	19.5	19.5	20.3	18.4
	T. Mínima	4.6	4.5	4.8	0.9	-0.2	-2.2	-1.8	-1.7	0.8	0.2	2.0	3.2
CO. Mazocruz	Precipitación	238.7	138.9	147.9	61.8	0.0	2.0	6.0	6.5	0.0	9.4	1.5	72.9
	T. Máxima	16.2	16.3	16.7	17.8	17.2	15.9	17.0	17.3	19.0	19.4	20.4	18.0
	T. Mínima	2.0	1.7	1.1	-6.6	-11.1	-12.9	-11.7	-12.6	-11.7	-12.4	-8.5	-3.2
CO. Putina 2/	Precipitación	133.4	90.6	77.8	41.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	1.6	17.6	86.0
	T. Máxima	15.9	16.2	16.8	17.9	17.9	16.8	18.3	18.2	19.6	20.0	20.9	17.9
	T. Mínima	4.7	4.4	3.2	0.2	-3.4	-6.1	-6.2	-4.4	-2.1	-1.2	-1.1	1.5
CO. San Gabán	Precipitación	108.7	142.0	83.8	47.2	0.0	2.7	0.6	4.2	13.4	24.9	1.9	51.3
	T. Máxima	29.8	27.9	29.6	29.7	27.3	27.4	28.2	28.3	28.1	28.7	29.5	29.0
	T. Mínima	18.2	18.4	18.3	17.6	16.3	14.7	14.7	12.2	12.4	14.4	12.6	13.8
CO. Tambopata 1/	Precipitación	735.9	1072.6	661.8	429.3	421.0	178.5	362.0	608.9	324.1	518.9	443.2	816.1
	T. Máxima	24.7	25.4	26.5	26.4	23.9	24.5	24.9	25.4	26.0	27.6	29.6	28.4
	T. Mínima	16.2	16.7	16.3	16.4	14.8	12.6	13.6	13.7	15.0	15.5	15.4	15.5
	Precipitación	228.5	279.7	143.7	55.2	85.5	82.7	55.4	152.3	59.1	95.0	63.4	131.2

Continua...

Estación - 2023	Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
CP. Chuquibambilla	T. Máxima	18.07	16.6	16.7	17.4	15.6	15.4	20.2	20.0	20.6	...	...	...
	T. Mínima	1.6	3.0	2.4	-2.1	-4.5	-13.4	-8.5	-7.2	-2.2	...	...	...
	Precipitación	S/D	108.6	133.2	7.0	29.9	0.0	2.8	1.3	19.0	...	...	...
CP. Puno 4/	T. Máxima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.6	19.4	...	...	...
	T. Mínima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.8	3.4	...	...	...
	Precipitación	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5.1	0.0	...	...	...
CO. Azángaro	T. Máxima	18.4	17.1	17.5	18.3	17.2	17.3	19.2	18.4	19.8	...	...	...
	T. Mínima	4.1	5.3	4.9	1.6	0.4	-5.8	-3.9	-1.9	1.6	...	...	...
	Precipitación	41.4	116.0	42.5	11.3	21.2	0.0	6.1	0.6	14.0	...	...	...
CO. Cabanillas	T. Máxima	18.6	17.3	17.0	18.0	16.9	17.4	19.1	18.6	20.1	...	...	...
	T. Mínima	1.6	2.1	2.3	2.3	0.6	-2.9	-1.0	0.5	2.1	...	...	...
	Precipitación	47.8	105.5	107.0	24.0	24.8	0.0	6.1	0.0	0.2	...	...	...
CO. Capachica	T. Máxima	16.3	14.8	14.9	16.1	15.0	15.5	16.3	16.3	18.3	...	...	...
	T. Mínima	4.2	3.8	3.7	0.9	-0.5	-6.2	-5.0	-3.3	0.2	...	...	...
	Precipitación	100.4	124.0	161.9	6.8	24.5	0.0	2.3	0.0	7.4	...	...	...
CO. Crucero	T. Máxima	16.0	15.8	15.8	15.9	15.7	15.9	16.4	16.4	16.5	...	...	...
	T. Mínima	0.9	1.4	1.4	-1.4	-3.8	-11.1	-9.3	-7.1	-3.3	...	...	...
	Precipitación	38.9	36.4	37.7	24.1	9.8	0.0	2.7	0.0	23.0	...	...	...
CO. Cuyo Cuyo	T. Máxima	13.5	13.1	13.4	14.5	13.7	14.4	14.7	15.1	14.7	...	...	...
	T. Mínima	4.8	5.1	5.1	4.3	4.6	2.6	3.9	3.9	4.2	...	...	...

