

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE UTILIZANDO
TELEDETECCIÓN Y ESTACIONES AUTOMÁTICAS EN LA
CIUDAD DE ILO DURANTE LOS AÑOS 2021 – 2022”**

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

PRESENTADO POR:

**Bach. VIRGINIA MILAGROS APAZA PILCO
Bach. JHON CARLOS NIETO CAHUANA**

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE UTILIZANDO
TELEDETECCIÓN Y ESTACIONES AUTOMÁTICAS EN LA
CIUDAD DE ILO DURANTE LOS AÑOS 2021 – 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 11 de Setiembre de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : M Sc. MARCO ALBERTO NAVARRO GUZMÁN

SECRETARIO : Ing. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE

VOCAL : Dr. ALEXANDER CHURATA NEIRA

ASESOR : M Sc. MARISOL MENDOZA AQUINO

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Virginia Milagros Apaza Pilco y Jhon Carlos Nieto Cahuana, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 70437045 y 46563399 respectivamente, así como Marisol Mendoza Aquino con DNI 29423898; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la *tesis* titulada: *Evaluación de la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 2022*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Ambiental*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos frente a *La Universidad* y a terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, de 11 de setiembre de 2024

Virginia Milagros Apaza Pilco

DNI: 70437045

Jhon Carlos Nieto Cahuana

DNI: 46563399

Marisol Mendoza Aquino

DNI: 29423898

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a mis padres, a quienes debo todo en mi vida. A mi madre por su paciencia y buenos ánimos en los momentos difíciles, a mi padre por sus palabras de aliento, a mis abuelos que desde el cielo me cuidan y a Dios por brindarme la fortaleza de seguir adelante.

Virginia Milagros Apaza Pilco

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia pilar de soporte, Marilú, Darío, Jhamira y Cristian por la dedicación y perseverancia día a día que me mostraron.

A mi universidad, escuela y sus docentes por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias para mi progreso profesional

Jhon Carlos Nieto Cahuana

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Andrés y al Ing. Jose del OEFA, por facilitar la información y el acceso a las estaciones automáticas de la ciudad de Ilo, que hicieron posible la ejecución de esta tesis.

A nuestra asesora, Ing. Marisol por el tiempo y dedicación brindados.

Virginia Milagros Apaza Pilco
Jhon Carlos Nieto Cahuana

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.3.1. Justificación Ambiental	4
1.3.2. Justificación Social	4
1.3.3. Justificación Económica	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes Nacionales	9

2.1.3.	Antecedentes Locales	10
2.2.	Bases teóricas	11
2.2.1.	La Atmósfera	11
2.2.1.1.	Composición y estructura de la atmósfera	11
2.2.2.	Contaminación Atmosférica	12
2.2.2.1.	Gases contaminantes atmosféricos	12
2.2.2.2.	Fuentes de contaminación	15
2.2.3.	Calidad de Aire	15
2.2.3.1.	Estándares de calidad de aire	15
2.2.3.2.	Monitoreo de calidad de aire	16
2.2.3.3.	Métodos de monitoreo de la calidad del aire	17
2.2.4.	Calidad de aire en la ciudad de Ilo	18
2.2.5.	Interpolación lineal con la ponderación de la distancia inversa (IDW):	20
2.2.6.	Teledetección	20
2.2.6.1.	Fundamentos físicos de la teledetección	21
2.2.6.2.	Espectro electromagnético	22
2.2.6.3.	Interacción de la radiación electromagnética con la atmosfera	23
2.2.7.	Sensores	24
2.2.7.1.	Técnicas de teledetección pasiva	24
2.2.8.	Plataformas de teledetección espacial	26
2.2.8.1.	Landsat	26
2.2.8.2.	Sistema de Observación de la Tierra (EOS)	26
2.2.8.3.	Programa Copernicus	26
2.2.9.	Sentinel 5P	27
2.2.10.	Google earth engine	27
2.3.	Definición de términos	28
2.3.1.	Cuenca atmosférica:	28
2.3.2.	Espectro electromagnético	28
2.3.3.	Espectrómetro	29
2.3.4.	Estación	29
2.3.5.	Evaluación de la calidad del aire	29
2.3.6.	Gases traza	29
2.3.7.	Zonas de atención prioritaria	29
	CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	30
3.1.	Diseño de la investigación	30
3.2.	Acciones y actividades	30

3.3.	Materiales y/o instrumentos	44
3.4.	Población y/o muestra de estudio	44
3.5.	Operacionalización de variables	46
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis estadístico	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		48
4.1.	Analizar el comportamiento de las concentraciones de CO, NO ₂ y SO ₂ medidos por el satélite Sentinel 5P	48
4.1.1.	Comportamiento de las concentraciones de CO, NO ₂ y SO ₂ medidos por el satélite Sentinel 5P para el año 2021	48
4.1.1.1.	Monóxido de carbono (CO)	48
4.1.1.2.	Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	50
4.1.1.3.	Dióxido de azufre (SO ₂).....	52
4.1.2.	Comportamiento de las concentraciones de CO, NO ₂ y SO ₂ medidos por el satélite Sentinel 5P para el año 2022	54
4.1.2.1.	Monóxido de carbono (CO)	54
4.1.2.2.	Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	56
4.1.2.3.	Dióxido de azufre (SO ₂).....	58
4.2.	Analizar la variación de las concentraciones de CO, NO ₂ y SO ₂ registrados por estaciones automáticas	60
4.2.1.	Variación de las concentraciones de CO, NO ₂ y SO ₂ registrados por estaciones automáticas para el año 2021.....	60
4.2.1.1.	Monóxido de carbono (CO)	60
4.2.1.2.	Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	61
4.2.1.3.	Dióxido de azufre (SO ₂).....	62
4.2.2.	Variación de las concentraciones de CO, NO ₂ y SO ₂ registrados por estaciones automáticas para el año 2022.....	63
4.2.2.1.	Monóxido de carbono (CO)	63
4.2.2.2.	Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	64
4.2.2.3.	Dióxido de azufre (SO ₂).....	65
4.3.	Elaborar mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO ₂ , SO ₂ registrados por estaciones automáticas.....	66
4.3.1.	Mapa estacional de Monóxido de carbono del año 2021	66
4.3.2.	Mapa estacional de Dióxido de Nitrógeno de año 2021	67
4.3.3.	Mapa estacional de Dióxido de Azufre del año 2021	68
4.3.4.	Mapa estacional de Monóxido de carbono del año 2022	69
4.3.5.	Mapa estacional de Dióxido de Nitrógeno del año 2022.....	70

4.3.6.	Mapa estacional de Dióxido de Azufre del año 2022	71
4.4.	Correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y las estaciones automáticas	72
4.4.1.	Correlación de CO, NO ₂ y SO ₂ en la estación Bolognesi, Pacocha y Jose Pardo en el año 2021	73
4.4.2.	Correlación de CO, NO ₂ y SO ₂ en la estación Bolognesi, Pacocha y Jose Pardo en el año 2022	75
4.5.	Desarrollo de aplicación web para la gestión la calidad de aire	78
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		84
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES.....		90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		91
ANEXOS.....		97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Método de los analizadores automáticos	13
Tabla 2. Clasificación de Dióxido de Azufre según su origen.....	15
Tabla 3. Identificación de aspectos que determinan la calidad del aire.....	16
Tabla 4. Inventario de Emisiones Anuales de la Ciudad de Ilo	19
Tabla 5. Regiones, bandas espectrales y técnicas de teledetección	25
Tabla 6. Características de datos de Sentinel 5P en Google Earth Engine	31
Tabla 7. Estándares de Calidad Ambiental Aire para CO, NO ₂ y SO ₂	34
Tabla 8. Resumen de las concentraciones para el año 2021.....	36
Tabla 9. Resumen de las concentraciones para el año 2022.....	36
Tabla 10. Principales objetos de Google Earth Engine utilizados en la aplicación	43
Tabla 11. Estaciones de calidad de aire de la ciudad de Ilo.....	45
Tabla 12. Operaciones de Variables	46
Tabla 13. Prueba de correlación de Pearson de Satélite Sentinel 5P y estaciones automáticas del 2021.....	73
Tabla 14. Prueba de correlación de Pearson de Satélite Sentinel 5P y estaciones automáticas del 2022.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación fuente - Medio de transporte y receptor	12
Figura 2. Componentes de un sistema de teledetección	21
Figura 3. Espectro electromagnético	23
Figura 4. Tipos de sensores.....	24
Figura 5. Vista del Code editor de Google Earth Engine.....	27
Figura 6. Desarrollo de script.....	30
Figura 7. Desarrollo de script.....	31
Figura 8. Edición de script	32
Figura 9. Desarrollo de código de mapas de distribución espacial en Rstudio.....	33
Figura 10. Desarrollo de código de graficas de series de tiempo en Rstudio.....	33
Figura 11. Desarrollo de código de series de tiempo de estaciones automáticas en Rstudio	35
Figura 12. Procesamiento de data por estaciones	36
Figura 13. Tabla de atributos de las concentraciones para el año 2021	37
Figura 14. Interpolación IDW	37
Figura 15. Configuración de corte IDW	38
Figura 16. Finalización de recorte IDW	38
Figura 17. Finalización de recorte IDW	39
Figura 18. Representación Final del plano estacional espacial.....	40
Figura 19. Data de concentración de Sentinel 5P de las 03 estaciones.....	40
Figura 20. Data procesada y cuadro resumen	41
Figura 21. Data procesada en SPSS Statistics	42
Figura 22. Data procesada en SPSS Statistics.....	42
Figura 23. Desarrollo del interfaz de la aplicación web	43
Figura 24. Ubicación de la ciudad de Ilo	44
Figura 25. Ubicación de estaciones automáticas.....	45
Figura 26. Diagrama de coeficiente de correlación de Pearson.....	47
Figura 27. Distribución espacial de la concentración mensual de CO en el año 2021	49
Figura 28. Concentraciones mensuales de CO en el año 2021	50
Figura 29. Distribución espacial de la concentración mensual de NO ₂ en el año 2021	51
Figura 30. Concentraciones mensuales de NO ₂ en el año 2021.....	52
Figura 31. Distribución espacial de la concentración mensual de SO ₂ en el año 2021	53
Figura 32. Concentraciones mensuales de SO ₂ en el año 2021	54
Figura 33. Distribución espacial de las concentraciones mensuales de CO en el año	

2022.....	55
Figura 34. Concentraciones mensuales de CO en el año 2022	56
Figura 35. Distribución espacial de las concentraciones mensuales de NO ₂ en el año 2022.....	57
Figura 36. Concentraciones mensuales de NO ₂ en el año 2022.....	58
Figura 37. Distribución espacial de las concentraciones mensuales de SO ₂ en el año 2022.....	59
Figura 38. Concentraciones mensuales de SO ₂ en el año 2022.....	60
Figura 39. Concentraciones horarias de CO en el año 2021	61
Figura 40. Concentraciones horarias de NO ₂ en el año 2021	62
Figura 41. Concentraciones de 24 horas de SO ₂ en el año 2021	63
Figura 42. Concentraciones horarias de CO en el año 2022	64
Figura 43. Concentraciones horarias de NO ₂ en el año 2022	65
Figura 44. Concentraciones de 24 horas de SO ₂ en el año 2022	66
Figura 45. Mapa estacional de Monóxido de Carbono: otoño.....	67
Figura 46. Mapa estacional de Monóxido de Dióxido de Nitrógeno: otoño	68
Figura 47. Mapa estacional de Dióxido de Azufre: verano	69
Figura 48. Mapa estacional de Monóxido de Carbono: Verano	70
Figura 49. Mapa estacional de Dióxido de Nitrógeno: otoño.....	71
Figura 50. Mapa estacional de Dióxido de Azufre: verano	72
Figura 51. Interfaz de la aplicación web.....	78
Figura 52. Selección de fecha.....	79
Figura 53. Selección de banda	80
Figura 54. Selección de distrito.....	80
Figura 55. Visualización de mapa de distribución de CO para el distrito de Ilo	81
Figura 56. Visualización de mapa de distribución de SO ₂ para el distrito de Pacocha	81
Figura 57. Visualización de grafico de concentración de SO ₂ según estación	82
Figura 58. Limpieza de grafico de concentración del panel	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	98
Anexo 2. Plano de Ubicación de los Distritos de Moquegua.....	99
Anexo 3. Mapa de Ubicación de las estaciones de Ilo	100
Anexo 4. Fichas de registro de las concentraciones de contaminantes de las estaciones automáticas de OEFA.....	101
Anexo 5. Fichas de registro de las concentraciones de contaminantes de las imágenes satelitales de Sentinel 5P.....	110
Anexo 6. Mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO ₂ , SO ₂ registrados por estaciones automáticas.....	115
Anexo 7. Tablas de concentraciones de imágenes satelitales Sentinel 5P y estaciones automáticas de los años 2021 y 2022.....	127
Anexo 8. Script desarrollado en Google Earth Engine	132
Anexo 9. Código desarrollado en de Rstudio.....	136

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 2022. Se utilizaron imágenes satelitales Sentinel 5P de la plataforma Google Earth Engine y datos de la Ficha de registro de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ de las estaciones Bolognesi, Jose Pardo y Pacocha del OEFA. Para el análisis del comportamiento de los promedios mensuales de CO, NO₂ y SO₂ de Sentinel 5P se elaboraron mapas de distribución espacial y graficas de series de tiempo obteniéndose como resultado una distribución mayormente suroeste-noroeste que depende de las fuentes fijas; así como el comportamiento estacional del NO₂. Para el análisis de la variación de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ registrados por las estaciones automáticas se elaboraron graficas de series de tiempo que mostraron que no se sobrepasaron los respectivos ECA. Los mapas estacionales graficaron variada concentración estacional de CO y NO₂, en cambio una similitud de concentración estacional en verano para SO₂ en el periodo 2021 y 2022. La correlación de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ entre las imágenes de Sentinel 5P y las estaciones automáticas mostraron una alta similitud en año 2022 para el CO; mientras que para el NO₂ y SO₂ muy variada y nula similitud con los resultados bajos de correlacion con una significancia que superan el 0,05. Como aporte a la gestión de la calidad de aire de la ciudad de Ilo se desarrolló una aplicación web utilizando los beneficios de la teledetección, que permitirá tomar medidas para la mejora de la calidad de aire en la ciudad de Ilo.

Palabras clave: Teledetección; calidad de aire; Sentinel 5P; Google Earth Engine y monitoreo automático

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the air quality using remote sensing and automatic stations in the city of Ilo during the years 2021-2022. Sentinel 5P satellite imagery from the Google Earth Engine platform and data from the CO, NO₂ and SO₂ concentration registration form of the Bolognesi, Jose Pardo and Pacocha stations of the OEFA were used. To analyze the behavior of the monthly averages of CO, NO₂ and SO₂ from Sentinel 5P, spatial distribution maps and time series graphs were prepared, resulting in a mostly southwest-northwest distribution that depends on fixed sources; as well as the seasonal behavior of NO₂. To analyze the variation in the concentrations of CO, NO₂ and SO₂ recorded by the automatic stations, time series graphs were prepared that showed that the respective ECAs were not exceeded. The seasonal maps showed varied seasonal concentrations of CO and NO₂, but a similarity in seasonal concentrations in summer for SO₂ in the period 2021 and 2022. The correlation of CO, NO₂ and SO₂ concentrations between Sentinel 5P images and automatic stations showed a high similarity in 2022 for CO; while for NO₂ and SO₂ very varied and zero similarity with low correlation results with a significance exceeding 0,05. As a contribution to the air quality management of the city of Ilo, A web application was developed using the benefits of remote sensing, which will allow measures to be taken to improve air quality in the city of Ilo.

Keywords: Remote sensing; air quality; Sentinel 5P; Google Earth Engine and automatic monitoring.

INTRODUCCIÓN

Es de gran interés de la colectividad el cuidado y protección del ambiente, la contaminación en su mayoría es de génesis antropogénica a consecuencia crecimiento industrial, actividades y uso de combustibles fósiles (Domínguez, 2015) causante primordial de la mortalidad nueve millones de todo el planeta, en Latinoamérica representa 100 millones individuos sometidos a índices superiores de concentraciones de polución de la que establece la organización mundial de salud (Gonzales et al., 2022)

Las poluciones atmosféricas deterioran la salud de personas, el suelo, flora, fauna y la calidad del aire aportando notablemente al cambio climático (Ministerio del Medio Ambiente, 2021), por otro lado, es considerado un importante peligro medioambiental mundial sin discriminaciones de límites de estado o condición socioeconómico, es de gran significancia su supervisión (Romero et al., 2006).

A consecuencia de la problemática de la calidad del aire que en la actualidad nos aqueja, se delimitó un área local para nuestro estudio siendo la ciudad de Ilo entre los periodos del año 2021 y 2022 realizándose la presente investigación de evaluar la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo, para lo cual se seleccionó los gases Monóxido (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y Dióxido de Azufre (SO₂) siendo los más característicos componentes de la polución atmosférica (Martínez, 2023). Según Bechle et al., (2013) menciona la utilidad de la técnica de teledetección para monitorear los valores de contaminación del aire dentro de una zona urbana, utilizaremos para ello imágenes satelitales Sentinel 5P y la data de las estaciones automáticas.

Los enfoques de este trabajo son generados a partir de diferentes perspectivas, primero se busca analizar el comportamiento estacional temporal de las poluciones atmosféricas captados por el satélite Sentinel 5P a nivel troposférico, para ello se desarrolla el script y el procesamiento de la data extraído registrados por las estaciones automáticas, por otra parte se elabora mapas estacionales del año de distribución espacial registrados por estaciones automáticas, luego se buscará correlacionar las concentraciones a nivel superficial y troposférico, finalmente aportar información para la gestión de la calidad del aire. De esa manera poder controlar, monitorear, observar geoextensiones espaciales, identificándolas, desarrollándose acciones tempranas en resguardo de la salud humana y de calidad ambiental del aire.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La Constitución Política Del Perú (1993). Título I, Artículo 2, Inciso 22. Señala que *“Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.”*, de igual forma la Ley General del Ambiente (2005) señala *“Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida...”*. En ese sentido la problemática de estudio de esta tesis es evaluar la calidad del aire, de no monitorearse, controlarse los altos índices provocaría uno de los grandes riesgos ambientales para la salud de las personas, el bienestar de la población y del medio ambiente.

Los avances en ciencia y la tecnología han sido tan rápidos que han permitido desarrollar una técnica para estudiar fenómenos y procesos en la superficie terrestre desde la troposfera. Esta técnica, conocida como Teledetección, utiliza sensores específicos instalados en satélites para recolectar y procesar datos sobre el calentamiento climático, la desertificación, las fuentes hídricas, los gases atmosféricos y los recursos naturales, entre otros (Forero, 2019). Desde el lanzamiento del primer satélite Landsat con fines medioambientales por la NASA en 1972 (Romero, 2005), siendo una herramienta esencial para el monitoreo ambiental. En abril de 2023, Estados Unidos lanzó el satélite geoestacionario Tempo, cuyo objetivo es monitorear y predecir la calidad del aire en América del Norte. Corea del Sur lanzó el Espectrómetro Geoestacionario de Vigilancia Medioambiental (GEMS) en el 2020 para recolectar datos en Asia, mientras que Europa cuenta con el satélite Copernicus Sentinel 4 para monitorear Europa y el norte de África (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2022).

Es un problema a nivel mundial, América Latina, respirando tres a cuatro veces superior al valor interpuesto por la OMS de material particulado. La capital del Perú es considerada la segunda ciudad más contaminada próximo a la ciudad de Santiago siendo pesima calidad de aire (Sociedad Americana de Ciencias Ambientales, 2023)

La ciudad de Ilo no es ajena a esta problemática de la calidad de aire por mas de 45 años desde 1960, debido al desarrollo de actividades minero metalúrgicos, en consecuencia sus concentraciones de contaminantes atmosféricos fueron altos, principalmente el dióxido de azufre de fuentes fijas, según diagnóstico línea base

atmosférica de la provincia de Ilo (Castillo, 2012).

Si no se controla, no recibe la importancia en consecuencia seguiremos en el problema actual que la humanidad esta enfrentando; llámese el calentamiento global, por las emisiones de los gases a la atmósfera derivados de los usos de combustibles, industrias, explosión demográfica mundial, deforestación, degradación de suelos, etc. Anuncia la Organización mundial de la Salud que “se estima que de los dos millones de personas que mueren cada año debido a los efectos de la contaminación, aproximadamente la mitad pertenecen a países en desarrollo.” muy relacionado con enfermedades respiratorias, bronquitis crónica, cáncer y trastornos al sistema nervioso (Comisión de Derechos Humanos del Estado de México, 2023).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Será posible evaluar la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo es el comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P?
- b. ¿Cuál es la variación de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas?
- c. ¿Podrán los mapas estacionales demostrar la distribución espacial en función de las estaciones del año, en base a las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ registradas por estaciones automáticas?
- d. ¿Existirá correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas?
- e. ¿El desarrollo de la aplicación web proporciona información para la gestión de la calidad de aire?

1.3. Justificación e importancia

La polución atmosférica es la alteración del aire causada principalmente por las actividades del hombre, como el transporte, industria, uso de calefacción, agricultura, la

mala disposición y quema de residuos sólidos; y por causas naturales como son las erupciones volcánicas e incendios forestales entre otros.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica es la mayor amenaza medioambiental para la salud mundial. Además, indica cuyas poluciones más nocivas para sanidad son los materiales particulados en suspensión que se hace mención el monóxido de carbono, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Así mismo el alza de los niveles de estos compuestos puede desencadenar enfermedades principalmente respiratorias, que son una de las principales causas de mortalidad.

La ciudad de Ilo se encuentra considerada como zona de atención prioritaria, según lo establecido en el Decreto Supremo N°332-2012-MINAM, por la presencia de actividades socioeconómicas que influyen significativamente sobre la condición del aire. En ese sentido, se vio necesario conocer los niveles de la polución emitidos a la atmósfera, mediante un monitoreo eficaz e integrado de la condición del aire.

Con el crecimiento tecnológico en la cual estamos sujetos, se integran otras modalidades de monitoreo, como el uso de la teledetección, que ha revolucionado el mundo de supervisión desde el espacio, los satélites con sensores específicos, sensibles; que nos permite conocer información sobre la cobertura vegetal, los cuerpos de agua, la temperatura, crecimiento urbano, fenómenos meteorológicos, incendios; así como estudiar y monitorear la composición, estructura y dinámica de la atmósfera (Nisperuza et al., 2020).

1.3.1. Justificación Ambiental

La aplicación de la teledetección satelital y el monitoreo automático permitirá conocer los niveles de contaminantes atmosféricos como son el CO, NO₂, SO₂ provenientes de las actividades socioeconómicas en la ciudad de Ilo; además de contribuir en las políticas locales de mejora de la calidad del aire.

Asimismo, la aplicación de la teledetección permitirá comprender mejor cómo se distribuye los contaminantes en el ambiente y complementando el monitoreo in situ.

1.3.2. Justificación Social

La ciudad de Ilo está considerada como zona de atención prioritaria según Decreto Supremo N°332-2012-MINAM por la afectación al ambiente y a la salud, por parte de las actividades socioeconómicas hace años.

Los contaminantes atmosféricos como el CO, NO₂, SO₂, entre otros, a altas concentraciones, deterioran la salud humana, causando principalmente alteraciones de la función respiratoria, enfermedades cardiovasculares y dermatológicas, entre otras afecciones. La presente investigación nos permitirá contribuir en las políticas de salud pública, para la mejora de la calidad de vida de la población de la ciudad de Ilo

1.3.3. Justificación Económica

La prevención, control de la calidad del aire no es un gasto es una inversión en donde se obtendrán beneficios en cuidado del capital humano más importante de una sociedad, a su vez como instrumento de monitoreo la teledetección nos permite reducir costos y tiempo en el procesamiento de datos de la calidad de aire; que contribuiría de manera importante en las políticas, estrategias y medidas de manejo de condición del aire en la Ciudad de Ilo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Analizar el comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P
- b. Analizar la variación de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas
- c. Elaborar mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas
- d. Determinar la correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas
- e. Desarrollar una aplicación web para la gestión de la calidad de aire

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Es posible evaluar la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 2022.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. El análisis del comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P permite conocer su distribución espacial y tendencias
- b. El análisis de la variación de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas permite conocer si exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire
- c. Los mapas estacionales pueden mostrar variaciones en la distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas
- d. Existe correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas
- e. La aplicación web desarrollada proporciona información para la gestión de la calidad de aire

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Padrón & Cabrera (2022) en su tesis analizaron la data empleando relación lineal simple y coeficiente de determinación a su vez apoyados con gráficos multitemporales para identificar valores atípicos; utilizaron imágenes y data de Sentinel 5P (Sensor TROPOMI) y satélites antecesores (MERRA-2, OMI y AIRS) y data de estaciones de monitoreo de calidad de aire situado en las ciudades de Cuenca y Quito en el periodo Enero 2019 hasta Diciembre del 2020; obteniendo coeficientes de determinación cercanos a 1 para el O₃ y CO, con valores medios para el NO₂ y bajos para el SO₂, determinando de esta manera una relación positiva, concluyendo que Sentinel 5P dispone mejor las concentraciones.

Arboleda & Vázquez (2021) en su tesis desarrollaron una metodología novedosa de monitoreo de calidad de aire utilizando imágenes satelitales a través de la plataforma Google Earth Engine y datos obtenidos del portal web de la secretaria del medio ambiente de Quito – Ecuador. Obteniendo correlaciones significativas mediante la metodología de validación de datos. De la evaluación del comportamiento del CO, NO₂ y O₃ satelital y de tierra, concluyeron que tienen similares tendencias en su disminución durante el periodo de la pandemia de COVID-19; además desarrollaron una aplicación web con el propósito de recolección de data para observar la condición de aire en el Ecuador.

Forero (2019) en su tesis utilizó las concentraciones diarias de las 13:00 pm de CO, O₃, NO₂ y SO₂ del satélite Sentinel-5P y de las bases de monitoreo de la condición del aire in situ en la ciudad de Bogotá-Colombia, comparándose entre los periodos de agosto del 2018 y agosto del 2019, se usó como herramienta de trabajo el portal de Google Earth Engine. En sus objetivos se plantea análisis estadístico correlacional de la data de las imágenes satelitales y de las estaciones superficial, examinar la repercusión presentada por aspectos climáticos y meteorológicos con respecto a los gases atmosféricos CO, NO₂, O₃, SO₂. Desarrollo de planos espacio temporales para evaluar, conocer las modificaciones espacio temporales de los gases atmosféricos CO, NO₂, O₃, SO₂, producir una proposición de la aplicación de datos satelitales a estaciones de tierra. Como resultado del estudio se obtiene un coeficiente de correlación con r = 0,55, NO₂ con r = 0,44 y correlaciones bajas para O₃ con r = 0,05 y SO₂ con r = 0,25.

Concluyéndose que los datos de CO y NO₂ coinciden con los de las estaciones y con las de TROPOMI, siguen las mismas tendencias temporales, por el contrario, el O₃ y SO₂ tienen una diferencia de datos entre las estaciones y las de TROPOMI por lo tanto, la metodología utilizada puede estimar los gases CO y NO₂ troposféricamente y superficialmente para su observación a gran escala y generación de datos con un porcentaje de similitud de 55 % y del NO₂ de 44 % que por el contrario de O₃ y SO₂.

Belzunce (2022) en su tesis realizó un análisis comparativo de gases de CO, NO₂ y PM-2,5 tomados de las estaciones Kunak Tecnologías y de las estaciones de calidad de aire estatales con respecto a las imágenes satelitales Sentinel 5-P. Se desarrolló tres pruebas: primera prueba, comparación de concentraciones de NO₂ de estaciones en Kunak, estación de referencia estatal y de imágenes satelital Sentinel 5-P, en el centro de Madrid, Pamplona y en Amberes con el objetivo de determinar el impacto de la congestión del parque automotor. Segunda prueba, comparación de CO y PM de concentraciones de estaciones en tierra y las imágenes de Sentinel 5-P con el objetivo de determinar el impacto ambiental de emisión de un incendio Caldor; concluyéndose que las dos mediciones son similares y para la tercera prueba se comparó concentraciones de PM de estaciones en tierra y las imágenes satelitales de Sentinel 5-P, en la ciudad de Mallorca. Concluyéndose que en la primera prueba no se encontraron relación del NO₂ en segundo prueba y tercera prueba se encontró gran relación directa del CO y de la partícula en suspensión no siendo influidos por la superficie.

Mármol (2022) en su tesis desarrolló un análisis comparativo espacial y temporal del NO₂, CO, O₃ y CH₄ en España, aplicando la correlación cruzada, así como también buscaron una relación de emisión NO₂ con respecto a las actividades industriales durante el bloqueo COVID-19. La plataforma utilizada para la descarga de imágenes satelitales fue Google Earth Engine. En el análisis temporal el NO₂ y NO se observó la zona urbana presenta una alta relación con y baja la zona rural, ambos se asocian en ser bajas concentraciones en el 2020 donde el confinamiento de la pandemia reduce las emisiones del NO₂, por otro lado, se desarrolla el análisis de relación de la cantidad de población vs las concentraciones de NO₂, donde se muestran que si hay relación. En el análisis temporal CH₄, observaron una poca variación de reducción de emisiones a pesar del confinamiento, dando lugar a la explicación de que las actividades de ganadería no pararon durante la pandemia por ser actividades esenciales. En el análisis temporal del CO, se muestra igualdad de concentraciones tanto en urbana y en rural a su vez son similares a la dinámica con el CH₄, guardando relación ya que el CO se origina del CH₄. En el análisis temporal del O₃, no se obtuvieron dinámicas relevantes,

mostrándose una distribución homogénea. En el análisis temporal NO_2 en el segundo estudio del gas NO_2 , se hace un análisis temporal, pero con los índices de actividades industriales permitiéndose encontrar relación con ellas. Concluyéndose la identificación del NO_2 , como emisión en las zonas urbanas por la grandes actividad industriales y vehiculares, así como el O_3 su concentración es mínima y esparcidas por todo el territorio, el CH_4 se demostró que también se encuentra presente en las zonas rurales por las actividades de ganadería, para ambos casos el bloqueo de actividades debido a COVID-19 redujo drásticamente las emisiones.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Bayona (2022) en su tesis realizó el modelamiento de calidad de aire en la Ciudad de Cajamarca utilizando imágenes satelitales de Sentinel 5-P. Se demostró que los valores más altos de densidad de NO_2 , SO_2 y nubosidad ocurrieron durante los meses de octubre, por otro lado, para formaldehído, aerosol y O_3 durante los meses de Agosto; mientras que para el CO en marzo. Determinaron que es posible incluir este método con la finalidad de la evaluación de la condición de aire en la ciudad de Cajamarca, con limitaciones en falta como normativas y estándares que se puedan aplicar a este método.

Taboada (2022) en su tesis propone una herramienta informática que permite el acceso a la información ambiental en el ecosistema del Lago Chinchaycocha, para ello utilizó el api de Google earth engine el cual permitió realizar análisis con imágenes satelitales de manera gratuita con fines de investigación; concluyendo que el uso de la herramienta informática (visor del lago Chinchaycocha-VICHI) permite al acceso de la información ambiental en los tomadores de decisiones provenientes de las comunidades campesinas del entorno del lago Chinchaycocha.

Oyague et al. (2020) en su artículo evaluaron los impactos de la COVID-19 en el entorno, aplicando de la matriz RIAM posteriormente la contrastaron con la data satelital de la condición de aire (CO y NO_2) de Sentinel-5p, vigor vegetal en agroecosistemas (NDVI) y productividad primaria marina; obteniendo resultados positivos, de corta duración y reversibles según análisis matricial. Además, observaron una reducción del 16 % de la densidad de CO, posteriormente 4 % de NO_2 respecto al 2019; posteriormente la condición de la flora o la densidad de algas en el litoral no manifestaron variación. En consecuencia, el aislamiento tuvo repercusión positiva, pero de breve periodo y limitado a condiciones relacionadas a actividades antropogénicas.

Solís (2023) en su estudio determinó el CO llega a cantidades elevadas de

0,0236 mol/m² hasta 0,0284 mol/m² ubicadas en Chincheros y Abancay en los periodos del 2019 y 2020; las cantidades elevadas de NO₂ están en el rango de 0,000044 mol/m² hasta 0,000046 mol/m² en los periodos del 2020 y 2021 ubicado de Abancay, Cotabambas y Andahuaylas; y las cantidades elevadas SO₂ se muestran en los periodos del 2020 y 2021 en las provincias de Aymaras, Cotabambas, Grau y Antabamba con 0,000161 mol/m² hasta 0,000247 mol/m².

Deninis (2019) en su estudio busca entender cómo las variables meteorológicas, como la velocidad del viento y la temperatura ambiental, afectan la dispersión del CO en esta zona urbana. Sus resultados indicaron que ni la dinámica del viento ni la temperatura ambiental influyeron de manera significativa en la dispersión del CO en Lima Este durante 2019. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de CO entre estaciones y periodos estacionales. Por ejemplo, el otoño presentó concentraciones significativamente diferentes al invierno, primavera y verano, y la estación de monitoreo en Ate registró las concentraciones más altas de CO.

2.1.3. Antecedentes Locales

Valeriano (2021) en su tesis tuvo como objetivo determinar la concentración de PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, y O₃ y su relación con variables meteorológicas, en el distrito de Pacocha, Moquegua en los años 2019 y 2020. Su metodología tuvo un nivel de investigación de tipo descriptivo correlacional y aplicada, para responder el objetivo específico de determinar las concentraciones en la atmósfera se promediaron concentraciones trimestrales. Sus resultados arrojaron para el 2019 el SO₂ concentraciones máximas en enero a marzo con 783,15 µg/m³. Con el NO₂ concentraciones máximas en abril a junio con 36,77 µg/m³ y 2020 el SO₂ concentraciones máximas en enero a marzo con 610,64 µg/m³. Con el NO₂ concentraciones máximas en octubre a diciembre con 19,98 µg/m³. Además, concluye que los contaminantes atmosféricos estudiados mostraron una gran sensibilidad a los parámetros meteorológicos en el distrito de Pacocha

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La Atmósfera

Es una agrupación de extractos de gases que varían según las altitudes, están alrededor de la tierra y se mantienen por la gravedad terrestre gracias a ellas es posible la vida, en su mayor porcentaje está integrada por nitrógeno (78,1 %) y oxígeno (20,9 %), más otros gases de mejor proporción (Benavides & León, 2007).

2.2.1.1. Composición y estructura de la atmósfera

Según Echeverri (2019):

La atmosfera presenta una estructura vertical cuyas características varían según su altura respecto de la superficie, lo que nos permita diferenciar regiones o también llamadas capas; a su vez se definen regiones térmicas según variación de la temperatura respecto a la altura, promediadas en el espacio y tiempo, en las que se describiran a continuación las capas:

- Troposfera: Está en contacto directo con la superficie a una altura 12 Km desde la tierra, es la que contiene la mayor cantidad a un 75 % de la atmosfera, desarrollándose en ella las nubes, con mucha variación de temperatura y turbulencia en consecuencia facilita mezcla de los gases.
- Estratosfera: Extracto superior, posterior de la troposfera a la distancia de 50 Kilómetros de la superficie. Con característica isotérmica, los gases que lo conforman están estratificados según su densidad y la en ella se encuentra la capa de ozono (O₃).
- Mesosfera: Cobertura superior de la estratósfera que empieza desde los 50km hasta los 85 Km en la cual desciende la temperatura de la capa inferior escaladamente hasta los -95 °C en la parte superior de la capa, en esta capa ya se puede observar las estrellas, las cantidades de NO₂ y O₃ son iguales a la que existe en el mar a su vez existe la presencia de los rayos ultravioleta provenientes del sol.
- Termosfera: Capa superior de la mesosfera, se caracteriza por la creciente temperatura llegando hasta 1600° C, los gases tienden poca capacidad a mezclarse, se desarrolla la actividad de separación de los gases a consecuencia de los rayos ultravioletas emitidos por el sol, siendo nitrógeno, oxígeno y ultimo hidrogeno por ser más liviano, estratificando los gases, moléculas, átomos, por

la gravedad.

- Exosfera: Es la última capa con una altura vertical de 600 Km a 1000 Km aprox. La temperatura es variable dada si es de noche o de día esa entre 0° C a 1700° C, en esta capa se existe la presencia de la geocorona por la gran cantidad de presencia de hidrogeno, primera capa que nos protege del exterior.

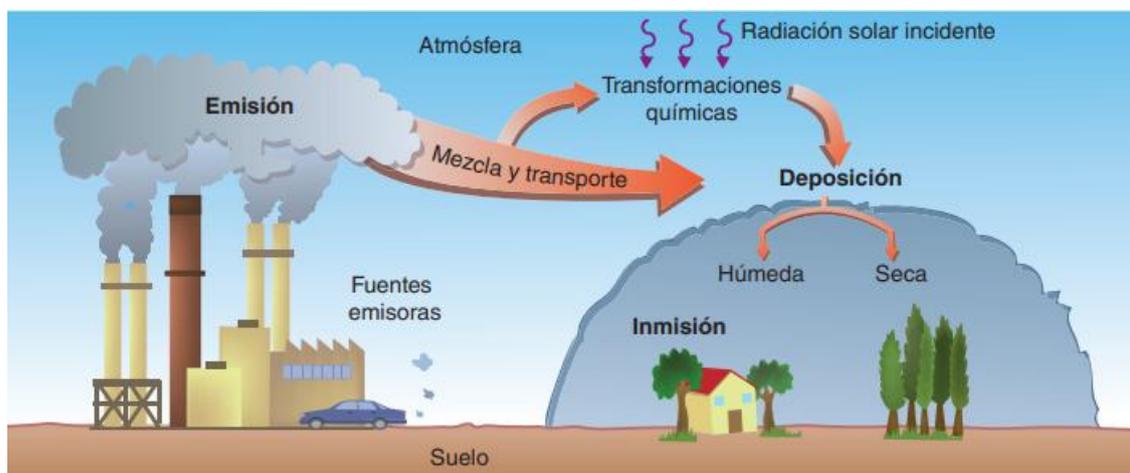
2.2.2. Contaminación Atmosférica

Es la inserción de componentes, sustancias, moléculas, partículas, perjudiciales en concentraciones altas, alterando las propiedades físico, químicas naturales, en consecuencia, afectando la salud, del entorno que no pueden gozar de las propiedades Naturales del aire. Procesos que se desarrollan en la atmósfera con los contaminantes primarios, secundarios una serie de mezclas, transformaciones, desplazamientos Determinadas por las variables meteorológicas (Echeverri, 2019).

En la figura 1 se puede observar la dinámica del ciclo del contaminante atmosférico desde su génesis hasta la mezcla con otros elementos y finalmente su deposición en el medio.

Figura 1

Relación fuente - Medio de transporte y receptor



Nota. Obtenido de Echeverri (2019).

2.2.2.1. Gases contaminantes atmosféricos

La disposición espacial de los gases atmosféricos depende de las irregularidades y accidentada topografía y por las cambiantes estaciones climáticas (Ministerio del Ambiente, 2009), son originados principalmente por actividades antrópicas por el crecimiento del parque automotor; industrias; residuos sólidos; minerías, etc.

Clasificándose en primarios que se desarrollan en el foco de la emisión y secundarios que se desarrolla por la interacción del ambiente de los contaminantes primarios en la atmosfera (Ferran, 2005).

Los óxidos se encuentran entre los más abundantes y comunes como el nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO_2) y el ozono (O_3); en la atmósfera inferior se encuentra el plomo (Pb), las partículas, cenizas y hollín. Los compuestos orgánicos volátiles (COV), el ozono troposférico (O_3), se da su génesis en las reacciones químicas con los contaminantes primarios que se desarrollan con la acción de la luz solar. Ciertos gases como CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 pueden almacenar calor y pueden dar origen a manifestaciones visto tal como "efecto invernadero". En las últimas anualidades la actividad humana ha provocado que estos gases aumenten, lo que puede conllevar a intensificar el calentamiento global (Forero, 2019).

Algunos altamente concentrados y otras diluidas clasificandose por su resiliencia es decir su tiempo o la velocidad que se va encontrar teniendo asi como permanentes o variables y su cantidad por ejemplo si su concentracion es alta seran denominados comom gases principales o si es diluido se denominará gases trazas, la medida usada de los gases atmosfericos son en concentraciones masa sobre volumen (Kg/m^3) y la fracion molar (mol /mol) y las de mezcla volumetrica tenemos partes por billon (ppbv). (Lagzi et al., 2013) (ver tabla 1).

Tabla 1

Método de los analizadores automáticos

Tiempo De residencia	Componentes		
	Cantidad	principales	Gases traza
Gases Permanentes		Nitrógeno, Oxígeno y Argón	Neón, Helio, Hidrogeno y Xenón
Gases variables		Dióxido de Carbono	Gases de larga vida media como los compuestos Clorofluorocarbonados (CFC), el metano y el óxido de nitroso
Gases altamente Variables		Vapor de agua	Gases de corta vida media como dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono

Nota. Adaptado de Lagzi et al., (2013).

- Dióxido de Nitrógeno: Elemento que se forma por la oxidación de los óxidos de nitrógeno en el ambiente, son producidos por actividades antrópicas es característico en zonas donde se desarrolla las ciudades por el uso de combustibles fósiles, por consiguiente, son considerado unos de los elementos importantes para su monitoreo y de interés en la salud pública. Las altas emisiones de óxidos de nitrógeno antrópicas provienen de los motores de combustión interna de los automóviles y de las grandes centrales térmicas (Ministerio del Ambiente, 2009). El efecto en las personas es básicamente la afectación al sistema respiratorio llegando a provocar tos, irritación de la garganta, asma, en cuanto a los efectos al ambiente son corrosiones por lluvias acidas, inicia la formación del ozono troposférico, contaminación de ríos, lagos por deposición en el agua por elevado de NO_2 en el aire (Tyler & Acevedo, 2013).
- Dióxido de Carbono: Componente propio del aire, con características incoloro e inodoro cumple funciones termostáticas regulando la temperatura de la tierra, elemento formando por un átomo de carbono y dos de oxígeno, en cantidades elevada contribuye al efecto invernadero estas concentraciones se dan por actividades principalmente antropogénicas, por su propiedad en la solubilidad con el agua incrementa la acides del mar perjudicando la calidad de los ecosistemas marinos, al aumentar la temperatura del planeta se crea descongelamiento de montañas y de glaciares produciendo aumento de vientos y precipitaciones (Arroyo & Armando, 2020). Es el gas traza más significativo de los gases de efecto invernadero y en el puesto segundo del calentamiento global (Benavides & León, 2007). Por su parte, el monóxido de carbono se produce por la oxidación incompleta del carbono en el proceso de combustión en vehículos, hornos, plantas de generación de energía térmica e incineradores; a diferencia del dióxido de carbono que se genera de manera natural o por combustión completa (Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004).
- Dióxido de Azufre: Gas incoloro, no volátil, la vida en la atmosfera es de cuatro días, en la atmosfera el 50 % es depositado en el relieve terrestre y el restante en la génesis de distintas sustancias químicas existentes en la atmosfera, en la actualidad representa un problema ambiental, dado a la reducción de la naturaleza de su recuperación, contribuyendo en la combustión de combustibles ricos en azufres. En la tabla 2 se detalla el origen del dióxido de azufre.

Tabla 2*Clasificación de Dióxido de Azufre según su origen*

Criterio	SO₂	Descripción
Origen	Natural	Producto de la actividad geológicas, volcánica e ignición de bosques
	Antropogénico	Derivado de la combustión combustibles fósiles ampliamente usado en el transporte, en los hogares e industrias.

Nota. Adaptado de Salazar (2018).

2.2.2.2. Fuentes de contaminación

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015) señala:

- Fuentes fijas: punto localizado, inmóvil que expulsa desde el lugar los contaminantes.
- Fuentes móviles: punto de expulsión de contaminantes en su trayectoria de desplazamiento de un lugar a otro.
- Fuentes de área: Integra un punto o varios puntos de expulsión de contaminantes en un área delimitada, este tipo de fuente sirve para monitores difíciles de identificar como por ejemplo los mercados, camiones.
- Fuentes naturales: puntos de expulsión de contaminantes Que tiene su origen de las actividades humanas como los cultivos.

2.2.3. Calidad de Aire

El aire está compuesto de diferentes gases y la cantidad de densidades de ellas definirán la calidad del aire siendo apto o perjudicial para la sanidad (Mayorga, 2018). Las propiedades del aire se encuentran asociado con naturaleza de los gases y en las zonas específicas de su emisión, el aire tiene la capacidad de limpiarse por acción de las lluvias y el viento, al no lograrse por este proceso natural caso contrario los superarse los niveles de densidad de los gases se entiende que estamos frente a una contaminación de aire (Ministerio del Ambiente, 2010).

2.2.3.1. Estándares de calidad de aire

Lineamientos de parámetros que no deben ser superados para proteger ambiente y la

salud. La Dirección General de Salud Ambiental (2005) los considera estándares primarios debido a que protegen la salud, y son los mencionados:

- Dióxido de Azufre
- Material Particulado con diámetro menor o igual a diez micrómetros (PM₁₀)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de Nitrógeno (CO)
- Ozono (O₃)
- Plomo (Pb)
- Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

2.2.3.2. Monitoreo de calidad de aire

Instrumento cuya función es comprobar la existencia, identificar y cuantificar de la densidad de elementos, sustancias, moléculas en el aire, en una frecuencia concreta. Constituye parte importante del control de la calidad de aire, permite identificar los focos puntuales y la tendencia, para de esta manera tomar decisiones y prevenir daños a la salud y al entorno (Dirección General de Salud Ambiental, 2005).

En la tabla 3, nos muestra los grupos y parámetros que se monitorean para determinar la calidad del aire.

Tabla 3

Identificación de aspectos que determinan la calidad del aire

Grupo	Parámetro
Material particulado	- Material particulado de diámetro menor a 10 nm (PM-10)
	- Material particulado de diámetro menor a 2,5 µm (PM-2,5)
Gases	- Dióxido de azufre
	- Monóxido de carbono
	- Dióxido de Nitrógeno
	- Ozono
	- Sulfuro de Hidrogeno

(continúa)

Tabla 3 (continuación)

Grupo	Parámetro
Metales pesados	- Plomo
Parámetros Meteorológicos	- Dirección del viento - Velocidad del viento - Temperatura - Humedad relativa - Precipitación - Radiación solar - Altitud - Perfil de venta de temperatura - Nubosidad

Nota. Adaptado de Dirección General de Salud Ambiental (2005).

2.2.3.3. Métodos de monitoreo de la calidad del aire

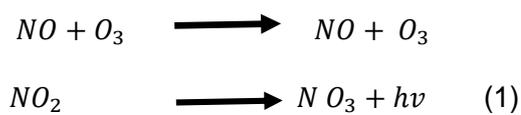
Según en el Protocolo de monitoreo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire Ministerio del Ambiente (2019):

A diferencia del monitoreo de agua y suelo dónde se toma la muestra en litros o gramos, el aire sería muy grande la toma de muestra en volumen (m^3), para ello se cuenta con equipos, que solo toma el analito o sustancias de interés, los tipos de sistemas tenemos:

- Sistema Manual Pasivo: Método simple de toma de muestra, de bajo costo, no es preciso, resultado un aproximado de la calidad del aire, para el cálculo se pesa el analito en el laboratorio dividido entre el volumen de la muestra, este volumen es estimado bajo un flujo teórico y por el periodo de muestreo Dada por el fabricante.
- Sistema Manual Activo: Sistema de monitoreo donde el equipo genera un flujo negativo tomando el analito y midiendo de forma precisa el flujo del aire en periodos y frecuencias exactas. Para el análisis de la concentración, se toma la masa del ambiente dividido con el volumen del analito.
- Sistema automático: Sistema de toma de muestra que se caracteriza por no llevarse el analito al laboratorio, ya que cuentan con tecnología (ópticos de

fluorescencia UV, quimioluminiscencia, dispersión de luz y atenuación de rayos beta). Un sistema automático contiene una caseta con varios equipos, como analizadores automáticos, monitores, sensores meteorológicos, entre otros; que están dirigidos a supervisar las concentraciones de uno o más poluciones del aire y ciertos parámetros indicadores. Los analizadores automáticos se utilizan para determinar la concentración de gases contaminantes en el aire mediante la cuantificación de su densidad, basándose en sus propiedades físicas y/o químicas (Instituto Nacional de Ecología, 2006). A continuación, se describen algunos analizadores:

- Analizador de CO: Utilizan el principio de operación, la fotometría infrarroja basado en la capacidad del gas de asimilar energía en diferentes magnitudes de onda, se cuantifica la captación de la luz infrarrojo.
- Analizador de NO_x (Quimioluminiscencia): Quimioluminiscencia prendimiento que consiste en la cuantificación de la luz en intervalo de 500 y 30000 nm, producida por reacción que se da entre el Óxido Nítrico (NO) y el Ozono (O₃), como se muestra en la siguiente ecuación:



- Analizador de SO₂: Aplican la técnica de fluorescencia pulsante, consiste en que la sustancia SO₂, se logra cuando la sustancia observe la radiación ultravioleta (UV), 210-240 nm posteriormente es devuelto en forma de pulso de luz fluorescente a cantidades superiores en los intervalos de 240- 410 nm. Mientras más sea la cantidad de SO₂ mayor será la luz pulsante fluorescente emitida (Instituto Nacional de Ecología, 2010).
- Sensores remotos: técnicas de monitoreo que usan los sensores espectroscópicos de largo alcance, la data es resultado de la adhesión del detector y la luz, son útiles su aplicación cerca la fuente.

2.2.4. Calidad de aire en la ciudad de Ilo

Según el Inventario de Emisiones de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Ilo realizado en 2006, los principales aportes de contaminantes están relacionados con las fuentes puntuales, siendo el dióxido de azufre (SO₂) el que abarca la mayor emisión con 451738 Ton/año; mientras que las fuentes de área y móviles tienen una atribución en conjunción de 165 Ton/año. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) refieren una emisión de 2505 Ton/año, relacionado a las fuentes puntuales el 89 %. Para el monóxido de carbono (CO), son

las fuentes móviles las que adquieren una elevada emisión con 460 Ton/año, no obstante, dispone una significancia de 49,5 % en la cuenca (Municipalidad Provincial de Ilo, 2021). En la tabla 4 se detalla el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos realizado en la ciudad de Ilo.

Las fuentes móviles identificadas en la Ciudad de Ilo son el parque automotor, el transporte ferroviario y el transporte marítimo, las fuentes puntuales abarcan a las empresas dedicadas al procesamiento de pescado, la minería y centrales de generación de energía; mientras que las fuentes de área abarcan a las pollerías, panaderías, lavanderías, entre otras actividades comerciales menores.

Tabla 4

Inventario de Emisiones Anuales de la Ciudad de Ilo

Contaminante	Fuente	Fuentes puntuales	Fuentes de área	Fuentes móviles	Total
	PTS	Ton/Año	16564	20	31
	%	99,7	0,1	0,2	100
PM ₁₀	Ton/Año	5 283	17	31	5331
	%	99,1	0,3	0,6	100
SO ₂	Ton/Año	451738	7	158	451903
	%	99,963	0,002	0,35	100
NO _x	Ton/Año	2229	6	270	2505
	%	89	0,2	10,8	100
CO	Ton/Año	291	178	460	929
	%	31,3	19,2	49,5	100
COV	Ton/Año	498	64	95	657
	%	75,8	9,7	14,6	100
H ₂ S	Ton/Año	22	0	0	22
	%	100	0	0	100
Pb	Ton/Año	0	0	1	1
	%	0	0	100	100

Nota. Adaptado del Plan de desarrollo Urbano de la ciudad de Ilo, por Municipalidad Provincial de Ilo (2021).

2.2.5. Interpolación lineal con la ponderación de la distancia inversa (IDW)

Características propias de aproximación mas cercanos a los parámetros iniciales insertados, interpola la data en una área raster mediante la distancia inversa ponderada, influidos con la cercanía y las diferentes tendencias, desarrollando una interpretación visual de cambios graduados, el número puntos de muestras surgen opiniones variadas en la que sugieren entre tres y siete algunos seis a nueve u otros menores a seis (Babak & Deutsch, 1974).

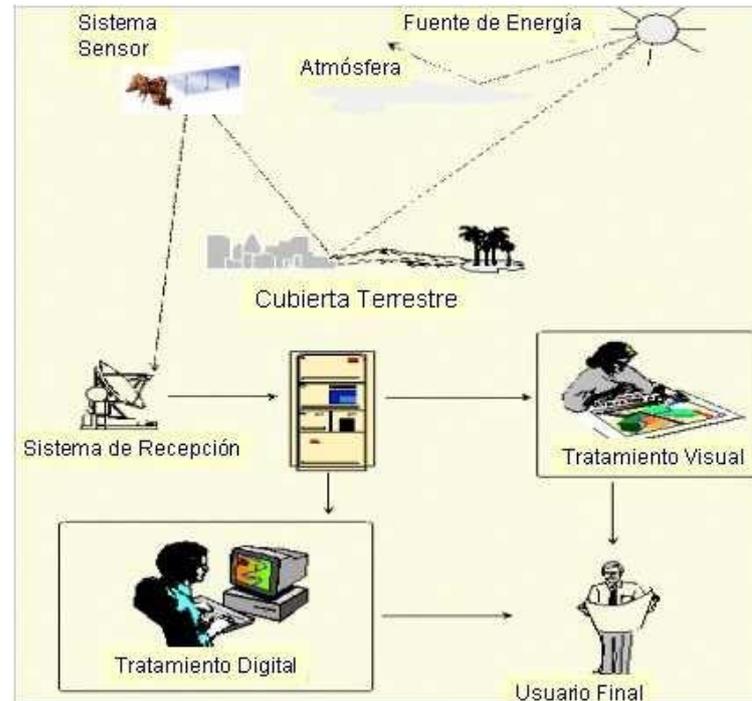
2.2.6. Teledetección

Técnicas o procedimientos que consisten en conseguir datos de objetos de manera remota, sin la existencia de un contacto o interacción con el objeto; los datos obtenidos resultan a partir de la recepción de las radiaciones reflejadas de los objetos, estas son capturadas por los sensores de los satélites obteniendo como resultado información del objeto (Pérez & Muñoz, 2006).

Chuvienco (2008) describe los elementos de un sistema de teledetección espacial:

- Fuente de energía, constituye el origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor. Puede considerarse una fuente externa, o un haz energético emitido por el sensor.
- Cubierta terrestre, comprende la vegetación, suelos, agua o edificaciones, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de según características físicas.
- Sistema sensor, compuesto por el sensor propiamente dicho, y la plataforma que lo contiene. Su objetivo es captar la energía que proviene de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- Sistema de recepción-comercialización, donde se recibe la información transmitida por el sensor, se graba en un formato adecuado, se distribuye a los interesados previa corrección.
- Interprete, que transforma esos datos en información de interés, ya sea en forma visual o digital, con el fin de facilitar la evaluación del problema en estudio.
- Usuario final, encargado de analizar el documento resultante de la interpretación, y utilizarlo para los fines que lo requiera.

En la figura 2 se observa la interacción de los componentes de la teledetección.

Figura 2*Componentes de un sistema de teledetección*

Nota. Obtenido De Chuvieco (2008).

Actualmente, la teledetección tiene muchas aplicaciones en la ciencia atmosférica, la ecología, los estudios urbanos, la geología, la agricultura, el seguimiento de la cubierta forestal, la prevención de riesgos naturales y la economía (Efremenko & Kokhanovsky, 2021).

La teledetección atmosférica nace a partir de la necesidad de realizar un control de la calidad de aire a escala regional y global. La teledetección atmosférica se precisa como “la medición de gases, sólidos y líquidos presentes en la atmósfera en tiempo real mediante el uso de instrumentos ópticos de observación a distancia” (Simonds et al., 1994, como se cita en Represa, 2020)

2.2.6.1. Fundamentos físicos de la teledetección

Para que la observación remota sea posible, es necesario que exista una interacción entre el flujo energético y el sensor y objeto observado. Precisamente el flujo energético es una forma de radiación electromagnética, y es la base de la teledetección.

Las propiedades de la radiación electromagnética se explican por dos teorías:

- La teoría ondulatoria: propone que “la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo y a la velocidad

de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: el campo eléctrico y magnético” (Chuvienco, 2008). Esta teoría presenta dos características principales: la longitud de onda que se refiere a la distancia entre dos picos sucesivos de una onda; y la frecuencia, que designa el número de ciclos pasando por un punto fijo en una unidad de tiempo. ambos elementos están inversamente relacionados, y se expresa en la ecuación 2:

$$c = \lambda\nu \quad (2)$$

donde c indica la velocidad de la luz, λ expresa la longitud de onda (expresada mayormente en nanómetros) y ν la frecuencia (en Hertz) (Chuvienco, 2008).

- La teoría cuántica: considera la radiación electromagnética como “una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos con masa igual a cero” (Chuvienco, 2008).