CO. Desaguadero	Precipitación	68.1	85.3	85.9	25.3	29.1	0.0	9.5	2.2	25.2	...	...
	T. Máxima	17.3	16.7	17.4	17.4	17.1	16.9	16.9	17.4	17.8	...	...
	T. Mínima	1.7	4.6	2.7	-2.3	-5.5	-12.2	-9.6	-9.9	-6.1	...	...
CO. Huaraya Moho	Precipitación	74.2	140.9	100.4	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0	3.7	...	...
	T. Máxima	16.4	15.6	15.3	15.6	14.8	14.5	16.2	16.1	17.6	...	...
	T. Mínima	3.7	4.4	4.3	1.2	0.7	-4.0	-2.5	-1.6	1.1	...	...
CO. Isla Taquile	Precipitación	82.4	79.7	65.8	26.5	46.9	0.0	0.0	4.8	20.4	...	...
	T. Máxima	19.5	18.4	17.0	16.1	14.6	14.2	15.4	16.1	17.6	...	...
	T. Mínima	5.3	5.8	5.8	5.0	4.0	1.9	1.4	2.1	3.8	...	...
CO. Juli 3/	Precipitación	99.0	120.5	225.4	33.1	24.2	0.0	0.0	0.0	5.2	...	...
	T. Máxima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	16.8	17.2	...	...
	T. Mínima	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-0.9	-0.7	...	...
CO. Juliaca	Precipitación	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	4.0	...	...
	T. Máxima	18.8	17.2	17.1	17.8	17.0	16.8	18.7	18.3	20.0	...	...
	T. Mínima	3.5	4.7	4.5	-0.1	-1.4	-9.0	-7.3	-5.5	-1.7	...	...
CO. Lampa	Precipitación	55.3	74.0	78.3	19.6	16.8	0.0	4.3	0.9	4.2	...	...
	T. Máxima	18.2	17.3	17.8	18.4	17.2	17.8	19.3	18.6	19.7	...	...
	T. Mínima	3.0	4.0	3.1	0.4	-1.1	-7.9	-6.3	-5.2	-1.5	...	...
CO. Laraqueri	Precipitación	57.5	145.2	109.4	31.8	26.4	0.0	9.3	0.8	13.7	...	...
	T. Máxima	17.8	16.5	16.9	17.2	16.2	16.7	18.2	18.0	19.2	...	...
	T. Mínima	2.2	2.8	2.6	-2.0	-4.5	-11.1	-9.6	-8.1	-3.6	...	...

	Precipitación	98.7	169.4	98.2	27.1	25.1	0.0	2.5	0.8	0.5	...	...
CO. Macusani	T. Máxima	11.7	11.7	11.9	12.6	12.0	13.2	14.1	13.5	13.5	...	...
	T. Mínima	S/D	-0.3	-0.6	-2.8	-4.3	-10.6	-9.0	-8.3	-3.3	...	...
	Precipitación	133.9	79.3	83.9	39.0	28.0	0.0	1.5	1.0	47.0	...	...
CO. Mañazo	T. Máxima	17.5	16.4	16.2	16.9	16.3	16.8	18.1	18.0	19.6	...	...
	T. Mínima	4.1	4.4	4.5	1.4	-0.6	-4.3	-3.4	-2.4	-0.3	...	...
	Precipitación	89.7	114.8	119.2	41.4	16.3	0.0	4.5	0.0	4.1	...	...
CO. Mazocruz	T. Máxima	18.2	16.8	16.9	18.1	16.7	16.8	18.2	18.4	20.0	...	...
	T. Mínima	-1.1	0.3	0.7	-6.6	-8.5	-16.6	-14.2	-13.7	-9.8	...	...
	Precipitación	56.6	91.4	97.4	2.4	5.2	0.0	4.4	0.0	0.0	...	...
CO. Putina 2/	T. Máxima	18.5	17.4	17.0	18.2	16.9	17.3	19.2	18.4	19.9	...	...
	T. Mínima	2.4	4.3	3.9	-0.3	-0.8	-7.5	-6.0	-4.1	-0.8	...	...
	Precipitación	52.8	110.8	65.0	18.9	43.7	0.0	13.3	5.1	14.2	...	...
CO. San Gabán	T. Máxima	28.6	28.0	29.8	28.6	27.4	26.2	26.7	30.2	31.7	...	...
	T. Mínima	13.2	13.1	14.3	13.2	11.7	9.0	9.3	12.4	15.4	...	...
	Precipitación	958.0	692.0	689.4	421.4	340.4	279.5	336.2	296.3	222.2	...	...
CO. Tambopata 1/	T. Máxima	28.0	27.2	28.6	27.2	25.8	25.5	24.9	27.0	30.0	...	...
	T. Mínima	16.1	16.2	16.0	16.5	16.1	13.4	14.6	14.1	15.4	...	...
	Precipitación	104.2	208.7	227.0	67.0	70.3	36.2	52.2	6.0	21.4	...	...

Fuente: (INEI, 2024).