2.2.6.2. Espectro electromagnético

Se puede definir como la agrupación de ondas electromagnéticas según longitud de onda o frecuencias en regiones, que pueden subdividirse a su vez en rangos y bandas (Sabins & Ellis, 2020). A continuación, se define las regiones espectrales empleadas en teledetección:

- Ultravioleta: esta región contiene información sobre el O₃, SO₂ y otros gases traza en la troposfera y la estratosfera, que son de interés para las ciencias atmosféricas y volcánicas (Krueger, 2014).
- Espectro visible: se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde la radiación solar es mayor. En esta región se distinguen 03 bandas, azul, verde y rojo, en razón de los colores primarios que son percibidos por nuestros ojos (Chuvienco, 2008).
- Infrarrojo: en esta región se distinguen 04 bandas (Chuvienco, 2008):
 - Infrarrojo cercano (NIR en sus siglas en inglés): también denominado infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, debido a que parte de él puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales. Se utiliza para detectar vegetación y concentraciones de humedad.
 - Infrarrojo de onda corta (SWIR en sus siglas en inglés) región idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o suelos.
 - Infrarrojo medio (MWIR en sus siglas en inglés) banda idónea para estimar el

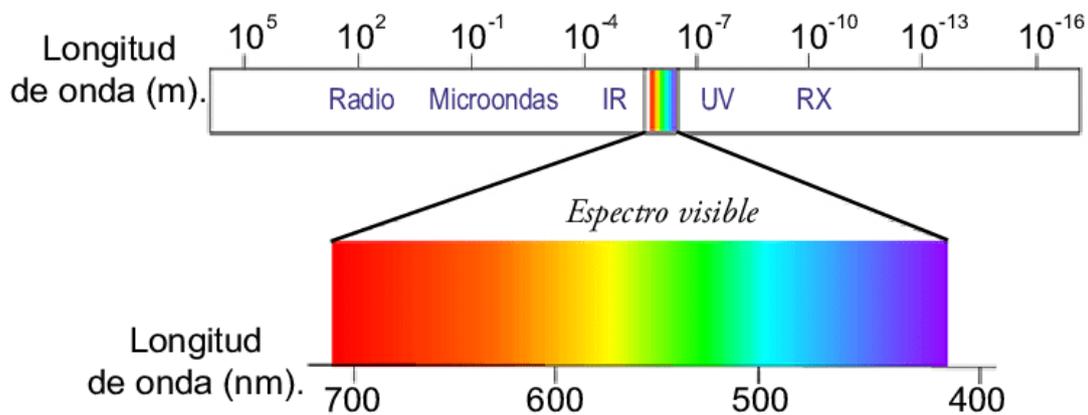
contenido de humedad en la vegetación o los suelos.

- Infrarrojo térmico (TIR en sus siglas en inglés): utilizado para la detección de focos de alta temperatura (incendios o volcanes activos), así como el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.
- Microondas: de interés por brindar información de la cubierta vegetal, el estado de humedad del suelo y la superficie (Campbell & Wynne, 2011).

En la Figura 3 se observa el espectro electromagnético con la longitud de onda en metros y nanómetros. Cabe mencionar que los rangos de longitud de onda no están completamente definidos, por tanto, pueden variar según cada autor.

Figura 3

Espectro electromagnético



Nota. Obtenido de Quirós (2014) del sitio web: https://www.researchgate.net/figure/Figura-158-Espectro-electromagnetico_fig55_272090105.

2.2.6.3. Interacción de la radiación electromagnética con la atmosfera

Los principales procesos físicos de interacción entre la radiación electromagnética y las moléculas y gases que componen la atmosfera son la absorción y dispersión. Sobrino (2001) define la absorción como la transformación energética sufrida por la radiación cuando atraviesa el medio, y la dispersión como el cambio de dirección de parte de la radiación incidente respecto a la que llevaba originalmente.

Una fracción de la energía que atraviesa la atmosfera es absorbida por los componentes atmosféricos (oxígeno, dióxido de carbono, ozono, vapor de agua, con una menor influencia los aerosoles atmosféricos) y posteriormente se emite a diferentes longitudes de onda (Sobrino, 2001). Cabe mencionar que esta absorción es diferente para cada sustancia química y, por tanto, cada sustancia deja una huella en el espectro

de luz observado (Royal Belgian Institute for Space Aeronomy, s.f.).

2.2.7. Sensores

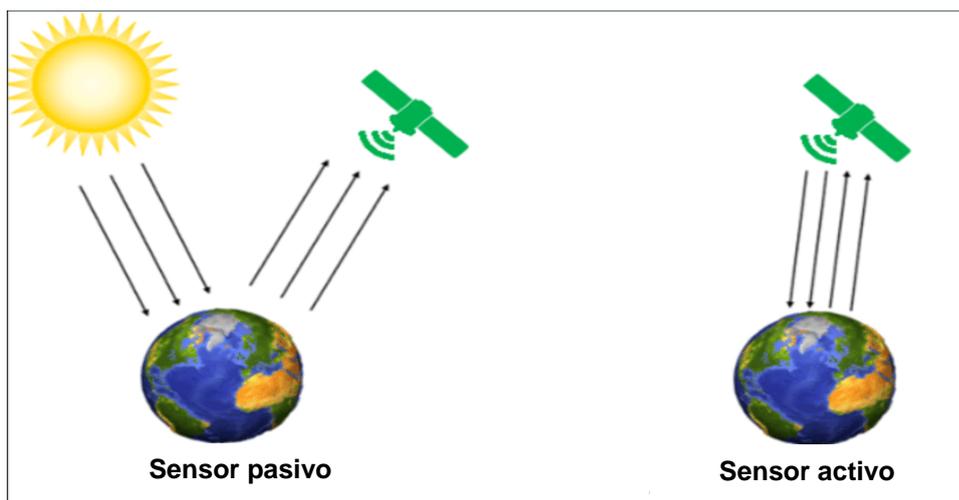
Uno de los principales elementos del sistema de teledetección, es sin duda el sensor. Sobrino (2001) lo define como el instrumento capaz de detectar la señal electromagnética (radiación reflejada o emitida) que llega de la Tierra y la atmósfera y convertirla en una magnitud física que puede ser tratada y grabada. Los sensores convierten la señal electromagnética en un formato analógico (fotografía) o digital (imagen).

Existen diferentes formas de clasificar los sensores remotos, la más tradicional considera la fuente de energía, y los divide en sensores pasivos y activos (Ver Figura 4). Chuvieco (2008) los define de la siguiente manera:

- Sensores pasivos, reciben la energía electromagnética reflejada de los rayos solares o emitida, proveniente de cubiertas terrestres. Dependen de una fuente de radiación externa, siendo la más común la radiación solar.
- Sensores activos, emiten su propio haz de energía, que luego es reflejado de vuelta al sensor. No dependen de una fuente de radiación externa. Los más conocidos son el radar y el lidar.

Figura 4

Tipos de sensores



Nota. Adaptado de The Mexican Water Forest: benefits of using remote sensing techniques to assess changes in land use and land, por Lopez (2016).

2.2.7.1. Técnicas de teledetección pasiva

Entre los sensores pasivos se distinguen a los radiómetros y espectrómetros; de los

cuales el espectrómetro es ampliamente utilizado para la detección de gases traza en la atmosfera. El espectrómetro es un instrumento que mide la luz absorbida y dispersada, además distingue y analiza las bandas espectrales (Kogut, 2021). Existen espectrómetros de absorción y de emisión; para este caso, es de nuestro interés definir los espectrómetros de absorción, que utilizan el principio de espectroscopia de absorción. Fried & Richter (2006) definen la espectroscopia de absorción como “el estudio de la absorción de radiación electromagnética por átomos y moléculas”. Los datos generados por la espectroscopia se pueden utilizar para estudiar la estructura molecular, el tamaño, la forma y la naturaleza de las moléculas absorbentes y de los enlaces químicos; así como las interacciones entre los niveles de energía involucrados en las transiciones (Fried & Richter, 2006). Las diferentes moléculas absorben radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda específicas, esto se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5

Regiones, bandas espectrales y técnicas de teledetección

Región / banda espectral	Rango de longitud de onda	Principios de teledetección	Compuestos
UV	200-400 nm	Absorción	SO ₂ , H ₂ S, OH, NO _x , Hg, Cl ₂ , compuestos aromáticos
Visible	400-700 nm	Absorción	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , H ₂ O
IR cercano	700-2500 nm	Absorción	CO ₂ , CO, H ₂ O, O ₂
IR medio	2500-25000 nm	Absorción Emisión Fluorescencia	COVs, gases
IR lejano	0,025-0,5 mm	Absorción Emisión	H ₂ O, O ₃ , N ₂ O, NO ₂

Nota. Adaptado de Optical remote sensing for air pollutants-review, por Simonds et al. (1994).

Las principales técnicas utilizadas son la espectroscopia óptica de absorción diferencial (mejor conocido por sus siglas en inglés DOAS) y la espectroscopia de

absorción infrarroja. La técnica DOAS permite determinar la concentración de varios gases trazas simultáneamente sin alterar su comportamiento químico, midiendo sus estructuras de absorción de banda en la región espectral UV y visible (Platt & Stutz, 2008, como se citó en Pacheco, 2022).

La espectroscopia de absorción infrarroja permite comprender una serie de procesos atmosféricos importantes, incluida la acumulación de gases de efecto invernadero y su papel en el cambio climático futuro, así como información detallada sobre el procesamiento químico en la atmósfera (Fried & Richter, 2006).

2.2.8. Plataformas de teledetección espacial

2.2.8.1. Landsat

Es un programa lanzado por la NASA en conjunto con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); ofrece el catálogo más amplio de observaciones de la Tierra a nivel global. El primer satélite Landsat 1 lanzado en 1972, fue el primer satélite para el estudio de los recursos naturales. El programa Landsat ha provisto de una cobertura continua de la tierra desde su primer lanzamiento (Chapman & Gasparovic, 2022).

2.2.8.2. Sistema de Observación de la Tierra (EOS)

El EOS de la NASA es una serie de satélites de orbitar polar que tienen como propósito la observación global de la superficie terrestre, atmosfera, criosfera e hidrosfera. Cuenta, a la fecha, con 35 misiones diferentes, entre ellas los satélites Terra, Aqua, Aura, QuikScat, ICESat.

El satélite Aura está orientado al estudio de la química y la dinámica de la atmósfera, fue lanzada en 2004 e incluye cuatro instrumentos, siendo el principal, el sensor OMI, que monitorea el ozono, NO₂, aerosoles y gases traza.

2.2.8.3. Programa Copernicus

La Comisión Europea, a través de la Agencia Espacial Europea (ESA), inició en 1998 el Programa Copernicus como un ambicioso proyecto que permite la observación continua y completa de la Tierra. Este programa comprende 02 familias de satélites: Sentinel y misiones en convenio (Utreras, 2019).

Las misiones especializadas Sentinel tienen como objetivo reemplazar las misiones de observación antiguas que están fuera de circulación, como son las misiones

ERS y Envisat, lanzados el 1991 y 2002 respectivamente. Cada misión se enfoca en un aspecto diferente de la observación de la Tierra; monitoreo atmosférico, oceánico y terrestre, y los datos son útiles en muchas aplicaciones (European Space Agency, s.f.).

Actualmente, el programa Copernicus cuenta con 06 misiones Sentinel, para el presente estudio es de interés la misión Sentinel 5P, el cual se describe a continuación:

2.2.9. Sentinel 5P

El satélite Sentinel 5 Precursor, porta un sensor llamado Instrumento Troposférico de Monitoreo (TROPOMI en sus siglas en inglés), el cual mide bandas de longitud de onda entre el UV y el SWIR; obteniéndose mediciones de CO, SO₂, NO₂, metano, nubosidad, entre otros. Fue lanzado el 13 de octubre del 2017 (European Space Agency, s.f.).

El proceso de determinación de la concentración de CO, NO₂, y SO₂ de TROPOMI utiliza algoritmos de recuperación que evalúan en que cantidad las moléculas absorben la radiación en su respectivo rango de longitud de onda, obteniéndose la concentración de la columna vertical troposférica del respectivo gas en mol/m².

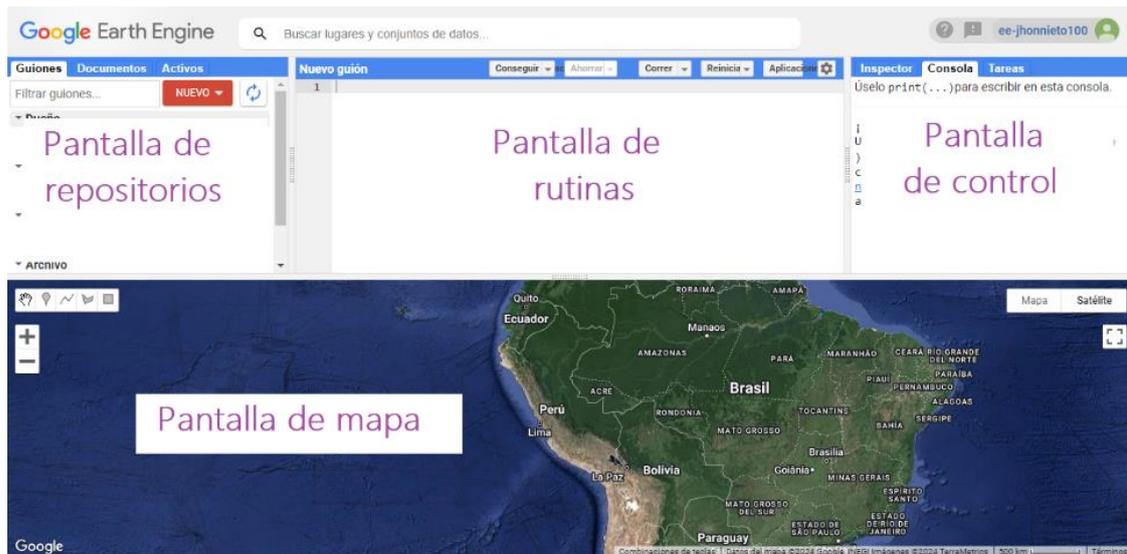
2.2.10. Google earth engine

Google Earth Engine (GEE) es un soporte desarrollada por Google que posibilita ejecutar operaciones geoespaciales a gran amplitud, gracias a su inmensa base de datos gratuitos. Una de las principales ventajas de GEE es la reducción de tiempo en el preprocesamiento, que permite facilitar los análisis realizados con información geoespacial (Solórzano & Perilla, 2022).

La plataforma GEE permite a los usuarios realizar diversos procesos antes de extraer la información y libertad de edición en el diseño de los resultados. Una vez que se consigue el producto final, éste se puede exportar y obtener los datos de interés (Pérez et al., 2022). Además, permite crear aplicativos que pueden ser publicados de manera gratuita. La Figura 5 muestra la Vista de la interfaz del Editor de código (Code editor) de Google earth engine.

Figura 5

Vista del Code editor de Google Earth Engine



Nota. Adaptado de Solórzano y Perilla (2022).

GEE cuenta con el API JavaScript, que es la más utilizada actualmente y es la primera opción que aparece una vez que ingresamos al Code editor de GEE; contiene mayor documentación y ayuda disponible; y es relativamente más fácil de utilizar para aquellos usuarios que están empezando en programación. Además, GEE ofrece el API en Python, que permite usar complementariamente sus bibliotecas previa instalación del API; para realizar operaciones más complicados, o funcionalidades que la API de JavaScript no permite (Solórzano & Perilla, 2022).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Cuenca atmosférica

Espacio geográfico que está determinado parcial o totalmente por algún accidente geográfico, con atribuciones meteorológicas y climáticas similares, donde la condición del aire está influenciada por fuentes de emisión antropogénicas y naturales en el interior de la misma, y en ciertos casos, por el transporte de contaminantes desde otras cuencas atmosféricas (Soria del Castillo, 2011).

2.3.2. Espectro electromagnético

Rango de longitud de onda sobre la que se extiende la radiación electromagnética. Las ondas más largas son las de radio, le siguen los rayos infrarrojos, después está la estrecha banda de la luz visible, seguido por la luz ultravioleta y los rayos gamma (Oxford University, 2004).

2.3.3. Espectrómetro

Instrumento que detecta las características de la luz dispersada, emitida o absorbida por átomos y moléculas (Atkins & de Paula, 2006).

2.3.4. Estación

Es un conjunto de instrumentos y/o sensores que realizan mediciones meteorológicas, hidrológicas, agrometeorológicas o de vigilancia atmosférica; los cuales se ubican en un determinado espacio geográfico. Dichas mediciones son tomadas en superficie y con instalación fija (Yerrén et al., 2022).

2.3.5. Evaluación de la calidad del aire

Se define como el resultado de la aplicación de métodos que permiten medir, calcular, predecir o estimar las concentraciones de un contaminante en la atmosfera, ambiente o su depósito en superficies en un momento determinado (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

2.3.6. Gases traza

Gases que están presentes en la atmosfera en proporciones muy pequeñas, muchos de estos gases absorben la radiación de onda larga, lo que contribuye al calentamiento global (Universidad de Murcia, s.f.).

2.3.7. Zonas de atención prioritaria

Son aquellos centros poblados que por poseer actividad vehicular ambientalmente relevante, o contar con una dinámica urbana que implique un potencial incremento de emisiones atmosféricas; proyecte afectación en la calidad del aire real o potencial (Ministerio del Ambiente, 2017).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

No experimental, lo que refiere que las variables no fueron manipuladas, por consiguiente, se basará en la observación en su naturaleza no pudiendo tener control como se muestran, para luego analizarlos (Sousa et al., 2007).

3.2. Acciones y actividades

Se realizó en base a los objetivos del presente estudio:

3.2.1. Análisis del comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P

Se descargaron imágenes satelitales de la plataforma Google Earth Engine mediante el desarrollo de un script en el editor de código (<https://code.earthengine.google.com>).

Los procesos realizados en el script son los siguientes:

- Se carga la colección de imágenes que contiene datos de CO, NO₂ y SO₂ respectivamente.
- Se importa el shape de Ilo, se define como área de interés, y se utiliza para filtrar las imágenes y delimitar el análisis a esa área.
- Se define la función recortar, que se utiliza para recortar cada imagen de la colección al área de interés (Ver Figura 6).

Figura 6

Desarrollo de script

```

1  var pais=ee.FeatureCollection("users/arlestaboada/Peru");
2  var departamento = pais.filterMetadata("NOMBDEP","equals","MOQUEGUA");
3  var illo=ee.FeatureCollection("projects/ee-arlestaboada/assets/milagros/ILO");
4
5  var imageCollection=ee.ImageCollection("COPERNICUS_L5SP");
6  var bounds=illo;
7
8  var nombre="Carbon Monoxide";
9  var mínimo=0;
10 var máximo=0.026;
11 var paleta= ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green'];
12
13 var arregloImagenesGrafico=[];
14
15
16 // Filtrar la colección de imágenes por año.
17
18 var recortar=function(image){
19   return image.clip( bounds);
20 };
21
22
23
24
25 var NivelCO = imageCollection
26

```

Selección de Colección de imágenes

Función recortar imagen

- Se aplica un filtro espacial y se selecciona la banda correspondiente al contaminante respectivo a la colección de imágenes (Ver Tabla 6).
- Se define el periodo de análisis, entre 01 de enero del 2021 y el 31 de diciembre del 2022 (Ver Figura 7).

Tabla 6

Características de datos de Sentinel 5P en Google Earth Engine

Dataset	Banda	Unidad
Monóxido de Carbono Offline ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/ OFFL/L3_CO")	CO_column_number_density	mol/m ²
Dióxido de Nitrógeno Offline ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/ OFFL/L3_NO2")	tropospheric_NO2_column_number_density	mol/m ²
Dióxido de Azufre Offline ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/ OFFL/L3_SO2")	SO2_column_number_density	mol/m ²

Nota. Bandas de estudio de la presente tesis

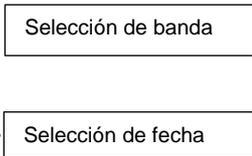
Figura 7

Desarrollo de script

```

24
25 var NivelCO = imageCollection
26   .filterBounds(bounds)
27   .select('CO_column_number_density')
28   .map(recortar);
29
30 // Set years and month
31 var startYear = 2021;
32 var endYear = 2022;
33 var years = ee.List.sequence(startYear, endYear);
34 var months = ee.List.sequence(1,12);
35
36
37
38 var imagenes=ee.ImageCollection(ee.FeatureCollection(years.map(function(year){
39
40
41   var yearCollection = NivelCO.filter(ee.Filter.calendarRange(year, year, 'year'));
42
43   var byYear= ee.ImageCollection.fromImages(months.map(function(month) {
44     var fecha= ee.Date(ee.Date.fromYMD(year, month, 1).format("YYYY-MM-dd"));
45     var date = fecha.millis();
46     var collectionMensual=yearCollection.filter(ee.Filter.calendarRange(month, month, 'month'))
47       .sum()
48       .mean();
49
50     // var imagenControl=ee.Image(1).rename("BControl");
51     //collectionMensual= collectionMensual.addBands(imagenControl);
52     collectionMensual= collectionMensual;
53     //0,1 mol * m^-2 / 10 km => 0,00001 mol * m^-3      ug*m^-3
54     // collectionMensual= collectionMensual.multiply(28.01).multiply(1e6).divide(1e4);
55     collectionMensual= collectionMensual;

```



- Se crea una colección de imágenes mediante la iteración sobre los años y los meses. Para cada combinación de año y mes, se filtran las imágenes de los

contaminantes correspondientes, se calcula el promedio y se convierte las unidades a $\mu\text{mol}/\text{m}^2$.

- Se definen las coordenadas geográficas de ubicación de las estaciones automáticas de la ciudad de Ilo, en forma de puntos (Ver Figura 8).

Figura 8

Edición de script

```

75
76   var listaImágenes=imágenes.toList(imágenes.size());
77
78   var puntos={
79     p1:[ee.Geometry.Point(-71.34,-17.61),{color:'red'},'ILO-PACCOCHA',0],
80     p2:[ee.Geometry.Point(-71.33,-17.63),{color:'yellow'},'ILO-BOLOGNESI',0],
81     p3:[ee.Geometry.Point(-71.325,-17.647),{color:'green'},'ILO-JOSE PARDO',0],
82
83   };
84
85
86   for(var i=0;i<listaImágenes.size().getInfo();i++){
87     var imagen=ee.Image(ee.List(listaImágenes).get(i));
88
89     // var boolean=imagen.bandNames().equals(["CO_column_number_density","BControl"]);
90     var boolean=imagen.bandNames().equals(["CO_column_number_density"]);
91
92
93     if( boolean.getInfo()){
94       var desFecha=imagen.get('fecha').getInfo();
95       imagen=imagen.select("CO_column_number_density");
96
97       Export.image.toDrive({
98         image: imagen,
99         folder:'Jhon',
100        scale:1113,
101        region:bounds,
102        description:'CO-'+desFecha
103

```

Puntos georreferenciados de las ubicaciones de las estaciones automáticas

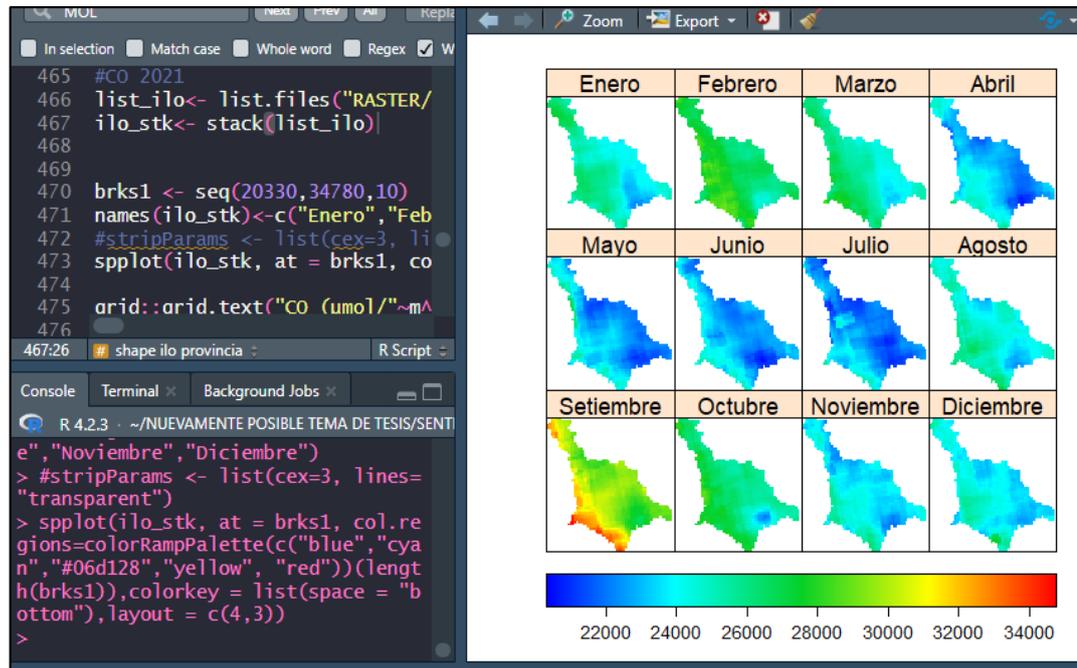
- Se recorren las imágenes de la colección y se realiza un muestreo para obtener el valor de concentración de los contaminantes en cada estación. Los resultados se imprimen en la pantalla de control.
- Se agregan las imágenes a la capa del mapa junto con una paleta de colores para visualizar la concentración de los contaminantes en diferentes fechas.
- Finalmente, se exporta las imágenes satelitales en formato GeoTIFF. El script completo se muestra en el Anexo 11.

Para el procesamiento de los datos obtenidos de las imágenes satelitales de Google Earth Engine se descartó los valores negativos obtenidos; luego se calculó el promedio, máximos y mínimos por cada contaminante y por cada mes.

Para realizar el análisis de comportamiento de las concentraciones obtenidas de CO, NO₂ y SO₂ se elaboraron mapas de distribución espacial y gráficas de series de tiempo mensual. Para graficar los mapas de distribución se utilizó la función `splot` de la librería raster del programa Rstudio (Ver Figura 9),

Figura 9

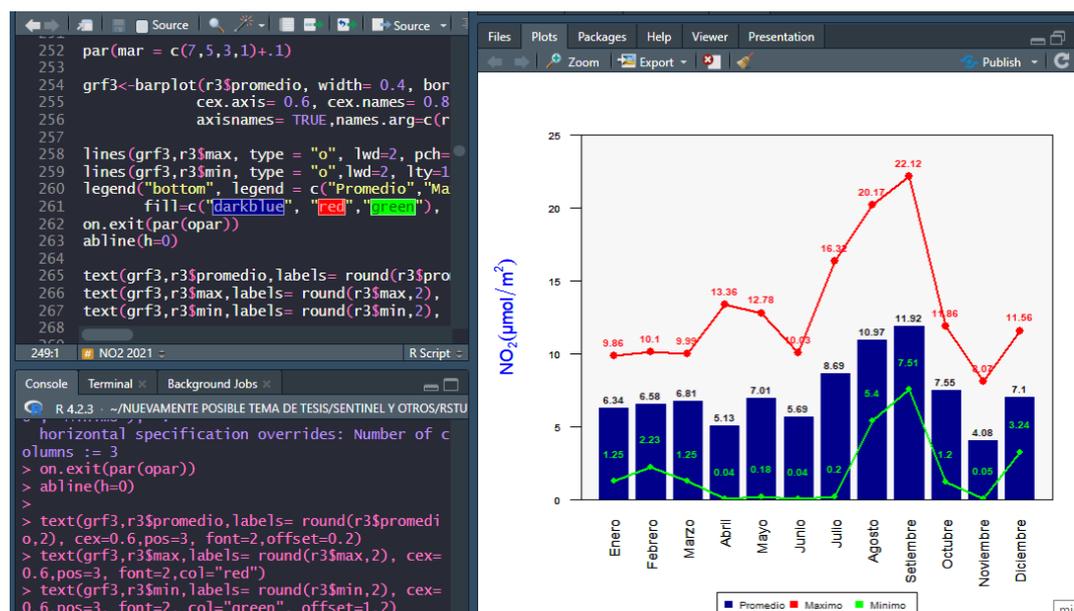
Desarrollo de código de mapas de distribución espacial en Rstudio



Para realizar las gráficas de series de tiempo mensual de las concentraciones promedios, máximos y mínimos se utilizó la función de R base barplot del programa Rstudio (Ver Figura 10), El código desarrollado se muestra en el Anexo 12.

Figura 10

Desarrollo de código de graficas de series de tiempo en Rstudio



3.2.2. Análisis de variación de concentraciones CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas

Se procesaron los datos de concentraciones de la ficha de registro de las tres estaciones automáticas del OEFA. Se utilizaron los datos horarios para el CO, NO₂ y promedios de 24 horas para el SO₂ y posteriormente se compararon con los ECA de aire respectivo, que se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Estándares de Calidad Ambiental Aire para CO, NO₂ y SO₂

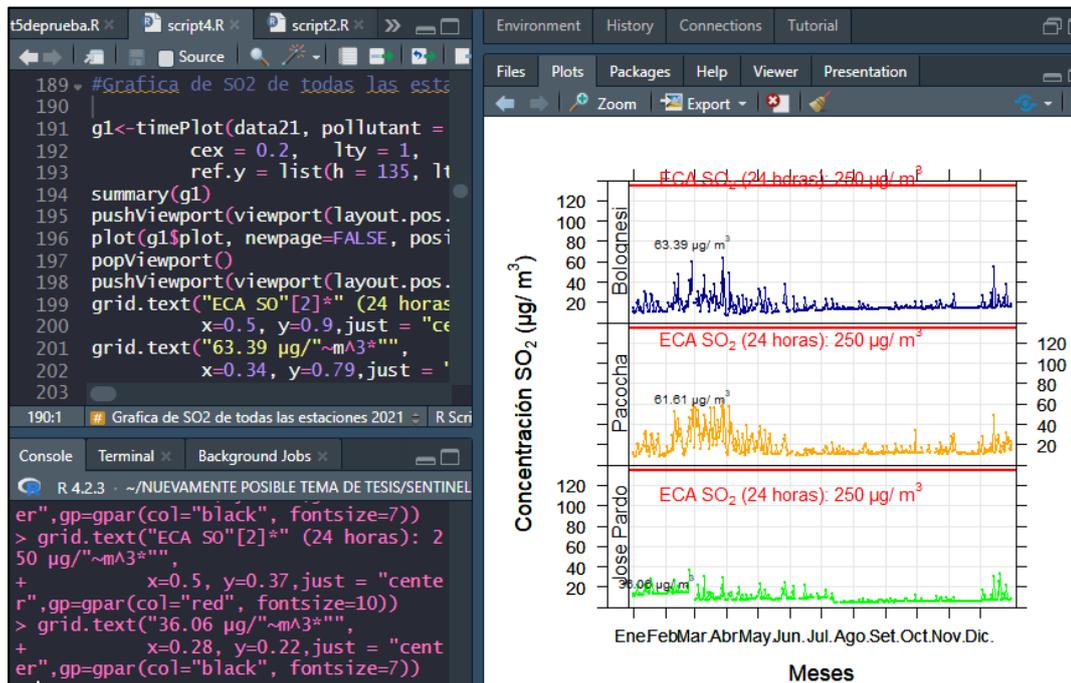
Parámetros	Periodo	Valor µg/m ³	Criterio de evaluación	Método de análisis
Dióxido de azufre	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia UV (método automático)
Dióxido de nitrógeno	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Monóxido de Carbono	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo IRND (método automático)
	8 horas	1000	Promedio aritmético anual	

Nota. Adaptado de Ministerio del Ambiente (2017).

Para realizar el análisis de la variación de concentraciones de los contaminantes se elaboraron graficas de series de tiempo anual de cada estación y contaminante. Estas graficas mostraron una línea horizontal roja que representa el ECA respectivo, así como las concentraciones máximas registradas para cada estación y contaminante. Se utilizó el programa Rstudio, que es ideal para procesar una gran cantidad de datos, y la librería OpenAir que permite el análisis estadístico de datos de calidad del aire; específicamente la función timePlot, que a su vez permitió graficar en una sola figura los gráficos de las 03 estaciones, así como seleccionar el periodo de tiempo, sea horario o 24 horas, de manera automática (Ver Figura 11). El código desarrollado se muestra en el Anexo 12

Figura 11

Desarrollo de código de series de tiempo de estaciones automáticas en Rstudio



3.2.3. Elaborar mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones registrados por las estaciones automáticas

Se procesaron en el software Excel, la data de la ficha registro de concentraciones emitido por la OEFA tomando criterios para CO y NO₂ de 1 hora, SO₂ de 24 Horas en las fechas establecidas por SENAMHI que se mencionan a continuación:

Para el año 2021, en otoño el 20 de marzo, invierno el 20 de junio, primavera el 22 de septiembre y verano el 21 de diciembre. Para el 2022, en otoño el 20 de marzo, invierno el 21 de junio, primavera el 22 de septiembre y verano el 21 de diciembre.

La data procesada en el Excel fue separada en pestañas creadas con tres colores azul, naranja, verde y etiquetados con códigos, como ejemplo en la figura 12 la pestaña con etiqueta "INV_PHA-21", que significa la estación de invierno de la estación automática de Pacocha del año 2021,

Figura 12

Procesamiento de data por estaciones

Concentración de CO, NO₂ de 1 hora

Concentración de SO₂ de 24 horas

Pestañas estacionales para la estación automática Pacocha

Pestañas estacionales para la estación automática J. Pardo

Pestañas estacionales para la estación automática Bolognesi

date	SO2_1h_ugm3	CO_1h_ugm3	NO2_1h_ugm3	SO2_24h_ugm3	date	estado
2021-06-20 00:00:00 UTC	9.9	408.1	3.3	10.41	2021-06-20	Validado
2021-06-20 01:00:00 UTC	18.4	415	7.3	10.99	2021-06-21	Validado
2021-06-20 02:00:00 UTC	23.2	418.9	10.6	11.2	2021-06-22	Validado
2021-06-20 03:00:00 UTC	20.7	419.9			23	Validado
2021-06-20 04:00:00 UTC	24.3	433.2			24	Validado
2021-06-20 05:00:00 UTC	29.1	426.8			25	Validado
2021-06-20 06:00:00 UTC	27.3	441			26	Validado
2021-06-20 07:00:00 UTC	23.1	427.5	8.9	10.16	2021-06-27	Validado
2021-06-20 08:00:00 UTC	19.1	439	5.2	10.19	2021-06-28	Validado
2021-06-20 09:00:00 UTC	12.1	422	5.9	10.43	2021-06-29	Validado
2021-06-20 10:00:00 UTC	10.6	404.8	7.3	10.39	2021-06-30	Validado
2021-06-20 11:00:00 UTC	10.2	405.5	5	10.17	2021-07-01	Validado
2021-06-20 12:00:00 UTC	10	394.8	5.5	10.83	2021-07-02	Validado
2021-06-20 13:00:00 UTC	10	400.2	3.4	14.5	2021-07-03	Validado
2021-06-20 14:00:00 UTC	10	402.8	6.2	11.66	2021-07-04	Validado
2021-06-20 15:00:00 UTC	9.8	405.7	3.6	16.3	2021-07-05	Validado
2021-06-20 16:00:00 UTC	9.9	448.1	5.3	17.72	2021-07-06	Validado
2021-06-20 17:00:00 UTC	9.7	454.4	5.5	16.21	2021-07-07	Validado
2021-06-20 18:00:00 UTC	9.9	442.6	5.6	10.34	2021-07-08	Validado
2021-06-21 00:00:00 UTC	9.9	412.3	2.3	11.19	2021-07-14	Validado
2021-06-21 01:00:00 UTC	9.7	397.3	2.1	10.24	2021-07-15	Validado
2021-06-21 02:00:00 UTC	10.6	403.2			2021-07-16	Validado

Una vez obtenida la data estacional del año 2021 y 2022, se procede a realizar el promedio estacional, generándose un resumen de concentraciones estacionales de las tres estaciones automáticas con sus respectivas ubicaciones geográficas UTM WGS 84 como se muestra en la tabla 8 y tabla 9.

Tabla 8

Resumen de las concentraciones para el año 2021

Estación / Gas	CO				SO ₂				NO ₂			
	Oto	Inv	Pri	Ver	Oto	Inv	Pri	Ver	Oto	Inv	Pri	Ver
Bolognesi	501,01	250,30	261,64	342,33	17,07	14,33	16,12	19,81	6,39	6,97	5,70	6,67
Pacocha	366,30	279,64	220,25	302,75	20,33	12,58	14,85	23,93	6,01	6,26	6,33	5,21
Jose Pardo	406,98	319,65	319,62	376,80	10,18	8,27	7,42	13,92	13,03	7,56	6,49	9,45

Tabla 9

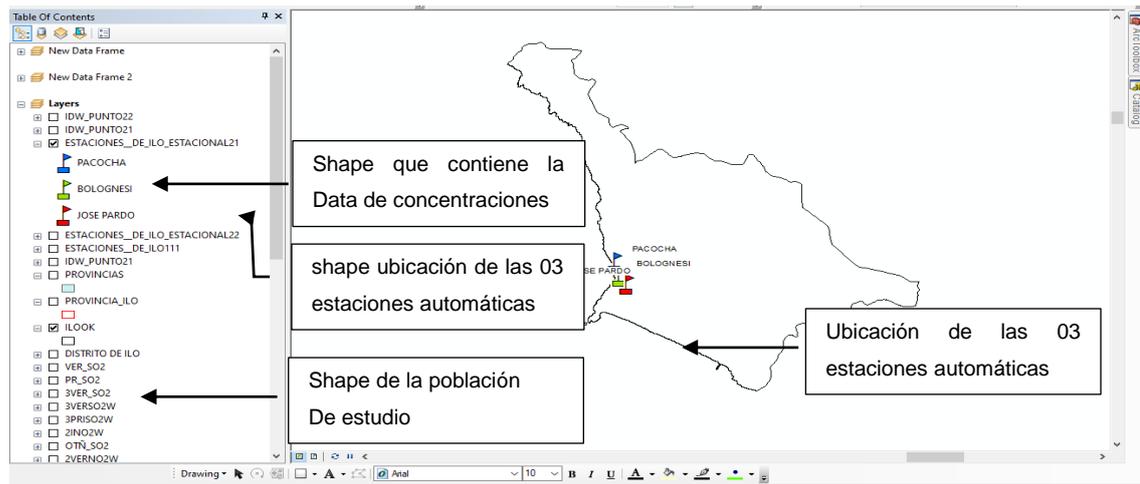
Resumen de las concentraciones para el año 2022

Estación / Gas	CO				SO ₂				NO ₂			
	Oto	Inv	Pri	Ver	Oto	Inv	Pri	Ver	Oto	Inv	Pri	Ver
Bolognesi	235,29	236,51	245,95	261,19	16,61	6,93	11,23	20,95	7,42	6,85	6,04	6,13
Pacocha	212,68	204,95	224,67	254,58	20,85	9,56	12,37	29,59	7,61	0,00	0,00	7,54
Jose Pardo	303,42	278,01	281,44	337,30	8,20	5,54	8,96	12,22	6,96	5,75	5,25	6,49

A continuación, se importó los shape de límites departamentales, fronterizos, distritales procesándose, luego se importó los puntos de ubicación de las estaciones automáticas finalmente se importó las data de atributos de concentraciones del año 2021 – 2022 (Ver figura 13).

Figura 13

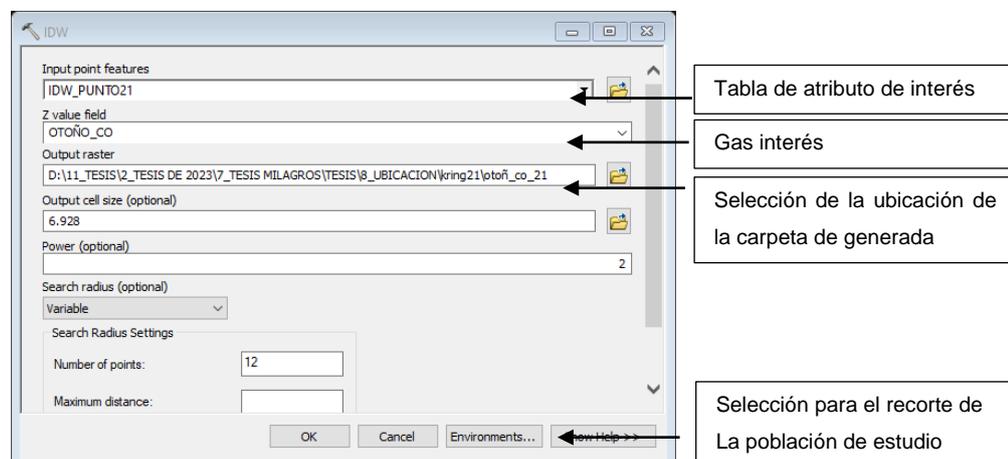
Tabla de atributos de las concentraciones para el año 2021



Para generar el ráster de interpolación se ingresa a la herramienta IDW que se encuentra dentro de la categoría Interpolation de la caja de herramientas de Spatial Analyst Tools del panel ArcToolbox. Se seleccionó la data de atributo del año interés, del gas de interés y la carpeta de almacenamiento de la imagen ráster, luego hacer click la opción Environments para la representación y recorte de la población de estudio como se muestra en la figura 14.

Figura 14

Interpolación IDW



Para el recorte dar click en Processing Extent > Extent seleccionar el shape del área de estudio llamado ILOOK de igual forma, dar click en Raster Analysis> Mask seleccionar el shape del área de estudio llamado ILOOK, finalmente dar click en OK como se muestra en la figura 18 y para concluir en la ventana volver a dar click en OK para terminar la configuración, como se muestra en la figura 16.

Figura 15
Configuración de corte IDW

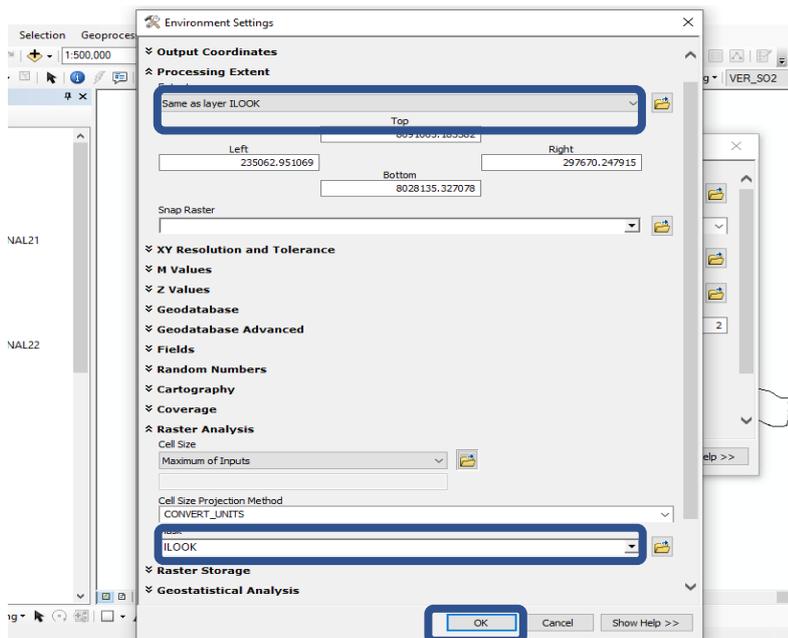
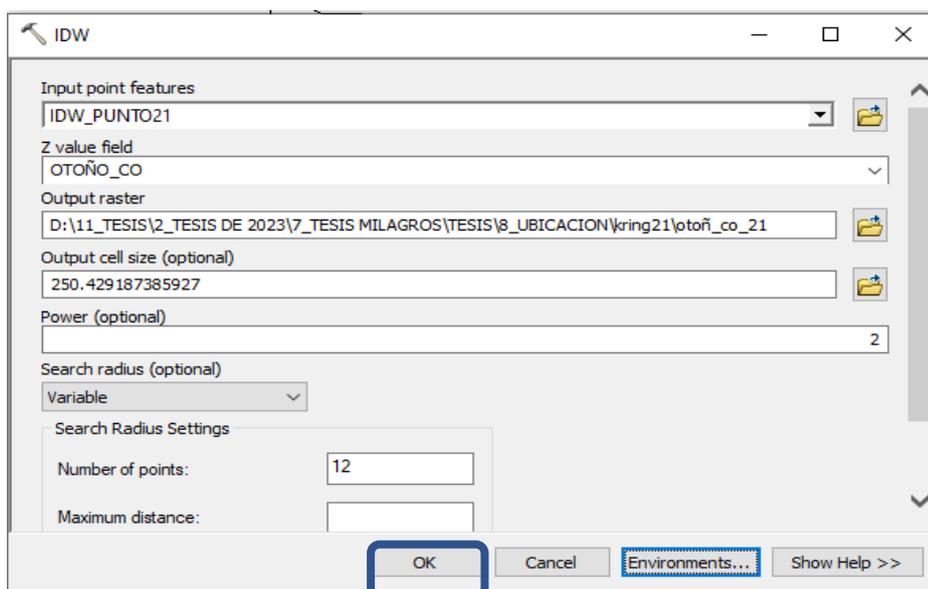


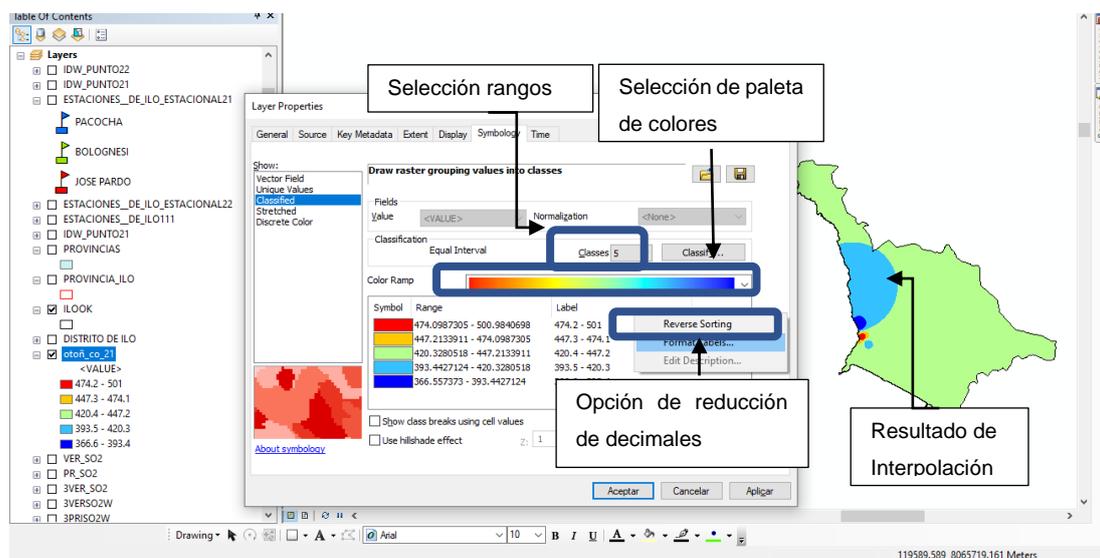
Figura 16
Finalización de recorte IDW



Para una mejor visualización del raster de interpolación, se modificaron los rangos y colores. Se da click derecho al raster y se selecciona propiedades, dar click Classified y luego en la opción symbology > click en la barra de colores para seleccionar la paleta de color, seguidamente seleccionaremos los rangos (Classes) a 5 y utilizaremos 4 decimales para ello haremos clip izquierdo en la opción Label > Format Labels como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Finalización de recorte IDW

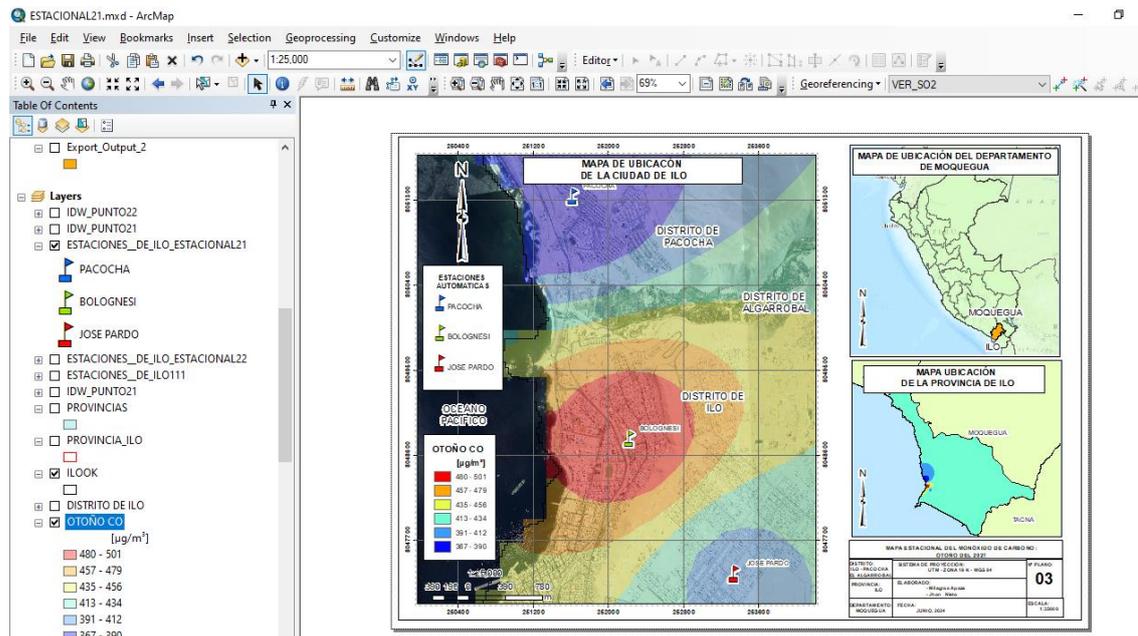


Finalizando en la selección de rangos, paleta de colores se da click en la opción de display, para aumentar la transparencia al 64 % seguidamente dar click en la opción aceptar, con el objetivo de que se muestre la imagen satelital de la ciudad de Ilo.

Se descargó la imagen satelital de la ciudad de Ilo en la plataforma Google Earth Pro, se ubicaron las 03 estaciones automáticas como puntos de referencia y se guardó como imagen. Para la representación final, se georreferencia la imagen satelital de la ciudad de Ilo, finalmente se abre la ventana layout en ella hacemos la representación del norte, títulos, membrete, escala, ubicación de Moquegua, ubicación de la provincia de Ilo, leyenda (Ver Figura 18),

Figura 18

Representación Final del plano estacional espacial

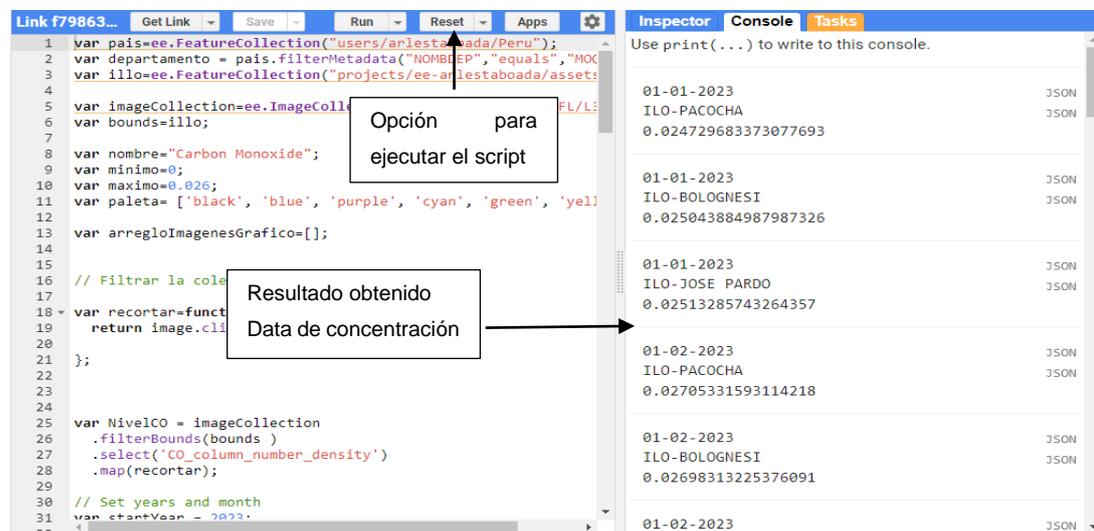


3.2.4. Determinar la correlación entre los datos registrados por el satélite Sentinel 5P y estaciones automáticas

Como resultado del script desarrollado en la plataforma Google Earth Engine, se obtienen las concentraciones de los gases de los puntos de ubicación de las estaciones automáticas georreferenciados en coordenadas geográficas, como se observa en la figura 19.

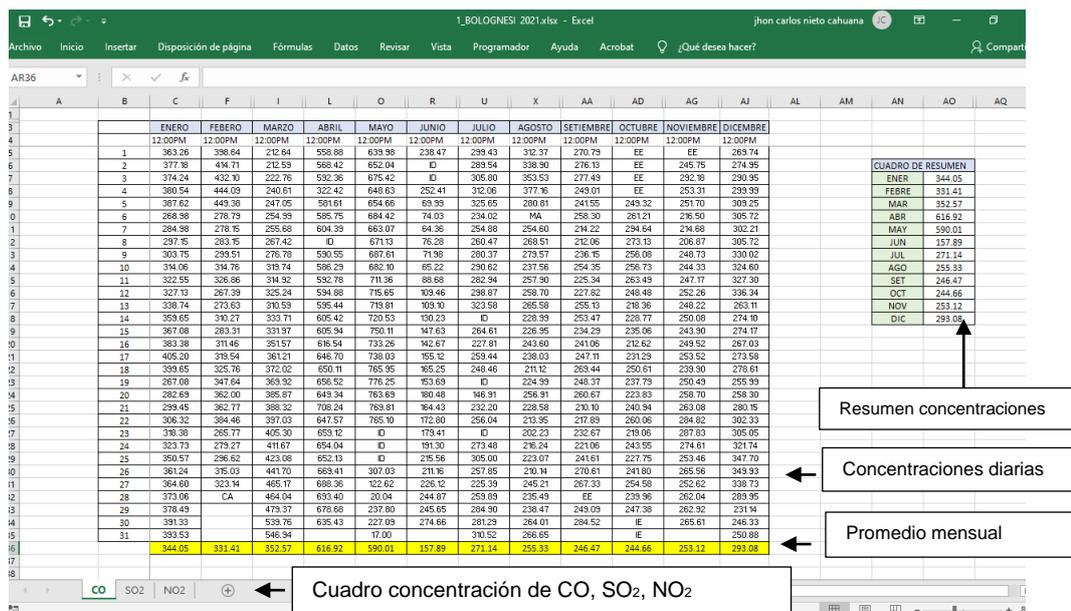
Figura 19

Data de concentración de Sentinel 5P de las 03 estaciones



Por otro lado, se procesa los datos en el software Excel la ficha registro de concentraciones del OEFA (ver anexo 4), seleccionando solo el medio día 12:00 diarias del mes, de los gases CO, NO₂ y SO₂, obteniendo datos mensuales, finalmente se promedia como se muestra en la figura 20.

Figura 20
Data procesada y cuadro resumen

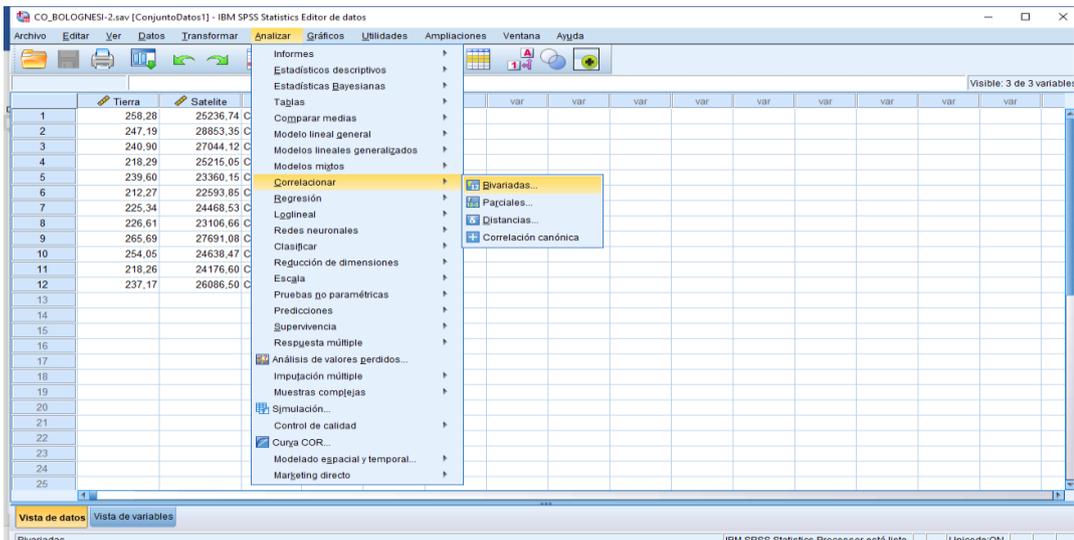


Se creó una nueva tabla de datos de concentraciones de imágenes satelitales Sentinel 5P y las estaciones automáticas de los años 2021 y 2022, que se muestran en el anexo 7.

Para el cálculo estadístico correlacional se abre el programa SPSS Statistics, ahí se copian las concentraciones para su análisis estadístico correlacional. Se da click en la opción Analizar>Correlacionar>binarias como se muestra en la figura 21.

Figura 21

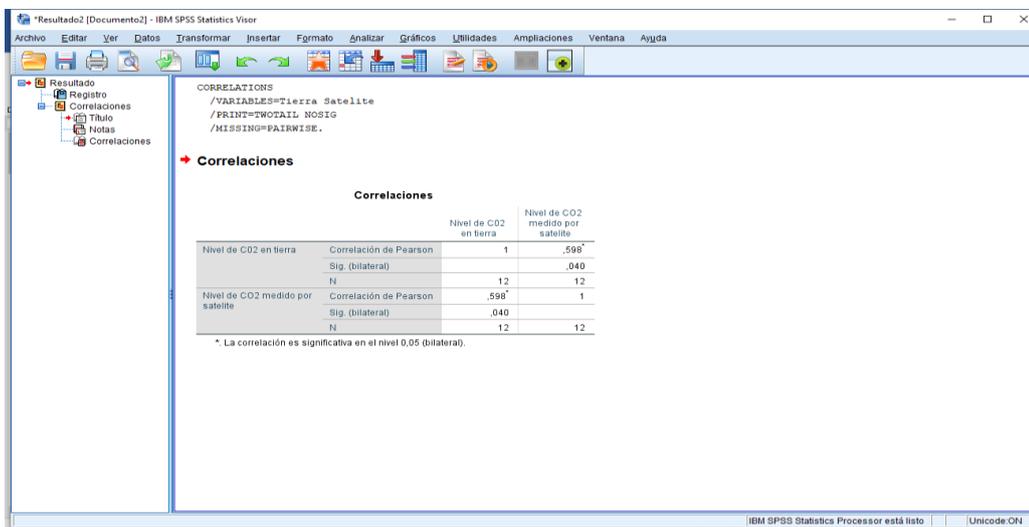
Data procesada en SPSS Statistics



Se obtiene en esta etapa el resultado del análisis correlacional, como se observa en la figura 22.

Figura 22

Data procesada en SPSS Statistics



3.2.5. Desarrollo de aplicación web para la gestión de la calidad de aire.

Se desarrolló una aplicación web utilizando la plataforma Google Earth Engine, tomando como referencia a Arboleda & Vásquez (2021).

Como resultado se muestra el mapa de distribución del contaminante escogido, con la leyenda y un gráfico de puntos que muestra las concentraciones diarias tomando

como referencia las coordenadas de las estaciones automáticas. En la tabla 10 se observa los principales objetos utilizados en el desarrollo del script y en la figura 23 se muestra la interfaz desarrollada.

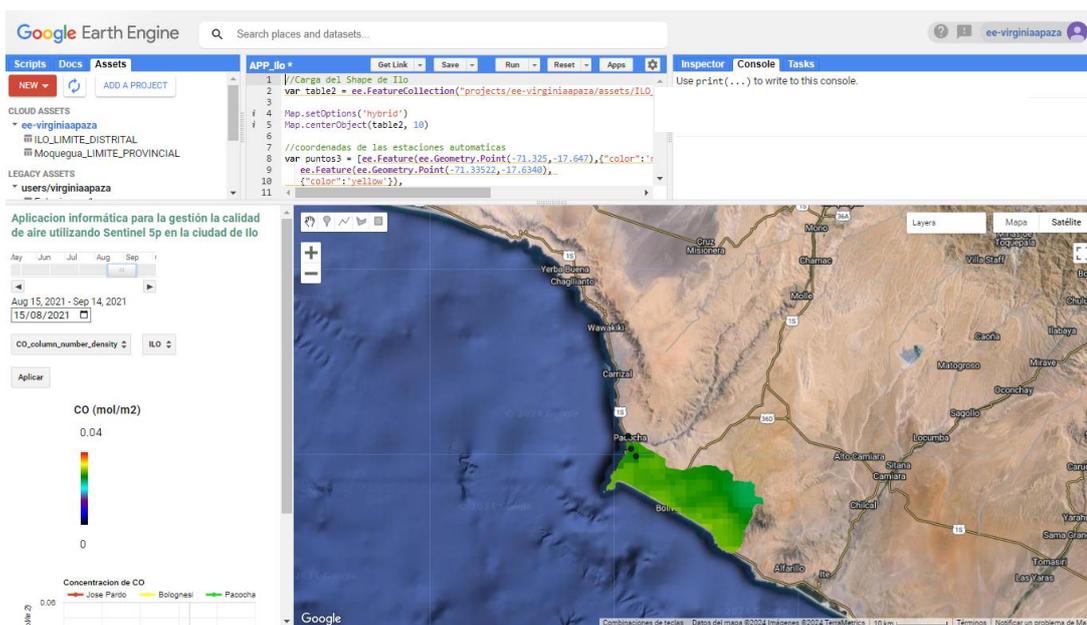
Tabla 10

Principales objetos de Google Earth Engine utilizados en la aplicación

Objeto	Descripción
Objetos del lado del servidor	
ee.FeatureCollection	Contiene el shape de los distritos de la provincia de Ilo.
ee.ImageCollection	Contiene el dataset de los contaminantes CO, NO ₂ y SO ₂ .
ee.Geometry.Point	Contiene las coordenadas de las estaciones automáticas.
ee.filter y ee.filterDate	Nos permite filtrar por nombre de distrito y fecha.
Objetos del lado del cliente	
Diccionarios	Contiene los nombres de las bandas y nombres de los distritos.
widgets: ui.button, ui.select, ui.dateSlinder, ui.chart	Incluye botones, selectores, control de fecha y gráficos.
ui.panel	Paneles que contiene los widgets.

Figura 23

Desarrollo del interfaz de la aplicación web



3.3. Materiales y/o instrumentos

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Ficha de registro de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ de las tres estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire del Organismo de evaluación y fiscalización Ambiental (OEFA) (ver Anexo 4).
- Imágenes satelitales Sentinel 5P de la plataforma de Google Earth Engine.

3.4. Población y/o muestra de estudio

La población de la presente investigación corresponde a la ciudad de Ilo, la muestra corresponde a las tres estaciones automáticas de la ciudad de Ilo.

La figura 24 muestra la ubicación de la población del presente estudio, la figura 25 muestra la ubicación de la muestra, mientras que la tabla 11 describe la ubicación geográfica de la muestra (estaciones automáticas).

Figura 24

Ubicación de la ciudad de Ilo

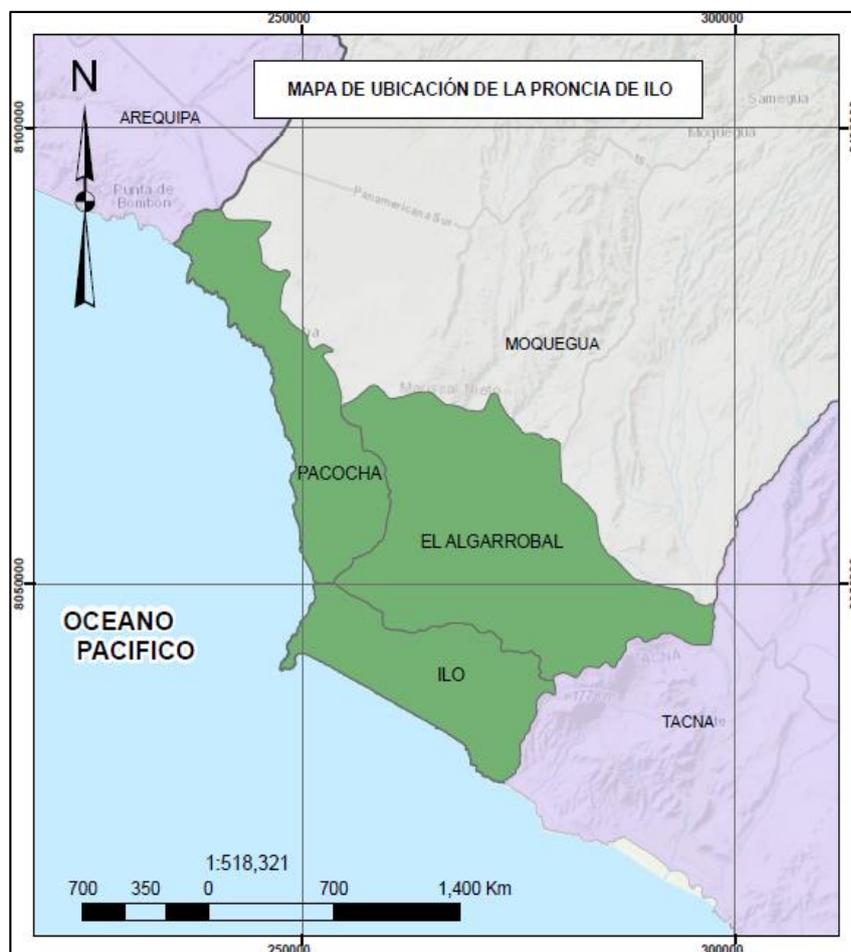


Figura 25

Ubicación de estaciones automáticas

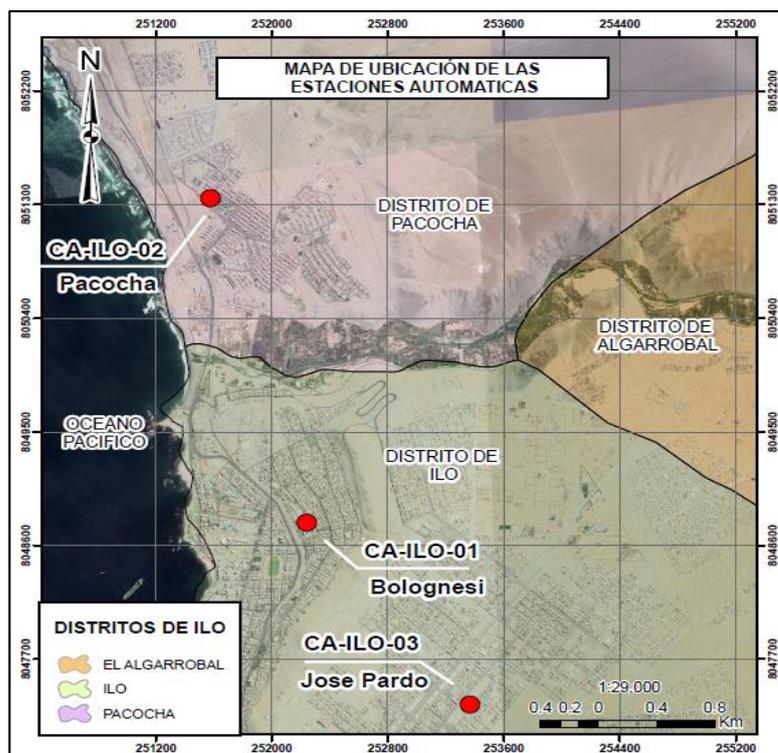


Tabla 11

Estaciones de calidad de aire de la ciudad de Ilo

Estación de calidad de aire	Distrito	Institución	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19K		
			Este (M)	Norte (M)	Altura (m.s.n.m)
Ilo-1	Ilo	Av. Pacífico S/N Mz L Lote 1 UPIS Miramar (I.E. Francisco Bolognesi), en el distrito de Ilo	252226	8048774	30
Ilo-2	Pacocha	Av. Ingeniería Mz. C Lote SC2, Agrupación Familiar Pueblo Nuevo (Plaza El Minero)	251618	8051342	40
Ilo-3	Ilo	Asentamiento Humano Nuevo Ilo Mz 50 Lote 9, Pampa Inalámbrica (Pabellón para talleres ubicado en el lado más interno del CEBA)	253350	8047344	174

En los anexos 2 y 3 se observan planos de ubicación de la ciudad de Ilo y de las estaciones automáticas.

3.5. Operacionalización de variables

La Tabla 12 muestra la operacionalización de variables.

Tabla 12

Operaciones de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala de medición
CO, NO ₂ y SO ₂ registrados por satélite Sentinel 5P	Cantidad de sustancia presente en unidad de área.	Concentración de contaminantes atmosféricos por unidad de área	μmol/m ²	Razón
CO, NO ₂ y SO ₂ registrados por monitores automáticos	Cantidad de soluto en un volumen de solución	Concentración de contaminantes atmosféricos por unidad de volumen.	μg/m ³	Razón

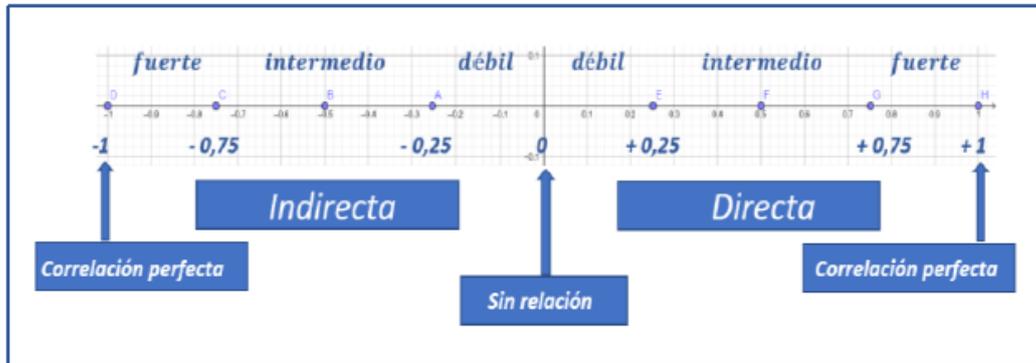
En el anexo 1 se muestra la matriz de consistencia de la presente tesis.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis estadístico

Se utilizó la correlación de Pearson al 95 % de intervalo de confianza, con una significancia menor de 0,05 ($P < 0,05$), identificando el coeficiente de correlación de Pearson tomada de Fiallos (2021) (ver Figura 26). Será sujeto a esta prueba las concentraciones de los gases CO, NO₂ y SO₂ proporcionada por las estaciones automáticas de Bolognesi, Pacocha y Jose Pardo con las concentraciones de las imágenes Satelitales Sentinel 5P, dicha correlación será de temporalidad anual de los 12 meses del año del 2021 y 2022. Se utilizó el programa SPSS Statistics.

Figura 26

Diagrama de coeficiente de correlación de Pearson



Nota: Fiallos (2021).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Analizar el comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P

Se presentan mapas de distribución espacial de concentración, así como graficas de series de tiempo mensual, que muestran los promedios, máximos y mínimos; de esta manera se visualiza las tendencias de las concentraciones de los contaminantes en el periodo estudiado.

4.1.1. Comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P para el año 2021

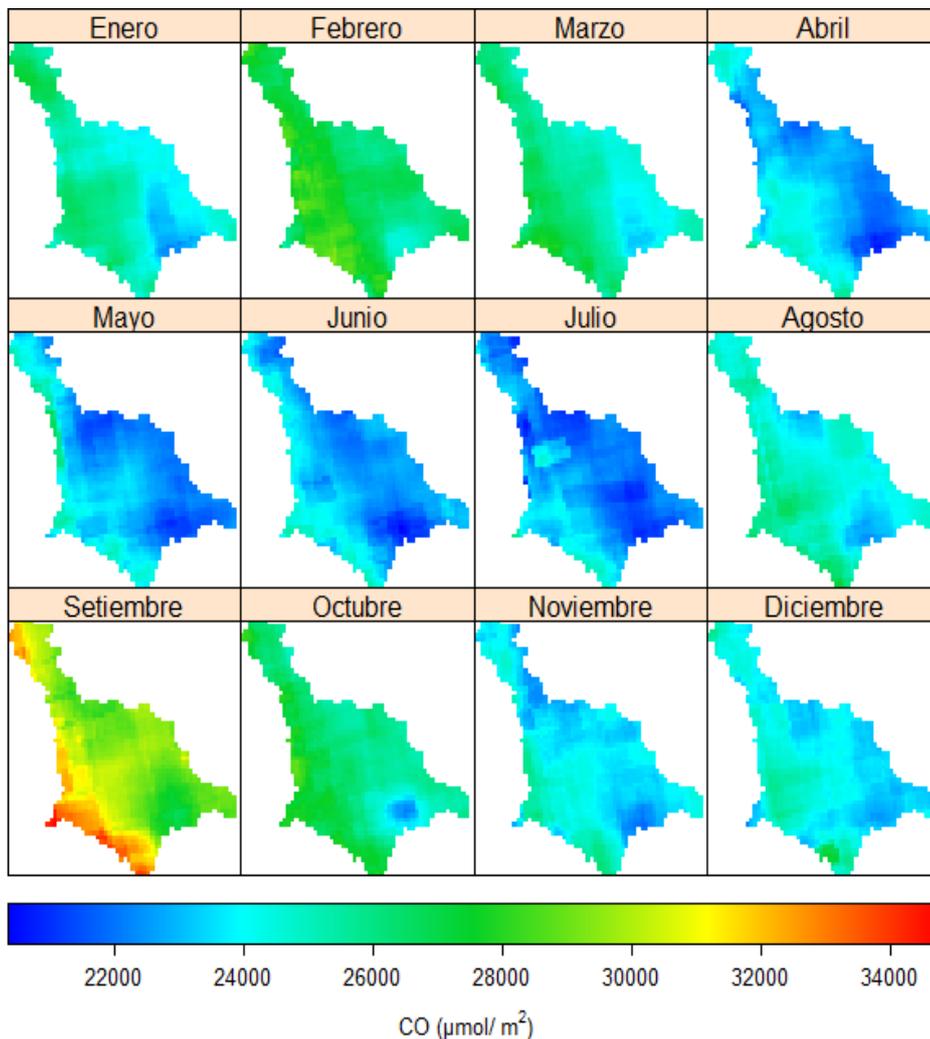
4.1.1.1. Monóxido de carbono (CO)

En la figura 27 se muestra la distribución espacial de CO mensual en la Ciudad de Ilo durante el 2021 obtenida del satélite Sentinel 5p, la barra inferior muestra el rango de concentración de CO en $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, la concentración mínima se indica en color azul y la máxima en color rojo. En el mes de setiembre se observa los valores más altos de CO, provenientes de la zona suroeste y noroeste de la ciudad de Ilo, mientras que los valores más bajos de CO se observan entre los meses de abril y julio.

En general, se observa que las concentraciones más altas en cada mes provienen de la zona costera de la ciudad de Ilo.

Figura 27

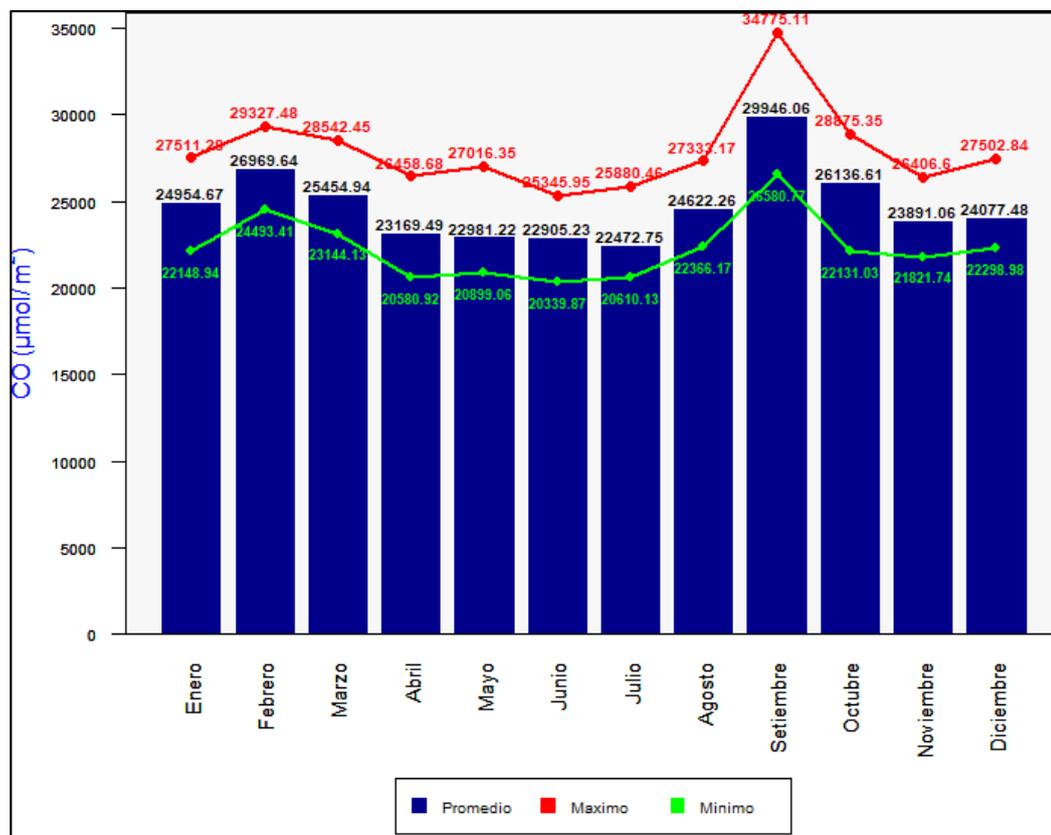
Distribución espacial de la concentración mensual de CO en el año 2021



En la figura 28 se observan las concentraciones mínimas y máximas, así como los promedios mensuales de CO para la ciudad de Ilo en el 2021; obteniéndose las concentraciones más altas en los meses de setiembre y febrero, con valores máximos de $34775,11 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ y $29327,48 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente; mientras que las concentraciones más bajas se obtuvieron en los meses de junio y abril, siendo estos valores mínimos $20339,87 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ y $20580,92 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente. Los promedios mensuales están en un rango de $29946,06 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ y $22472,75 \mu\text{mol}/\text{m}^2$.

Figura 28

Concentraciones mensuales de CO en el año 2021



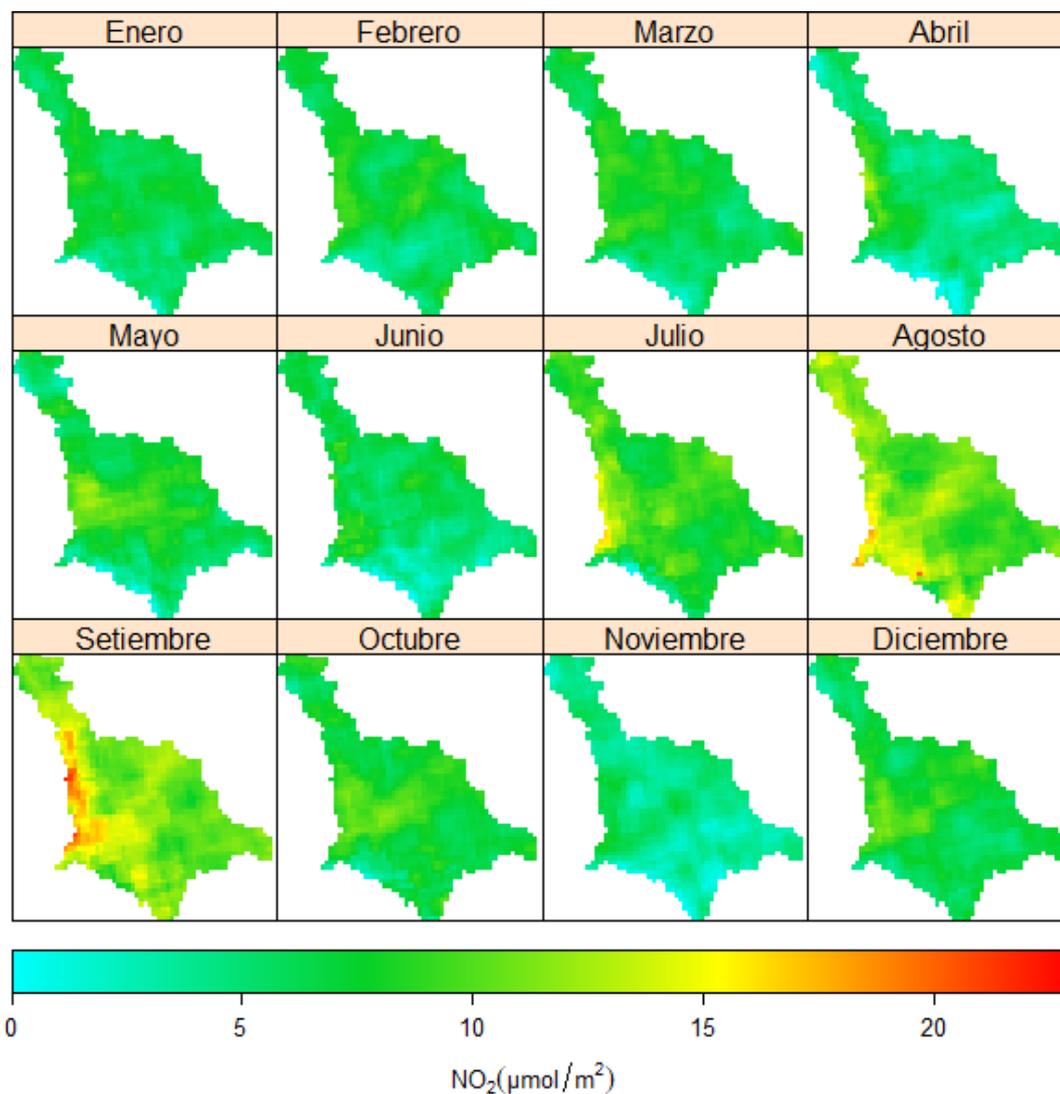
4.1.1.2. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

En la figura 29 se muestra la distribución espacial de NO₂ mensual en la Ciudad de Ilo durante el 2021 obtenida del satélite Sentinel 5p, la barra inferior muestra el rango de concentración de NO₂ en µmol/m², la concentración mínima se indica en color celeste y la máxima en color rojo. En el mes de setiembre se observa los valores más altos de NO₂, provenientes de la zona suroeste y noroeste de la ciudad de Ilo, mientras que los valores más bajos de NO₂ se observan en los meses de noviembre y abril.

Por lo general la distribución de NO₂ se intensifica en la zona costera de la ciudad de Ilo, sin embargo, no es exclusivo, ya que los valores altos también se observan en el noreste y sureste de la ciudad.

Figura 29

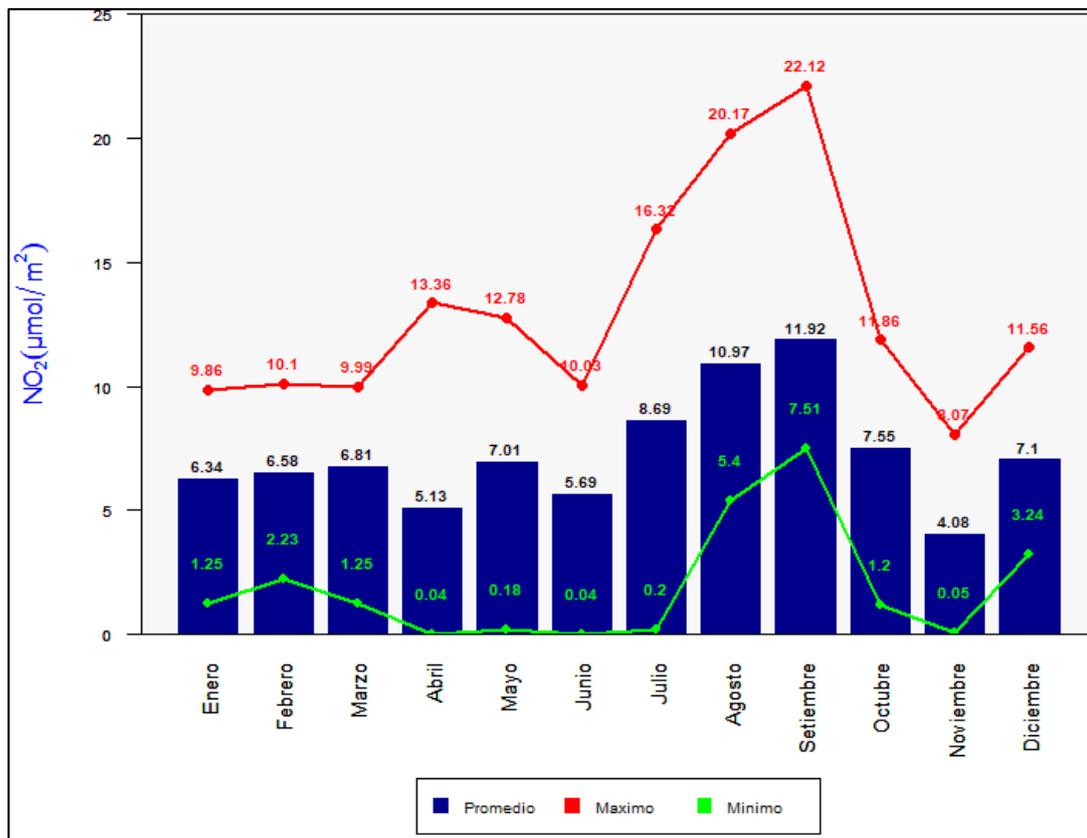
Distribución espacial de la concentración mensual de NO₂ en el año 2021



En la figura 30 se observan las concentraciones mínimas y máximas, así como los promedios mensuales de NO₂ para la ciudad de Ilo en el 2021; obteniéndose las concentraciones más altas en los meses de setiembre y agosto, con valores máximos de 22,12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 20,17 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente; mientras que las concentraciones más bajas se obtuvieron en los meses de junio y abril, siendo estos valores mínimos 0,035 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 0,037 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente. Los promedios mensuales están en el rango de 11,92 y 4,08 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, y se obtuvieron en los meses de setiembre y noviembre respectivamente.

Figura 30

Concentraciones mensuales de NO₂ en el año 2021



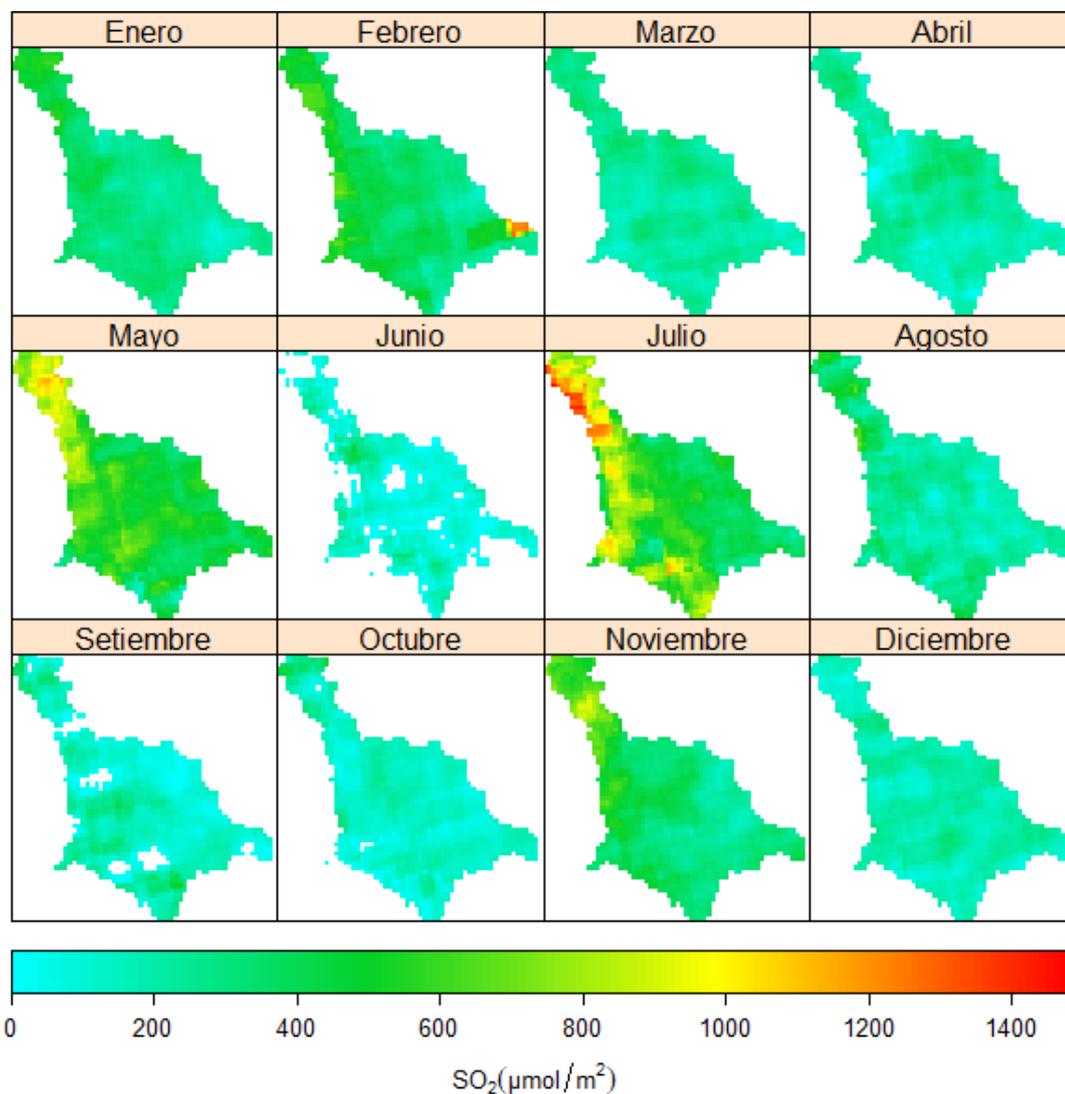
4.1.1.3. Dióxido de azufre (SO₂)

En la figura 31 se muestra la distribución espacial de SO₂ mensual en la Ciudad de Ilo durante el 2021 obtenida del satélite Sentinel 5p, la barra inferior muestra el rango de concentración de SO₂ en μmol/m², la concentración mínima se indica en color celeste y la máxima en color rojo. Se observa los valores más altos de SO₂ en el mes de julio, provenientes de la zona noroeste y suroeste de la ciudad de Ilo, mientras que los valores más bajos se observan en el mes de junio y setiembre.

En general la distribución de SO₂ es variable en la ciudad de Ilo, con valores altos en zonas puntuales, como se observa en el mes de febrero al sureste de la ciudad; así como valores negativos producto de ruido o interferencias en los datos, los cuales se representan como espacios en blanco.

Figura 31

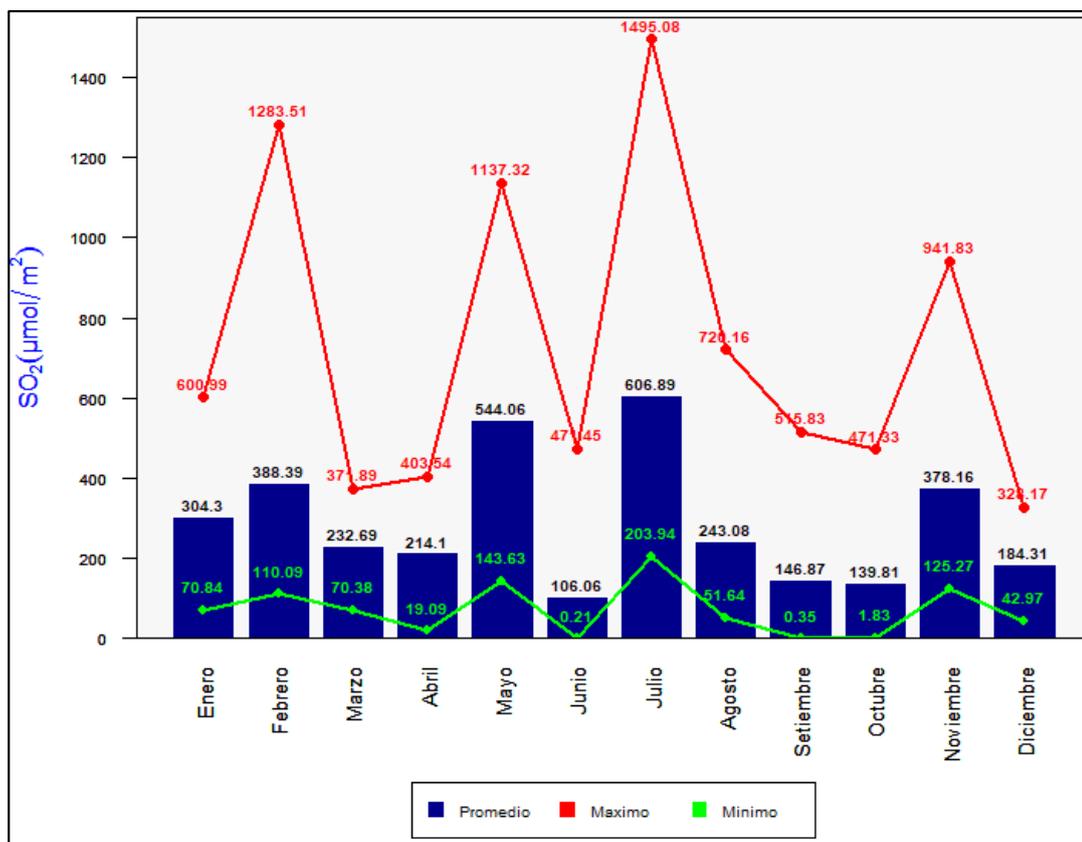
Distribución espacial de la concentración mensual de SO₂ en el año 2021



En la figura 32 se observan las concentraciones mínimas y máximas, así como los promedios mensuales de SO₂ para la ciudad de Ilo en el 2021; obteniéndose las concentraciones más altas en los meses de julio y febrero, con valores máximos de 1495,08 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 1283,51 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente; mientras que las concentraciones más bajas se obtuvieron en los meses de junio y setiembre, siendo estos valores mínimos 0,21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 0,35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Los promedios mensuales están en un rango de 606,89 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 106,06 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. y se obtuvieron en los meses de julio y junio respectivamente.

Figura 32

Concentraciones mensuales de SO₂ en el año 2021



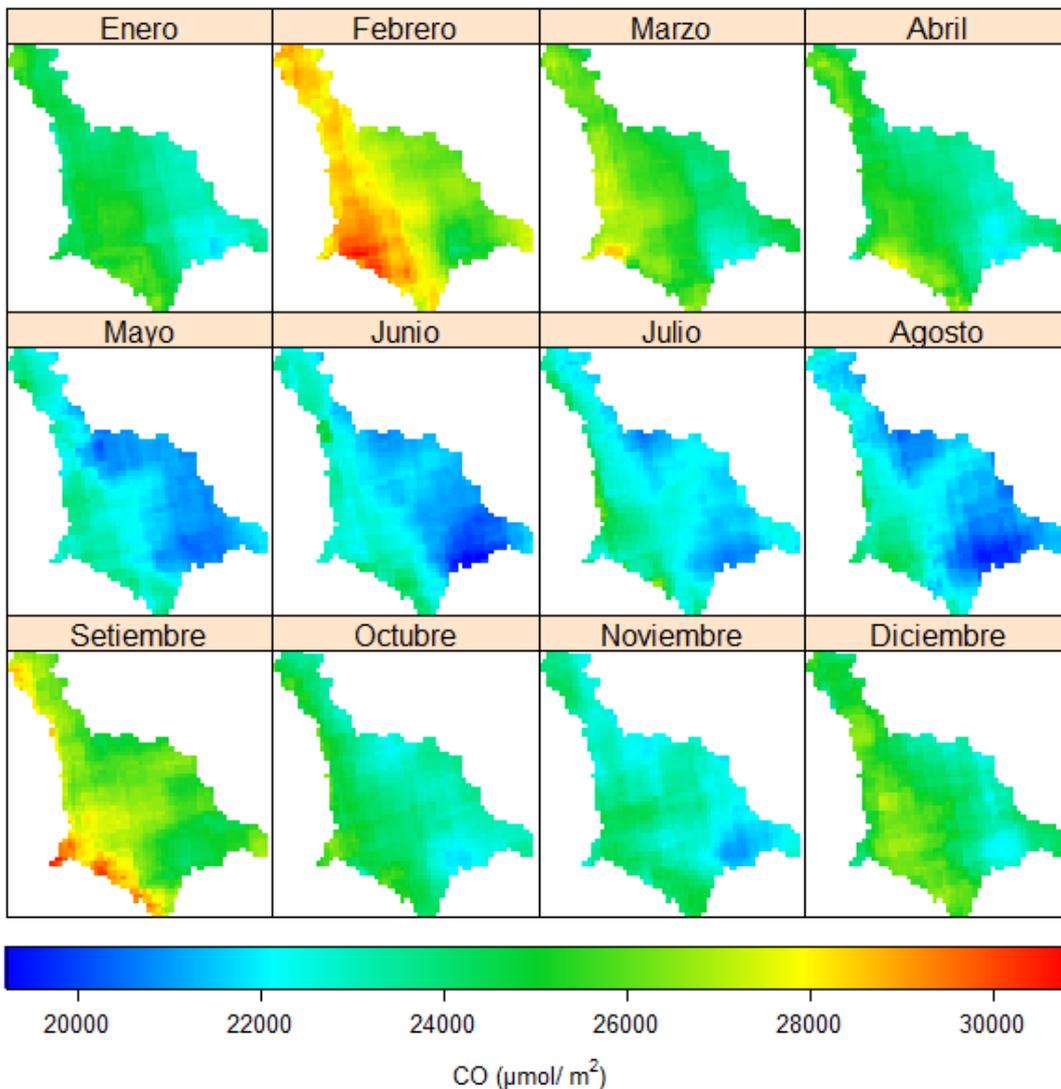
4.1.2. Comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P para el año 2022

4.1.2.1. Monóxido de carbono (CO)

En la figura 33 se muestra la distribución espacial de CO mensual en la Ciudad de Ilo durante el 2022 obtenida del satélite Sentinel 5p, la barra inferior muestra el rango de concentración de CO en $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, la concentración mínima se indica en color azul y la máxima en color rojo. Se observa los valores más altos de CO en el mes de febrero, provenientes de la zona suroeste y noroeste de la ciudad de Ilo, mientras que los valores más bajos se observan entre los meses de mayo y agosto. En general la distribución de CO es constante, con valores más altos en cada mes que provienen de la zona costera de la provincia de Ilo.

Figura 33

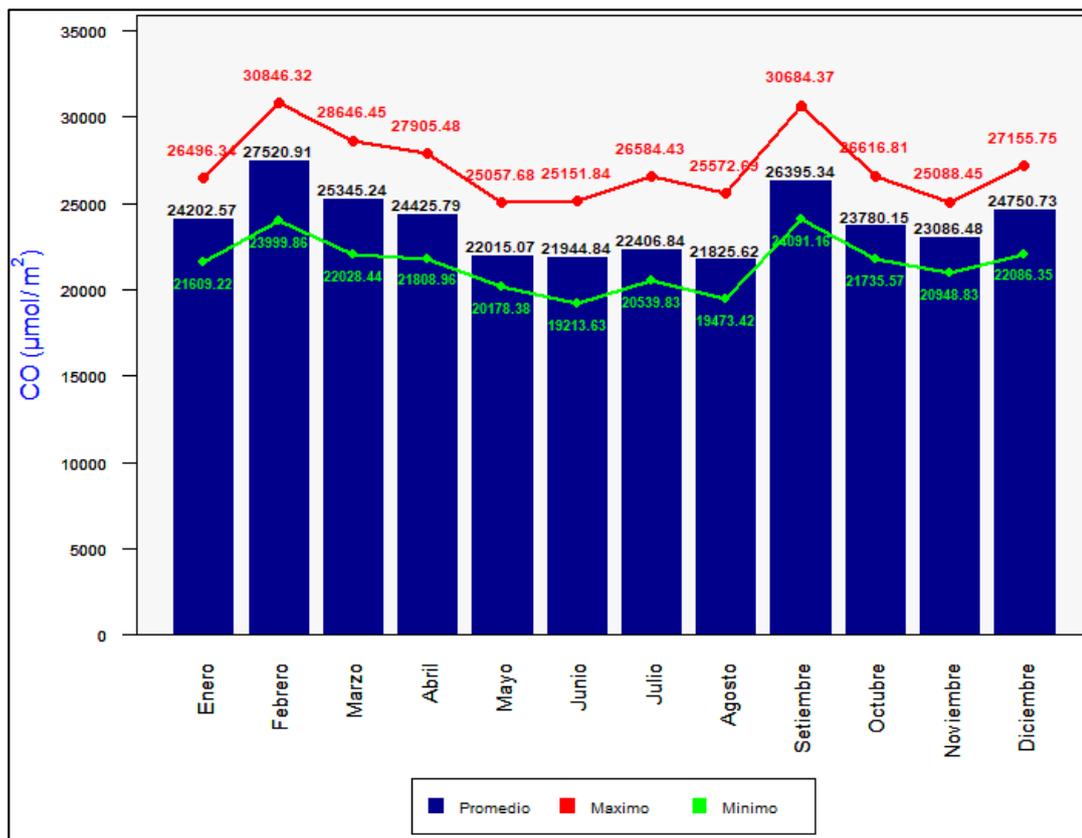
Distribución espacial de las concentraciones mensuales de CO en el año 2022



En la figura 34 se observan las concentraciones mínimas y máximas, así como los promedios mensuales de CO para la ciudad de Ilo en el 2022; obteniéndose las concentraciones más altas en meses de febrero y setiembre, con valores máximos de $30846,32 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ y $30684,37 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente; mientras que las concentraciones más bajas se obtuvieron en los meses de junio y agosto, siendo estos valores mínimos $19213,63 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ y $19473,42 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente. Los promedios mensuales están en un rango de $27520,91 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ y $21825,62 \mu\text{mol}/\text{m}^2$ y se obtuvieron en los meses de febrero y agosto respectivamente.

Figura 34

Concentraciones mensuales de CO en el año 2022



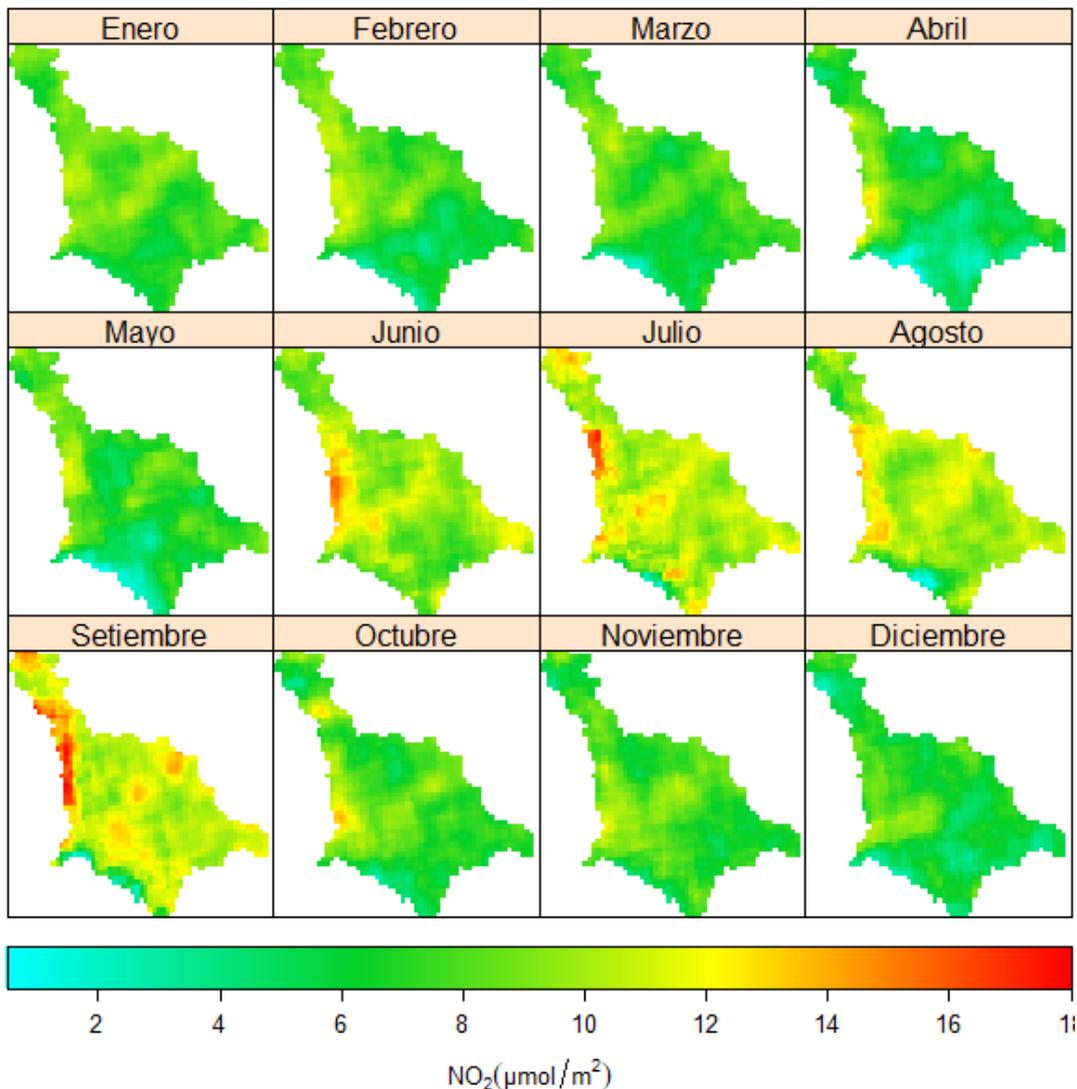
4.1.2.2. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

En la figura 35 se muestra la distribución espacial mensual de NO₂ en la Ciudad de Ilo durante el 2022 obtenida del satélite Sentinel 5P, la barra inferior muestra el rango de concentración de NO₂ en µmol/m², la concentración mínima se indica en color celeste y la máxima en color rojo. Se observa los valores más altos de NO₂ en el mes de setiembre y julio, provenientes principalmente de la zona noroeste de la ciudad de Ilo, mientras que los valores más bajos de NO₂ se observan en el mes de abril y diciembre.

Por lo general la distribución de NO₂ se intensifica en la zona costera de la ciudad de Ilo, sin embargo, no es exclusivo, ya que los valores altos también se observan en el noreste y sureste de la ciudad.

Figura 35

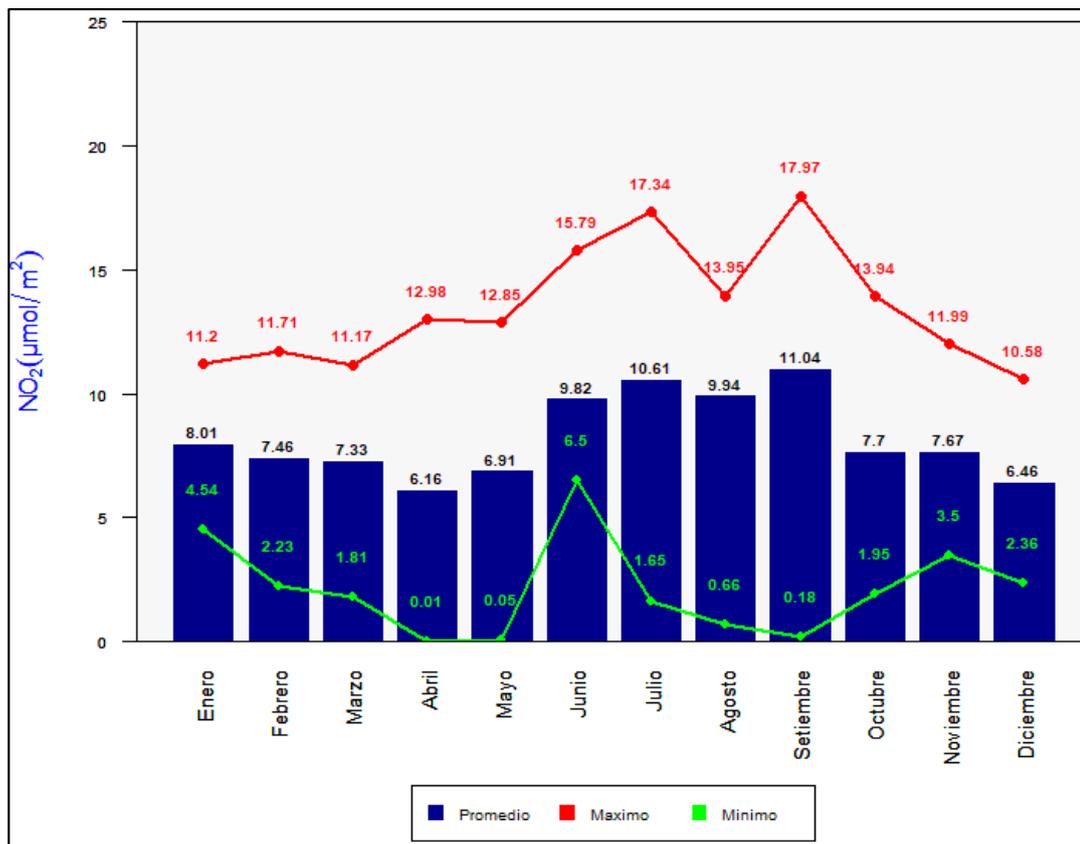
Distribución espacial de las concentraciones mensuales de NO₂ en el año 2022



En la figura 36 se observan las concentraciones mínimas y máximas, así como los promedios mensuales de NO₂ para la ciudad de Ilo en el 2022; obteniéndose las concentraciones más altas en los meses de setiembre y julio, con valores máximos de 17,97 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 17,34 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente; mientras que las concentraciones más bajas se obtuvieron en los meses de abril y mayo, siendo estos valores mínimos 0,01 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 0,05 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente. Los promedios mensuales están en un rango de 11,04 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 6,16 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, y se obtuvieron en los meses de setiembre y abril respectivamente

Figura 36

Concentraciones mensuales de NO_2 en el año 2022



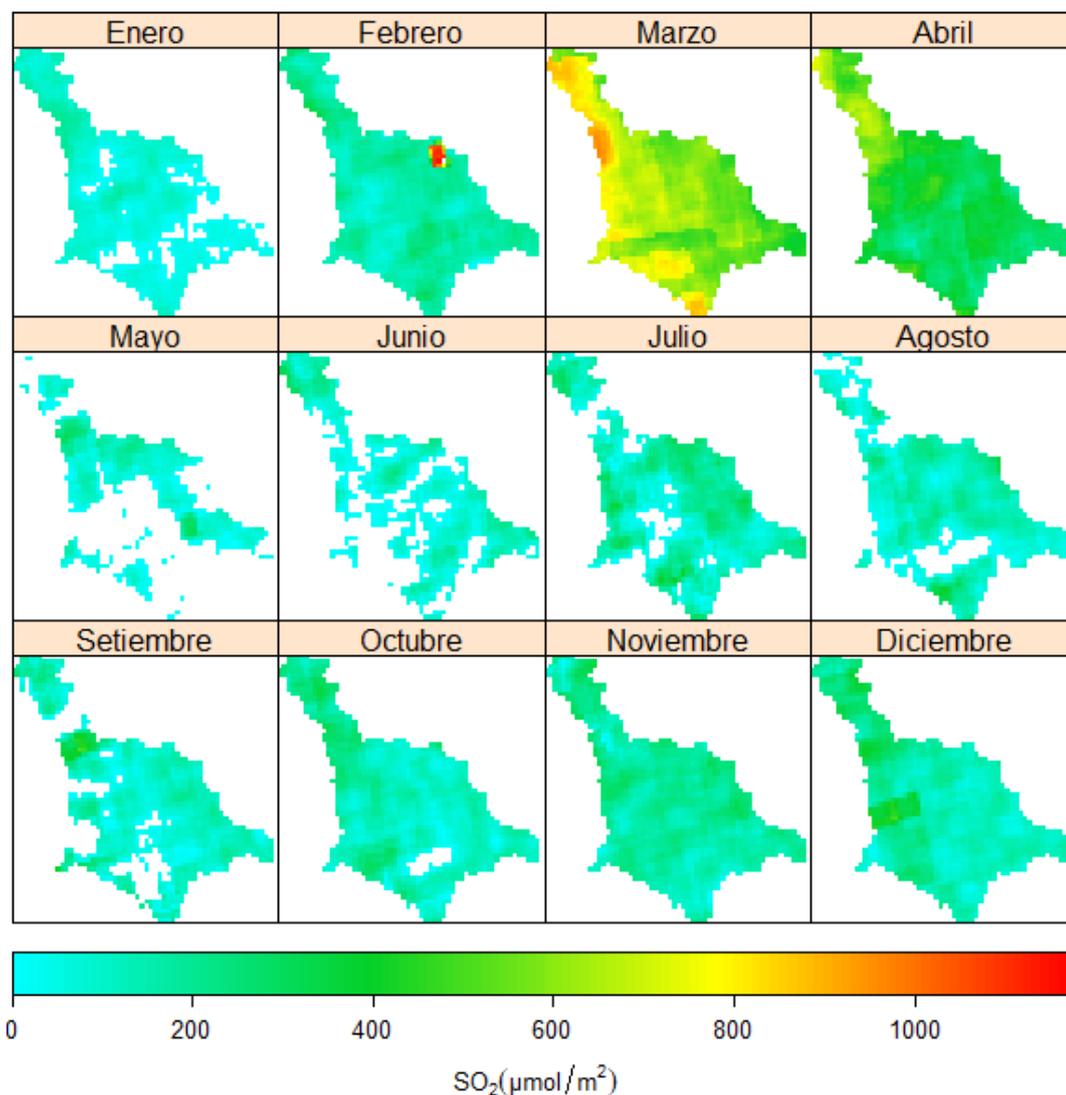
4.1.2.3. Dióxido de azufre (SO_2)

En la figura 37 se muestra la distribución espacial mensual de SO_2 en la Ciudad de Ilo durante el 2022 obtenida del satélite Sentinel 5P, la barra inferior muestra el rango de concentración de SO_2 en $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, la concentración mínima se indica en color celeste y la máxima en color rojo. Se observa los valores más altos de SO_2 en el mes de marzo, provenientes principalmente de la zona sur y noroeste de la ciudad de Ilo, mientras que los valores más bajos se observan en el mes de mayo y junio. Asimismo, en el mes de febrero se observa valores altos de SO_2 puntuales, provenientes de zona noreste de la ciudad de Ilo.

En general la distribución de SO_2 es variable en la ciudad de Ilo, con valores altos en zonas puntuales, como se observa en el mes de febrero al noreste de la ciudad; así como valores negativos producto de ruido o interferencias en los datos, los cuales se representan como espacios en blanco.

Figura 37

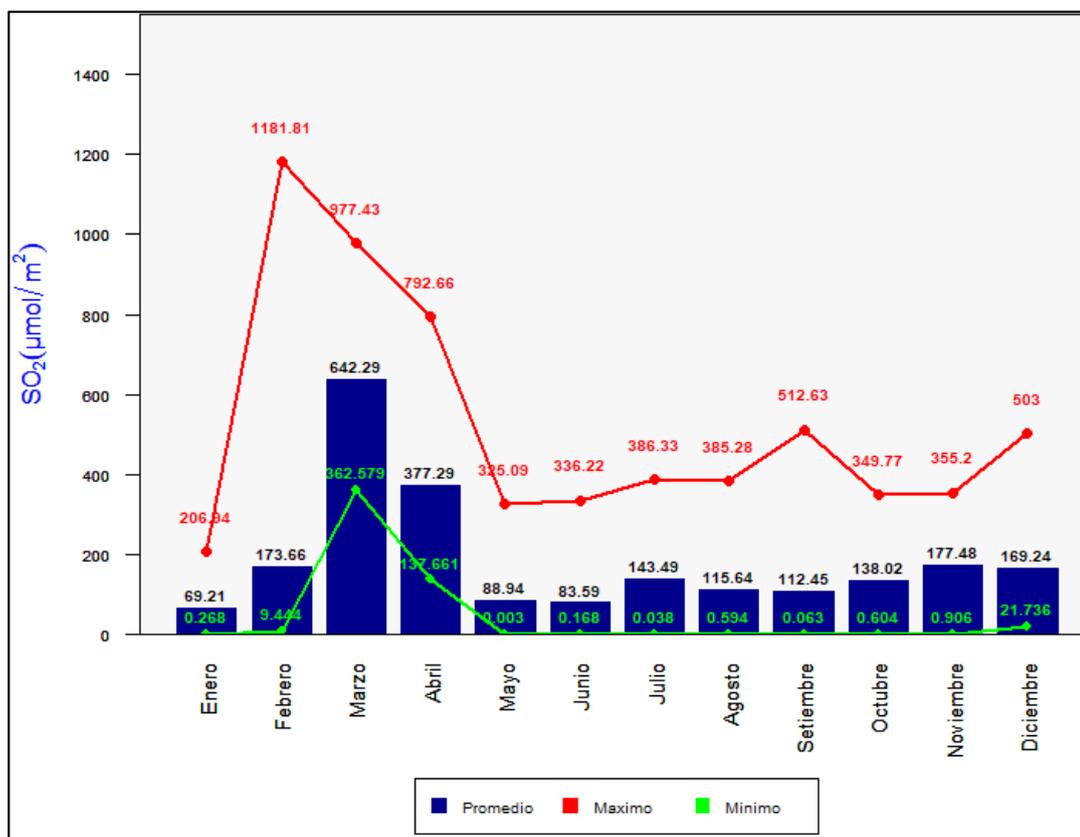
Distribución espacial de las concentraciones mensuales de SO₂ en el año 2022



En la figura 38 se observan las concentraciones mínimas y máximas, así como los promedios mensuales de SO₂ para la ciudad de Ilo en el 2022; obteniéndose las concentraciones más altas en los meses de febrero y marzo, con valores máximos de 1181,81 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 977,43 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente; mientras que las concentraciones más bajas se obtuvieron en los meses de mayo y julio, siendo estos valores mínimos 0,003 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 0,038 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ respectivamente. Los promedios mensuales están en un rango de 642,29 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y 69,21 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ y se obtuvieron en los meses de marzo y enero respectivamente.

Figura 38

Concentraciones mensuales de SO₂ en el año 2022



4.2. Analizar la variación de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ registrados por estaciones automáticas

Se presentan graficas de series de tiempo de cada estación automática y se compara con los ECA respectivos para cada contaminante que se observan en las gráficas como una línea roja. De esta manera se visualiza las tendencias y el cumplimiento de la normativa en el periodo estudiado. Se observan breves periodos sin datos, debido a calibración o mantenimiento de las estaciones.

4.2.1. Variación de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ registrados por estaciones automáticas para el año 2021

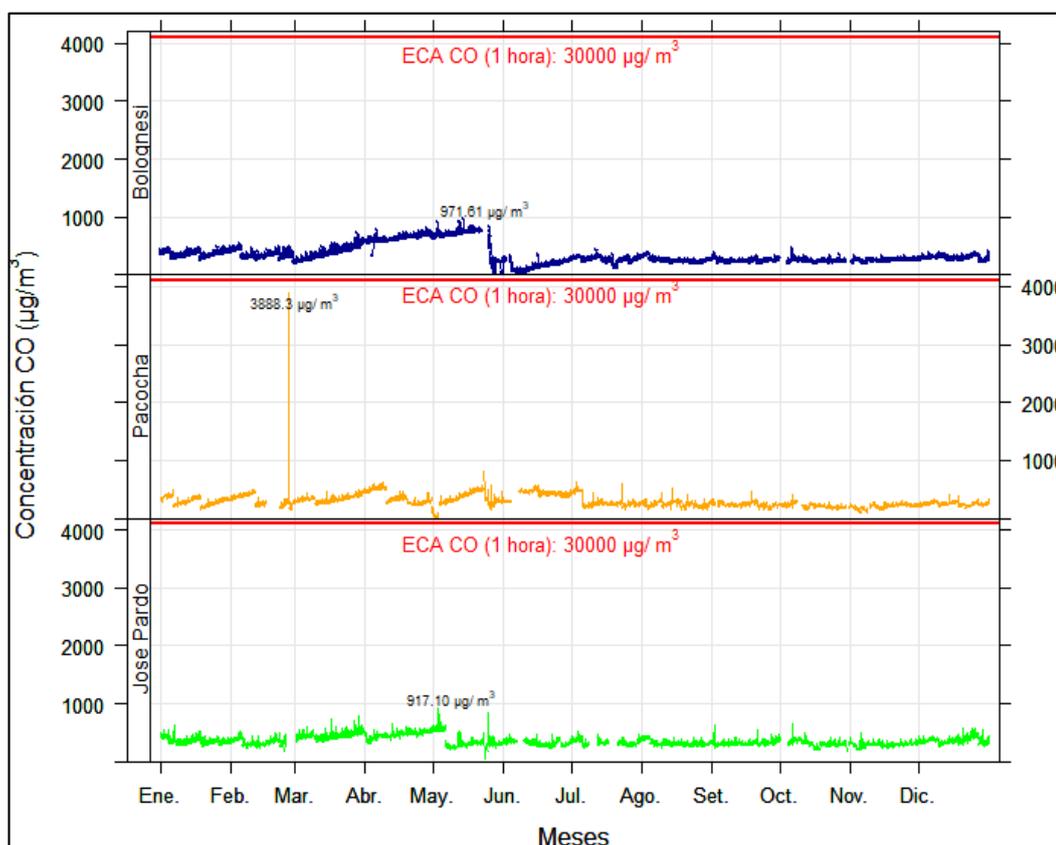
4.2.1.1. Monóxido de carbono (CO)

En la figura 39 se observan las concentraciones horarias para CO en las 03 estaciones de monitoreo automático de la Ciudad de Ilo, en todos los casos no se excedió los ECA para CO 1 hora (30000 μg/m³). Se observa una tendencia al aumento de los niveles de

concentración entre marzo y mayo en la estación Bolognesi, para luego mostrar niveles bajos durante el resto del año, mientras que en la estación Pacocha y Jose Pardo no se observa una tendencia definida en los niveles de CO, con valores atípicos en la estación Pacocha en el mes de febrero. En la estación Bolognesi el valor máximo registrado fue de $971,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de mayo y el valor mínimo de $13,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de mayo. En la estación Pacocha el valor máximo registrado fue de $3888,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de febrero; mientras que el valor mínimo de $6,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de mayo. En la Estación Jose Pardo, el valor máximo registrado fue de $917,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de mayo y el valor mínimo de $40,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de mayo.

Figura 39

Concentraciones horarias de CO en el año 2021



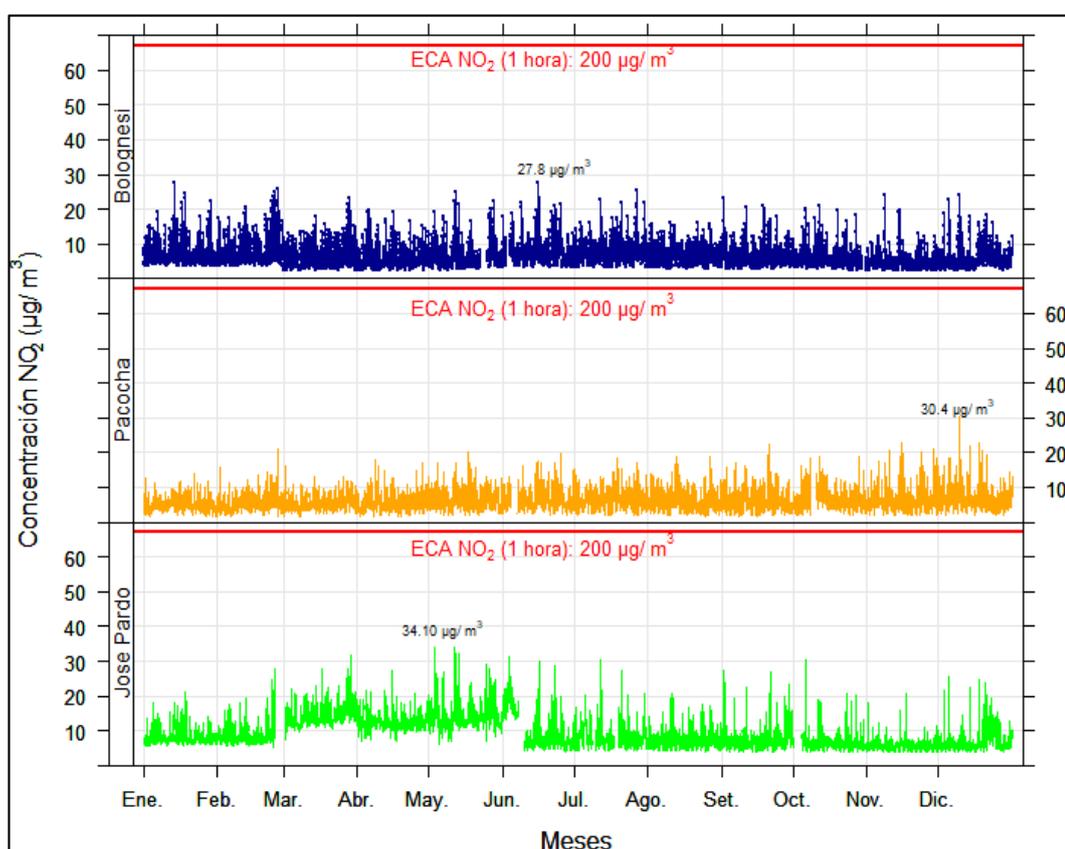
4.2.1.2. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

En la figura 40 se observan las concentraciones horarias para NO₂ en las 03 estaciones de monitoreo automático de la Ciudad de Ilo, en todos los casos no se excedió los ECA para NO₂ 1 hora ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa una tendencia al aumento de los niveles de concentración entre marzo y junio en la estación Jose Pardo, para luego mostrar

variaciones durante el resto del año, mientras que en la estación Bolognesi y Pacocha no se observa una tendencia definida en los niveles de NO₂, con variaciones durante el año. En la estación Bolognesi el valor máximo registrado fue de 27,8 µg/m³ el mes de junio y el valor mínimo de 2,2 µg/m³ en el mes de abril. En la estación Pacocha el valor máximo registrado fue de 30,4 µg/m³ el mes de diciembre y el valor mínimo de 1,4 µg/m³ en el mes de febrero. En la estación Jose Pardo, el valor máximo registrado fue de 34,1 µg/m³ el mes de mayo y el valor mínimo de 3,8 µg/m³ en el mes de diciembre.

Figura 40

Concentraciones horarias de NO₂ en el año 2021



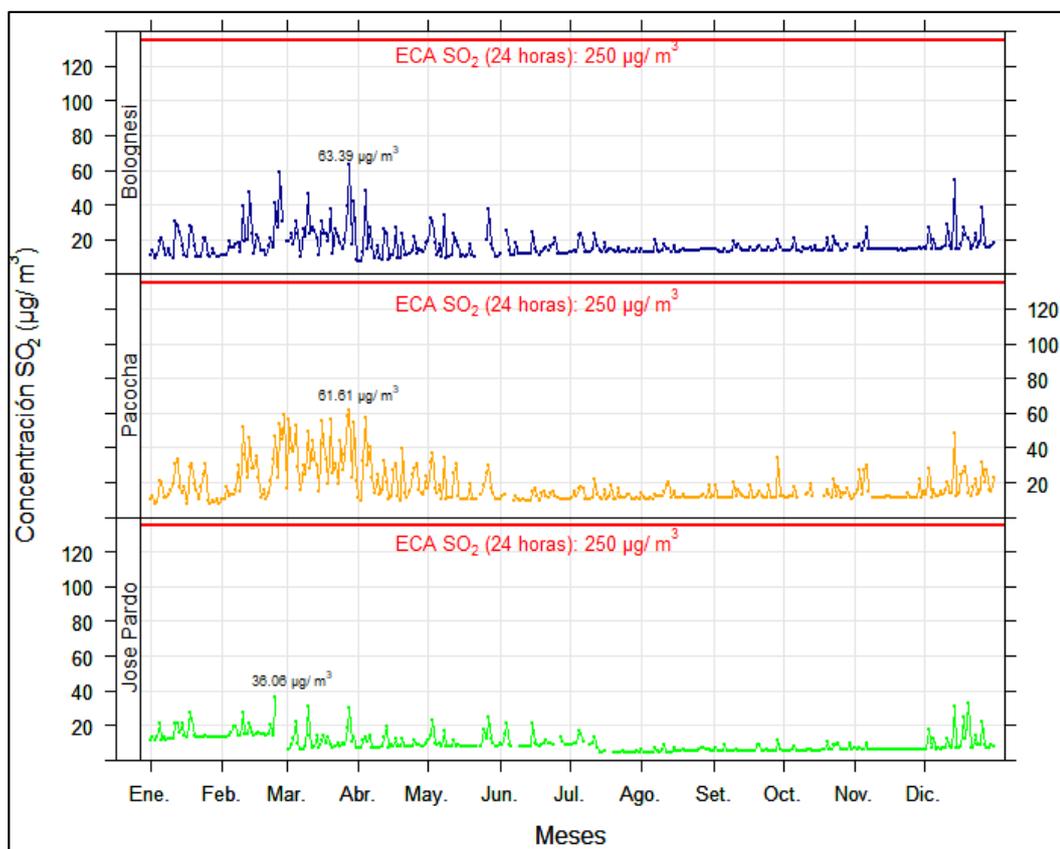
4.2.1.3. Dióxido de azufre (SO₂)

En la figura 41 se observan las concentraciones de 24 horas para SO₂ en las 03 estaciones de monitoreo automático de la Ciudad de Ilo, en todos los casos no se excedió los ECA para SO₂ 24 horas (250 µg/m³). Se observa una tendencia al aumento de los niveles de concentración de SO₂ entre febrero y abril en las estaciones Bolognesi y Pacocha, para luego mostrar una tendencia decreciente hasta el mes de diciembre donde nuevamente se observa un incremento, mientras que en la estación Jose Pardo presenta niveles de concentración bajos en comparación con las otras estaciones, con

variaciones durante el año. En la estación Bolognesi el valor máximo registrado fue de 63,387 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de marzo y el valor mínimo de 7,104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de abril. En la estación Pacocha el valor máximo registrado fue de 61,607 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de marzo y el valor mínimo de 7,778 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de enero. En la estación Jose Pardo, el valor máximo registrado fue de 36,058 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de febrero, mientras que el valor mínimo de 4,132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de julio.

Figura 41

Concentraciones de 24 horas de SO_2 en el año 2021



4.2.2. Variación de las concentraciones de CO , NO_2 y SO_2 registrados por estaciones automáticas para el año 2022

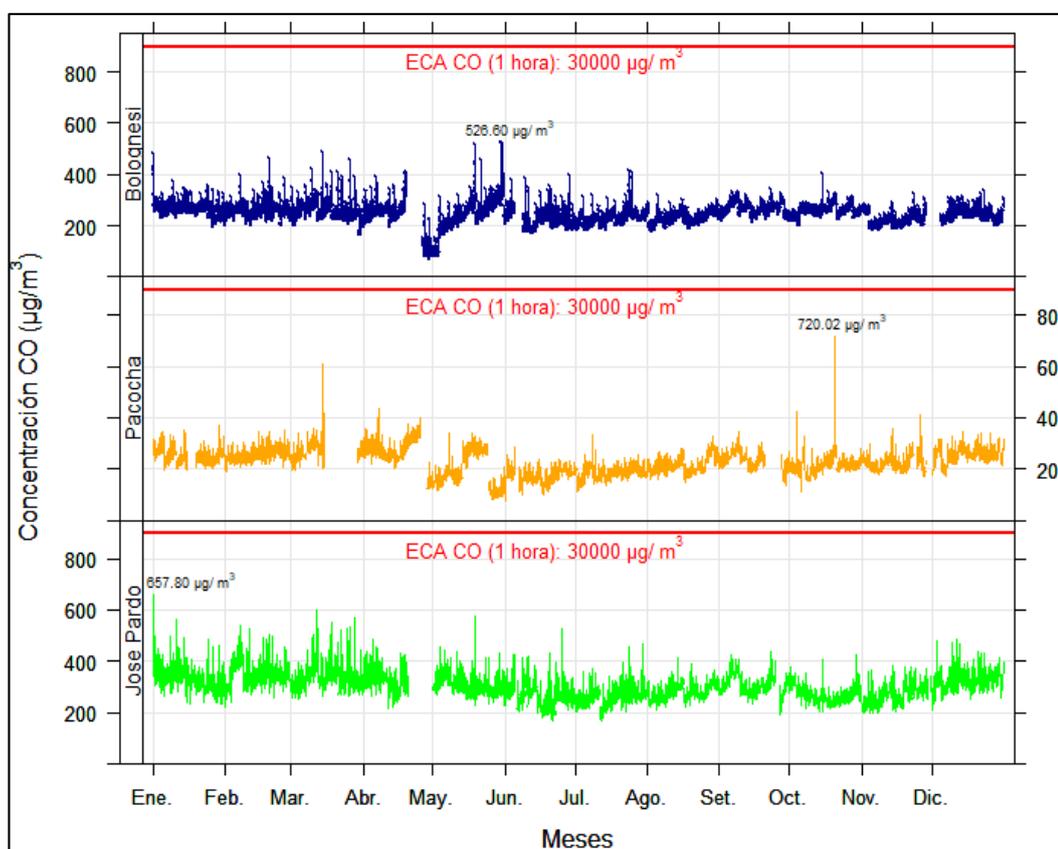
4.2.2.1. Monóxido de carbono (CO)

En la figura 42 se observan las concentraciones horarias para CO en las 03 estaciones de monitoreo automático de la Ciudad de Ilo, en todos los casos no se excedió los ECA para CO 1 hora (30000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). No se observa una tendencia definida en los niveles de concentración de CO en las 03 estaciones, con picos de concentración en la estación

Pacocha en el mes de marzo y octubre. En la estación Bolognesi el valor máximo registrado fue de 526,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de mayo y el valor mínimo de 66,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de abril. En la estación Pacocha el valor máximo registrado fue de 720,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de octubre y el valor mínimo de 77,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de junio. En la estación Jose Pardo, el valor máximo registrado fue de 657,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de enero y el valor mínimo de 165,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de junio.

Figura 42

Concentraciones horarias de CO en el año 2022



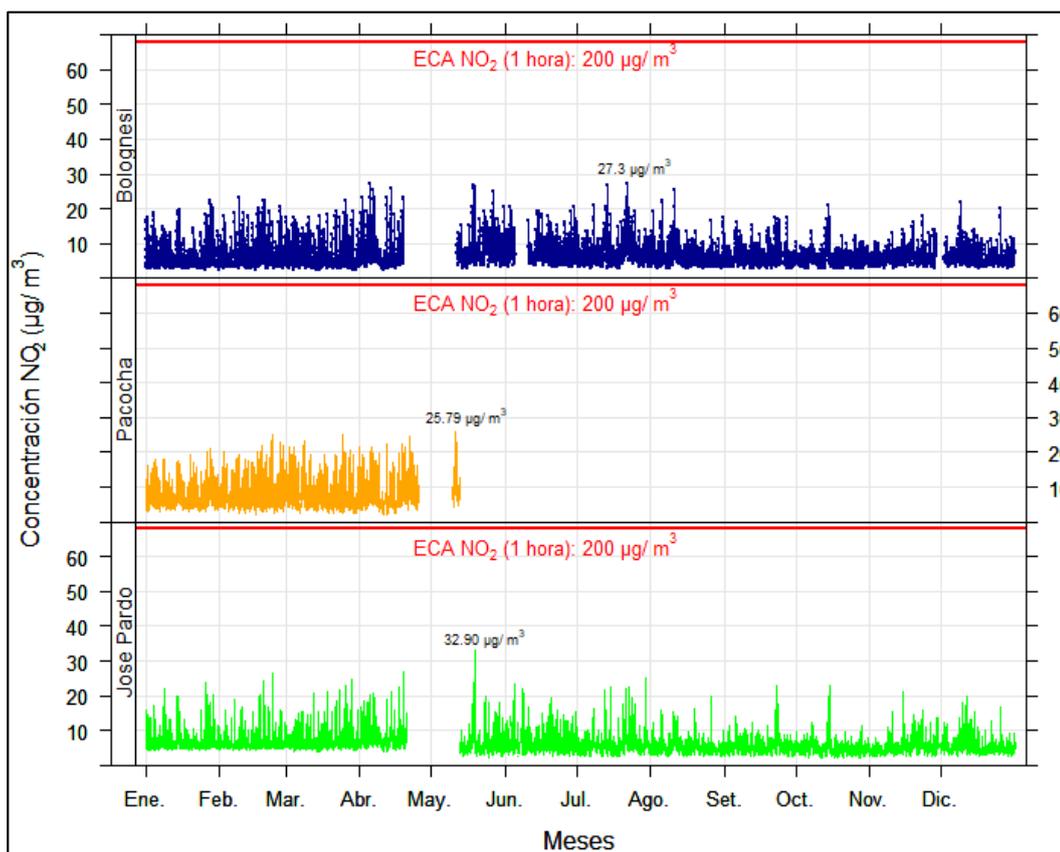
4.2.2.2. Dióxido de nitrógeno (NO_2)

En la figura 43 se observan las concentraciones horarias para NO_2 en las 03 estaciones de monitoreo automático de la Ciudad de Ilo, en todos los casos no se excedió los ECA para NO_2 1 hora ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). No se observa una tendencia definida en los niveles de concentración de NO_2 en las 03 estaciones, con variaciones durante el año. En la estación Bolognesi el valor máximo registrado fue de $27,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de julio y el valor mínimo de $2,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de marzo. En la estación Pacocha el valor máximo registrado fue de $25,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de mayo y el valor mínimo de $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes

de abril; el monitoreo en esta estación se realizó hasta el mes de mayo, de junio a diciembre la estación estuvo en mantenimiento. En la estación Jose Pardo, el valor máximo registrado fue de $32,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de mayo y el valor mínimo de $2,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de octubre.

Figura 43

Concentraciones horarias de NO_2 en el año 2022



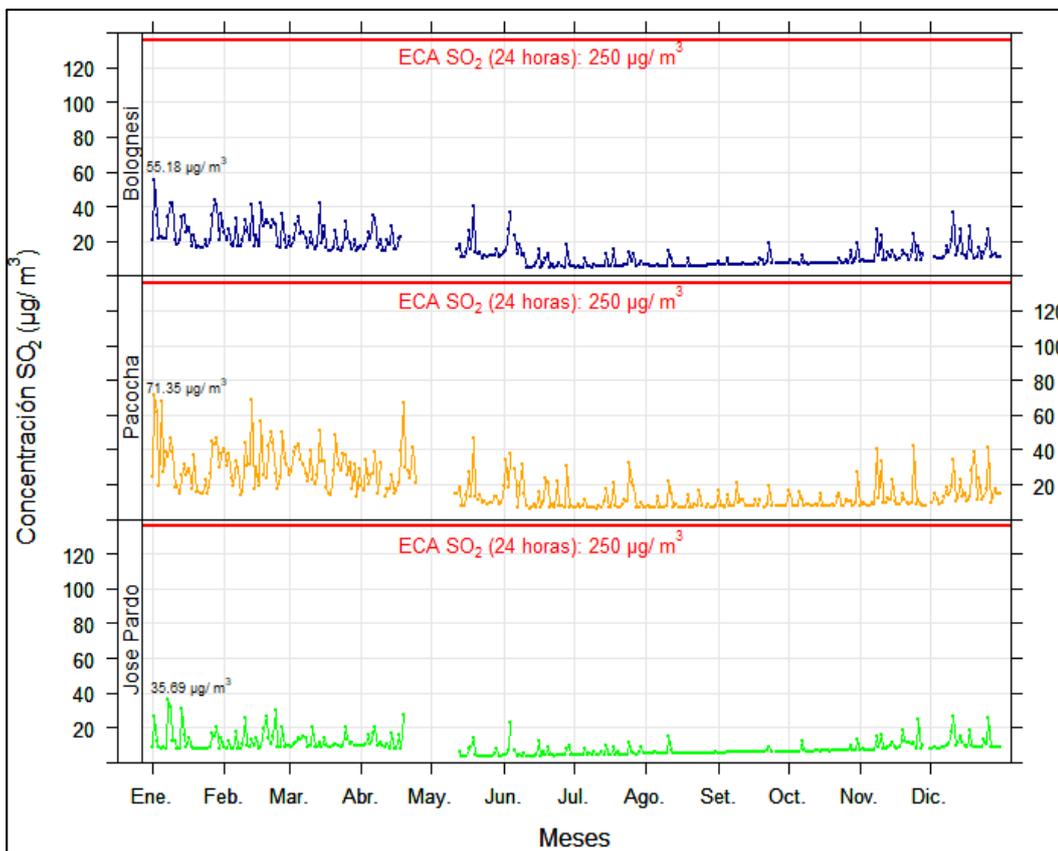
4.2.2.3. Dióxido de azufre (SO_2)

En la figura 44 se observan las concentraciones de 24 horas para SO_2 en las 03 estaciones de monitoreo automático de la Ciudad de Ilo, en todos los casos no se excedió los ECA para SO_2 24 horas ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa una tendencia al aumento de los niveles de concentración entre enero y abril en la estación Pacocha, para luego mostrar una tendencia decreciente con variaciones hasta el mes de noviembre donde nuevamente se observa un incremento, mientras que en la estación Bolognesi y Jose Pardo no se observa tendencia definida en los niveles de SO_2 . En la estación Bolognesi el valor máximo registrado fue de $55,177 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de enero y el valor mínimo de $4,386 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de junio. En la estación Pacocha el valor máximo registrado fue

71,355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de enero y el valor mínimo de 6,044 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de julio. En la estación Jose Pardo, el valor máximo registrado fue de 35,690 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el mes de enero y el valor mínimo de 3,058 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de mayo.

Figura 44

Concentraciones de 24 horas de SO_2 en el año 2022



4.3. Elaborar mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO , NO_2 , SO_2 registrados por estaciones automáticas

4.3.1. Mapa estacional de Monóxido de carbono del año 2021

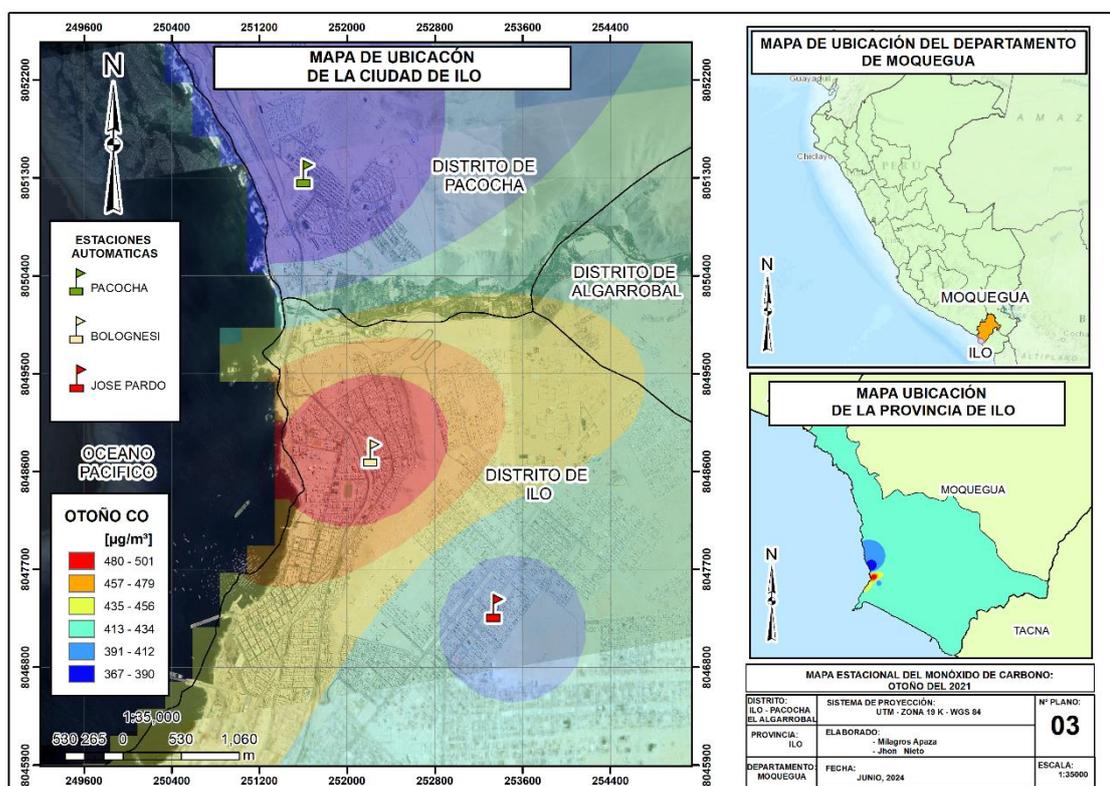
En la figura 45 se observa el mapa estacional de distribución espacial de las concentraciones del monóxido de carbono en la ciudad de Ilo durante el otoño. Las concentraciones no superan los ECA del aire ($30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1 hora). La presente estación de año fue seleccionada del anexo 6 por registrar mayores CO en el período 2021, captados por las estaciones automáticas Pacocha, Bolognesi y José Pardo en los diferentes puntos de la ciudad.

- Las concentraciones varían en un rango de 367 a $501 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Niveles bajos: Las concentraciones más bajas de CO (367 a $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se observan en el extremo noroeste, en áreas cercanas a la estación de Pacocha.
- Niveles moderados: Las concentraciones varían entre 391 y $479 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un incremento hacia las zonas urbanas e industriales cercanas a la estación Bolognesi.
- Niveles altos: Las mayores concentraciones de CO (480 a $501 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentran localizada al noreste de la estación de monitoreo Bolognesi y al norte de la estación José Pardo.

Figura 45

Mapa estacional de Monóxido de Carbono: otoño



4.3.2. Mapa estacional de Dióxido de Nitrógeno de año 2021

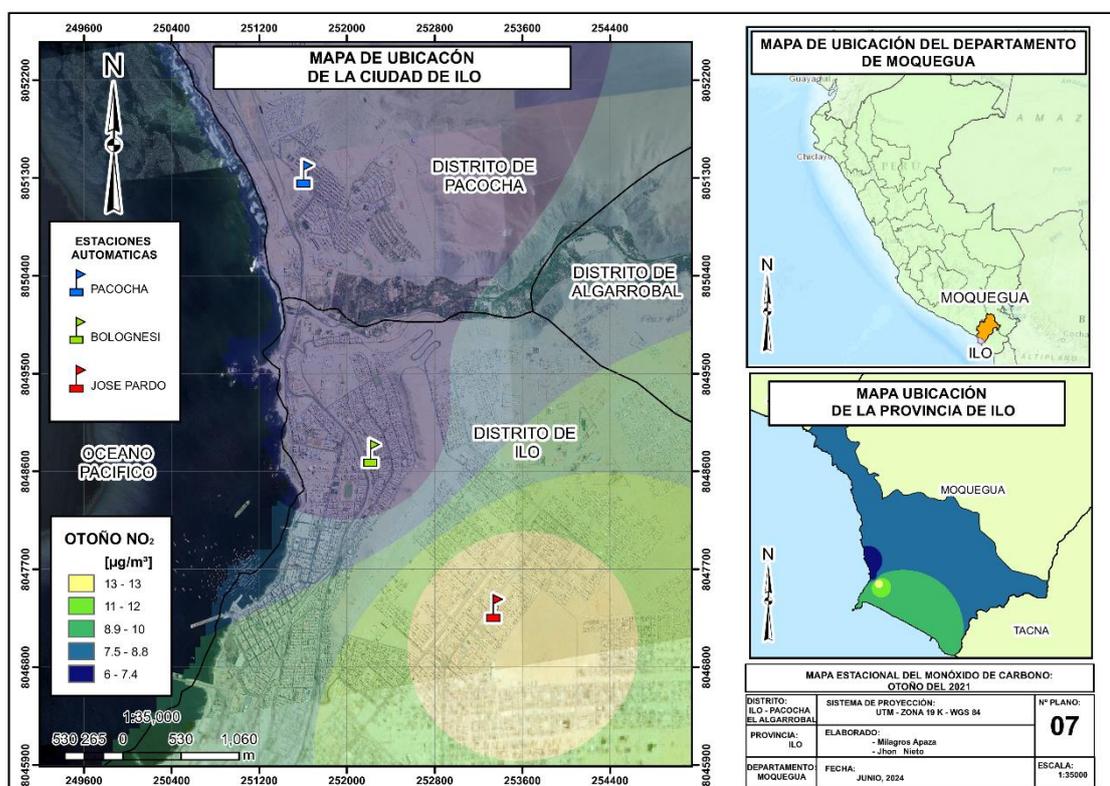
En la figura 46 se observa el mapa estacional de distribución espacial de las concentraciones del dióxido de nitrógeno en la ciudad de Ilo durante el otoño. Las concentraciones no superan los ECA del aire ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1 hora). La presente estación de año fue seleccionada del anexo 6 por registrar mayores NO_2 en el período 2021, captados por las estaciones automáticas Pacocha, Bolognesi y José Pardo en los

diferentes puntos de la ciudad.

- Las concentraciones varían en un rango de 6 a 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Niveles bajos: Las concentraciones más bajas de NO_2 (6-7,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se observan en el extremo noroeste, cerca de las estaciones Bolognesi y Pacocha.
- Niveles altos: Las mayores concentraciones de NO_2 (13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentran en el suroeste, alrededor de la estación Jose Pardo.

Figura 46

Mapa estacional de Monóxido de Dióxido de Nitrógeno: otoño



4.3.3. Mapa estacional de Dióxido de Azufre del año 2021

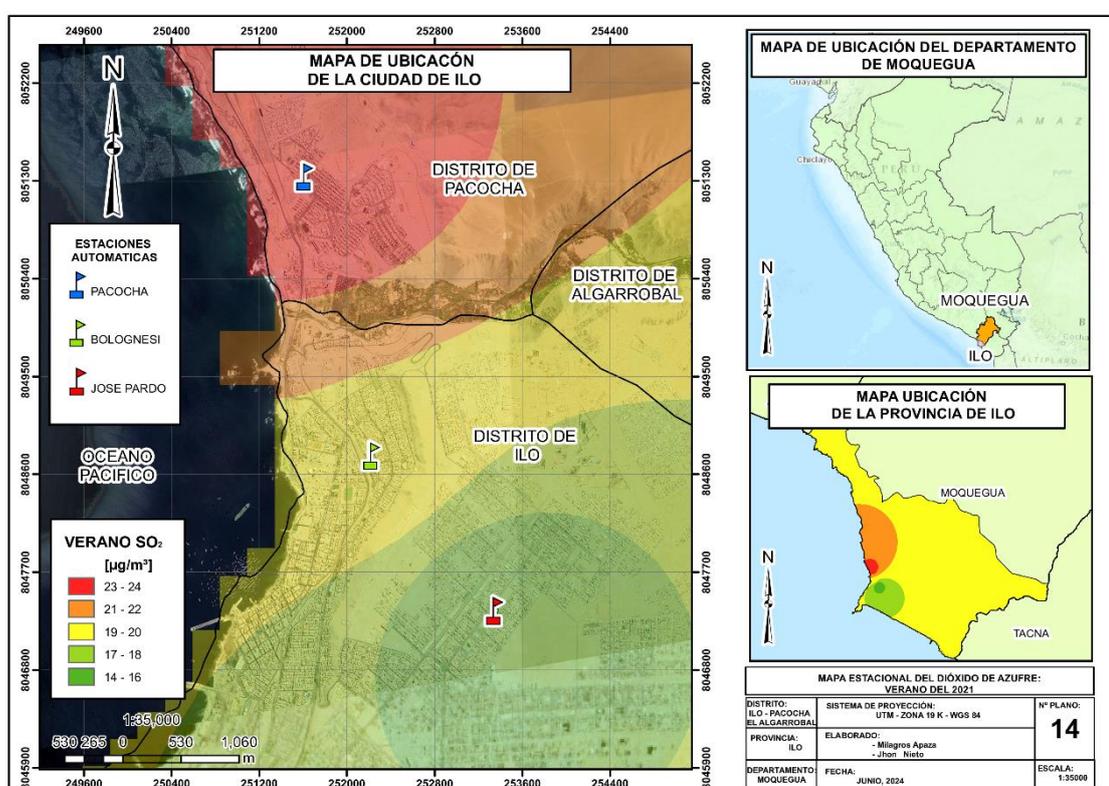
En la figura 47 se observa el mapa estacional de distribución espacial de las concentraciones del dióxido de azufre en la ciudad de Ilo durante el verano. Las concentraciones no superan los ECA del aire (250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas). La presente estación de año fue seleccionada del anexo 6 por registrar mayores SO_2 en el período 2021, captados por las estaciones automáticas Pacocha, Bolognesi y José Pardo en los diferentes puntos de la ciudad.

- Las concentraciones varían en un rango de 14 a 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Niveles bajos: Las concentraciones más bajas de SO_2 (14 a 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se observan en el extremo sureste, cerca de la estación Jose Pardo.
- Niveles moderados: Las concentraciones más moderadas de SO_2 (17 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se distribuyen principalmente en el centro sur y el oeste del distrito de Ilo. En las áreas cercanas a la estación Bolognesi (19 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y en la parte norte del distrito de Ilo (21 a 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Niveles altos: las concentraciones más altas de SO_2 (23 a 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se registraron hacia el noreste Pacocha.

Figura 47

Mapa estacional de Dióxido de Azufre: verano



4.3.4. Mapa estacional de Monóxido de carbono del año 2022

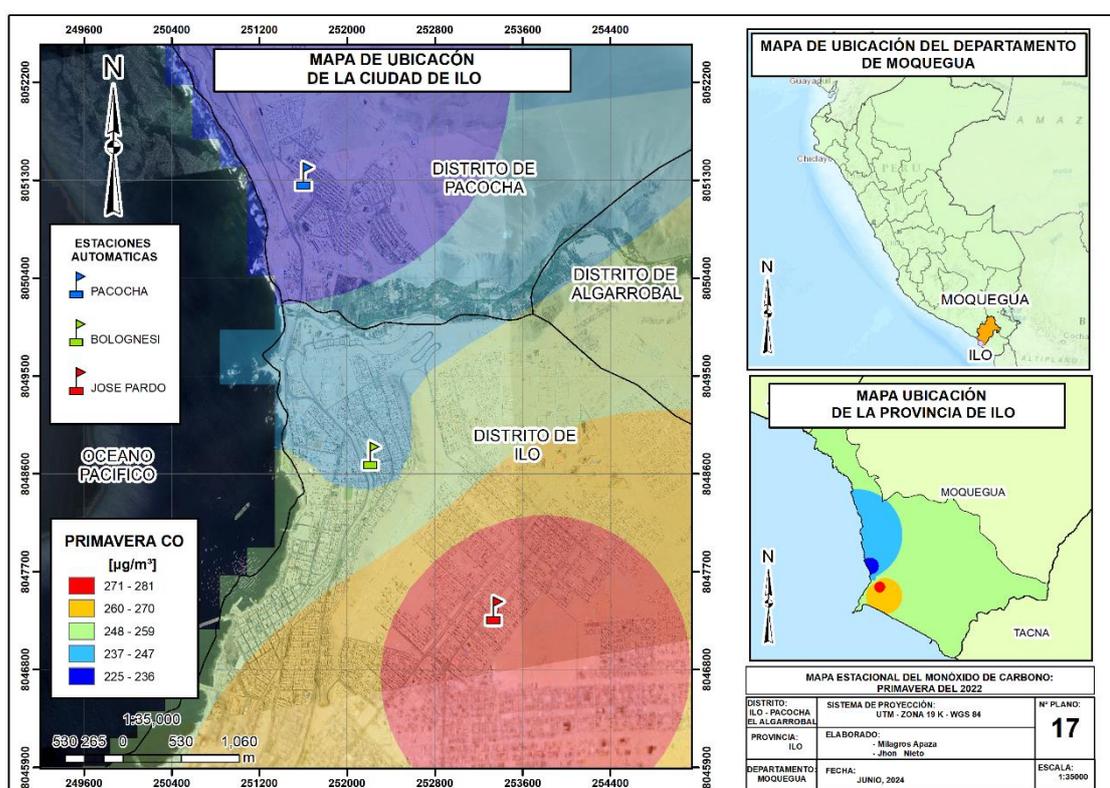
En la figura 48 se observa el mapa estacional de distribución espacial de las concentraciones del monóxido de carbono en la ciudad de Ilo durante el verano. Las concentraciones no superan los ECA del aire (30000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1 hora). La presente estación de año fue seleccionada del anexo 6 por registrar mayores CO en el período 2022, captados por las estaciones automáticas Pacocha, Bolognesi y José Pardo en los diferentes puntos de la ciudad.

- Las concentraciones varían en un rango de 255 a 337 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Niveles bajos: Las concentraciones más bajas de CO (255 a $271 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registraron hacia el centro noreste, cerca de la estación de Bolognesi y Pacocha.
- Niveles moderados: Las concentraciones más moderadas de SO_2 (272 a $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se distribuyen principalmente en el central del distrito de Ilo.
- niveles altos: las concentraciones más altas de CO (321 a $337 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registraron en el extremo sureste, cerca de la estación Jose Pardo.

Figura 48

Mapa estacional de Monóxido de Carbono: Verano



4.3.5. Mapa estacional de Dióxido de Nitrógeno del año 2022

En la figura 49 se observa el mapa estacional de distribución espacial de las concentraciones del dióxido de nitrógeno en la ciudad de Ilo durante el otoño. Las concentraciones no superan los ECA del aire ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1 hora). La presente estación de año fue seleccionada del anexo 6 por registrar mayores NO_2 en el período 2022, captados por las estaciones automáticas Pacocha, Bolognesi y José Pardo en los diferentes puntos de la ciudad.

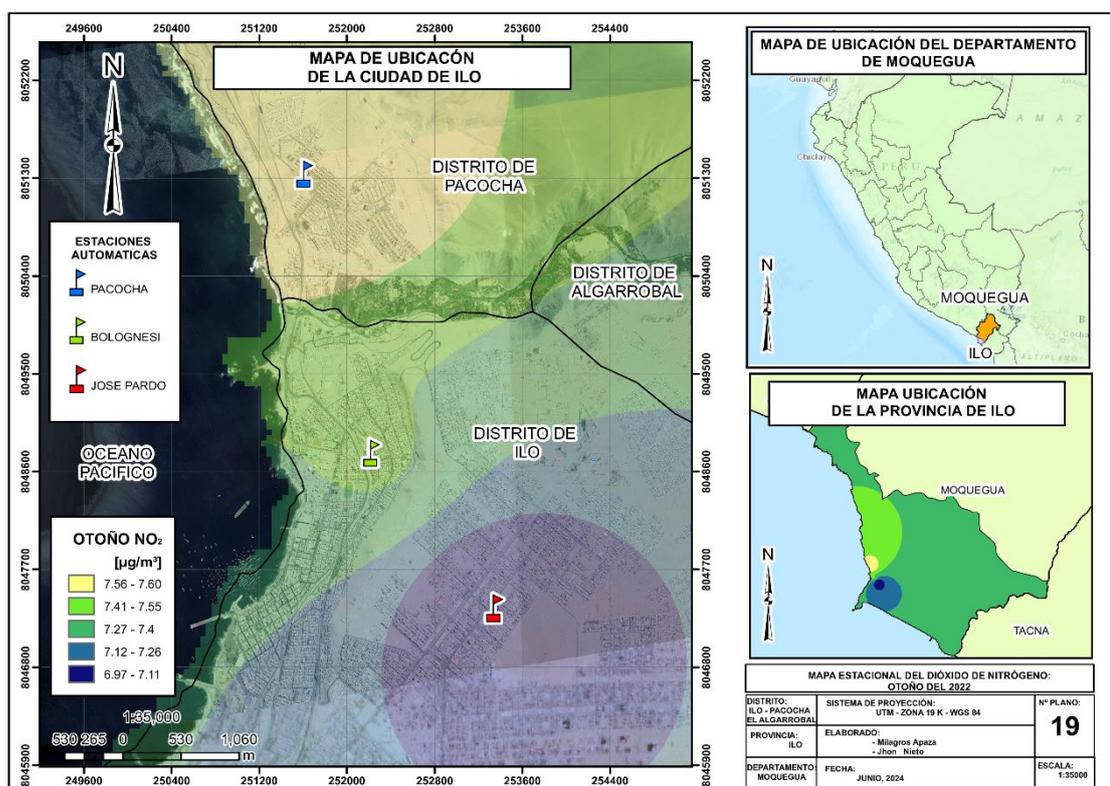
- Las concentraciones varían en un rango de $6,97$ a $7,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Niveles bajos: Las concentraciones más bajas de NO_2 ($6,97$ a $7,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

se observan en el extremo sureste, cerca de la estación Jose Pardo.

- Niveles moderados: Las concentraciones más moderadas de NO_2 ($7,12$ a $7,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se distribuyen principalmente en parte central de la ciudad de Ilo. En áreas cercanas a la estación de Bolognesi ($7,41$ a $7,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Niveles altos: Las mayores concentraciones de NO_2 ($7,56$ a $7,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentran en el noroeste, alrededor de la estación Pacocha.

Figura 49

Mapa estacional de Dióxido de Nitrógeno: otoño



4.3.6. Mapa estacional de Dióxido de Azufre del año 2022

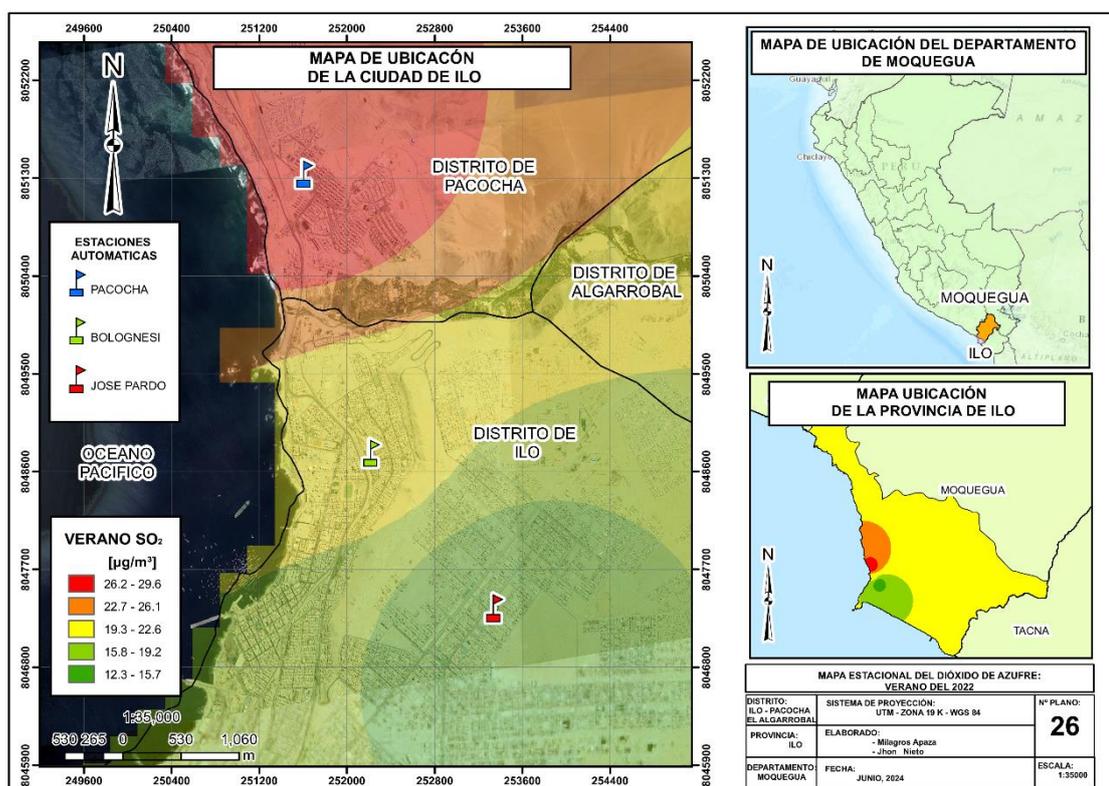
En la figura 50 se observa el mapa estacional de distribución espacial de las concentraciones del dióxido de azufre en la ciudad de Ilo durante el verano. Las concentraciones no superan los ECA del aire ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas). La presente estación de año fue seleccionada del anexo 6 por registrar mayores SO_2 en el período 2022, captados por las estaciones automáticas Pacocha, Bolognesi y José Pardo en los diferentes puntos de la ciudad.

- Las concentraciones varían en un rango de $12,3$ a $29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Niveles bajos: Las concentraciones más bajas de SO_2 ($12,3$ a $15,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se observan en el extremo sureste, cerca de la estación Jose Pardo.

- Niveles moderados: Las concentraciones más moderadas de SO_2 (15,8 a 26,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se distribuyen principalmente en el centro sur y el oeste del distrito de Ilo. En las áreas cercanas a la estación Bolognesi (19,3 a 22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y en la parte norte del distrito de Ilo (22 a 26,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- niveles altos: las concentraciones más altas de SO_2 (26,2 a 29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se registraron hacia el noreste, cerca de la estación Pacocha.

Figura 50

Mapa estacional de Dióxido de Azufre: verano



4.4. Correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y las estaciones automáticas

De acuerdo al cuarto objetivo específico, el de determinar la correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y de las estaciones automáticas de la ciudad de Ilo, los datos correlacionados fueron tomados de la ficha de registro de concentración (anexo 4) de las estaciones automáticas de Ilo y de las concentraciones de imágenes satelitales de Sentinel 5P exportadas en un registro (anexo 5). El periodo trabajado fue entre el 01 de enero del 2021 y el 31 de diciembre del 2022 a las 12:00 del mediodía.

4.4.1. Correlación de CO, NO₂ y SO₂ en la estación Bolognesi, Pacocha y Jose Pardo en el año 2021

- Estadístico
Correlación de Pearson
- Hipótesis de correlación
H₀: No existe correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas.
H₁: Existe correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas.
- Nivel de significancia
 $\alpha=5\%=0,05$
- Estadístico de prueba
Si P – valor > 0,05; se acepta la H₀
Si P – valor < 0,05; se rechaza la H₀ y se acepta la H₁
- Calculo estadístico
En la tabla 13 se detalla el cálculo estadístico.

Tabla 13

Prueba de correlación de Pearson de Satélite Sentinel 5P y estaciones automáticas del 2021

Estación automática	Correlaciones	Satélite Sentinel 5P		
		CO	NO ₂	SO ₂
Bolognesi	Correlación de Pearson	-0,281	0,530	0,059
	Sig.(bilateral)	0,375	0,076	0,857
	N	12	12	12
Pacocha	Correlación de Pearson	-0,211	0,688	-0,023
	Sig.(bilateral)	0,511	0,013	0,954
	N	12	12	12
Jose Pardo	Correlación de Pearson	-0,173	-0,253	0,15
	Sig.(bilateral)	0,591	0,428	0,642
	N	12	12	12

- Decisión
 - Para la estación Bolognesi, en la concentración de monóxido de carbono (CO), el P-valor es 0,375, lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$

considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .

- Para la estación Pacocha, en la concentración de monóxido de carbono (CO), el P-valor es 0,511, lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
 - Para la estación Jose Pardo en la concentración de monóxido de carbono (CO), el P-valor es 0,591 lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
 - Para la estación Bolognesi en la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) de 2021, el P-valor es 0,076, lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
 - Para la estación Pacocha en la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2), el P-valor es 0,013, lo cual es menor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 , con una correlación de 0,688.
 - Para la estación Jose Pardo en la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) de 2021, el P-valor es 0,428, lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
 - Para la estación Bolognesi en la concentración de dióxido de azufre (SO_2) de 2021, el P-valor es 0,857, lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
 - Para la estación Pacocha en la concentración de dióxido de azufre (SO_2) de 2021, el P-valor es 0,954, lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
 - Para la estación Jose Pardo en la concentración de dióxido de azufre (SO_2) de 2021, el P-valor es 0,642 lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
- Conclusión
 - Para la estación Bolognesi, en la concentración de monóxido de carbono

(CO), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Bolognesi.

- Para la estación Pacocha, en la concentración de monóxido de carbono (CO), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Pacocha.
- Para la estación Jose Pardo, en la concentración de monóxido de carbono (CO), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Jose Pardo.
- Para la estación Bolognesi, en la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Bolognesi.
- Para la estación Pacocha, en la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂), se concluye la existencia de correlación directa intermedia con un nivel de confianza del 95 % entre Sentinel 5P y la estación automática de Pacocha.
- Para la estación Jose Pardo, en la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Jose Pardo.
- Para la estación Bolognesi, en las la concentración de dióxido de azufre (SO₂), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Bolognesi.
- Para la estación Pacocha, en la concentración de dióxido de azufre (SO₂), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Pacocha.
- Para la estación Jose Pardo, en la concentración de dióxido de azufre (SO₂), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Jose Pardo.

4.4.2. Correlación de CO, NO₂ y SO₂ en la estación Bolognesi, Pacocha y Jose Pardo en el año 2022

- Estadístico

Correlación de Pearson

- Hipótesis de correlación

H₀: No existe correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas.

H₁: Existe correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los

de estaciones automáticas.

- Nivel de significancia
 $\alpha=5\%=0,05$
- Estadístico de prueba
Si $P - \text{valor} > 0,05$; se acepta la H_0
Si $P - \text{valor} < 0,05$; se rechaza la H_0 y se acepta la H_1
- Cálculo estadístico
En la tabla 14 se detalla el cálculo estadístico.

Tabla 14

Prueba de correlación de Pearson de Satélite Sentinel 5P y estaciones automáticas del 2022

Estación automática	Correlaciones	Satélite Sentinel 5P		
		CO	NO ₂	SO ₂
Bolognesi	Correlación de Pearson	0,598	0,257	0,471
	Sig.(bilateral)	0,040	0,420	0,123
	N	12	12	12
Pacocha	Correlación de Pearson	0,700	-0,524	0,493
	Sig.(bilateral)	0,011	0,080	0,104
	N	12	12	12
Jose Pardo	Correlación de Pearson	0,692	0,169	0,631
	Sig.(bilateral)	0,013	0,600	0,028
	N	12	12	12

- Decisión
 - Para la estación Bolognesi en la concentración de Monóxido de Carbono (CO) el P-valor es 0,040, lo cual es menor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 , con una correlación de 0,598.
 - Para la estación Pacocha en la concentración de Monóxido de Carbono (CO) el P-valor es 0,011, lo cual es menor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 , con una correlación de 0,700.
 - Para la estación Jose Pardo en la concentración de Monóxido de Carbono (CO) el P-valor es 0,013 lo cual es menor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto,

se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 , con una correlación de 0,692.

- Para la estación Bolognesi en la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) el P-valor es 0,420 lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
- Para la estación Pacocha en la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) el P-valor es 0,080 lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
- Para la estación Jose Pardo en la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) el P-valor es 0,600 lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
- Para la estación Bolognesi en la concentración de Dióxido de Azufre (SO_2) el P-valor es 0,123 lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
- Para la estación Pacocha en la concentración de Dióxido de Azufre (SO_2) el P-valor es 0,104 lo cual es mayor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se acepta la H_0 .
- Para la estación Jose Pardo en la concentración de Dióxido de Azufre (SO_2) el P-valor es 0,028 lo cual es menor que el valor de $\alpha=0,05$ considerado para la significancia en la tesis de investigación; por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 , con una correlación de 0,631.

- **Conclusión**

- Para la estación Bolognesi en la concentración de monóxido de carbono (CO), se concluye la existencia de correlación directa intermedia con un nivel de confianza del 95 % entre Sentinel 5P y la estación automática de Bolognesi.
- Para la estación Pacocha en la concentración de monóxido de carbono (CO), se concluye la existencia de correlación directa intermedia con un nivel de confianza del 95 % entre Sentinel 5P y la estación automática de Pacocha.
- Para la estación Jose Pardo en la concentración de Monóxido de Carbono (CO), se concluye la existencia de correlación directa intermedia con un

nivel de confianza del 95 % entre Sentinel 5P y la estación automática de Jose Pardo.

- Para la estación Bolognesi en la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Bolognesi.
- Para la estación Pacocha en la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Pacocha.
- Para la estación Jose Pardo en la concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Jose Pardo.
- Para la estación Bolognesi en la concentración de Dióxido de Azufre (SO_2), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Bolognesi.
- Para la estación Pacocha en la concentración de Dióxido de Azufre (SO_2), se concluye la inexistencia de correlación entre Sentinel 5P y la estación automática de Pacocha.
- Para la estación Jose Pardo en la concentración de Dióxido de Azufre (SO_2), se concluye la existencia de correlación directa intermedia con un nivel de confianza del 95 % entre Sentinel 5P y la estación automática de Jose Pardo.

4.5. Desarrollo de aplicación web para la gestión la calidad de aire

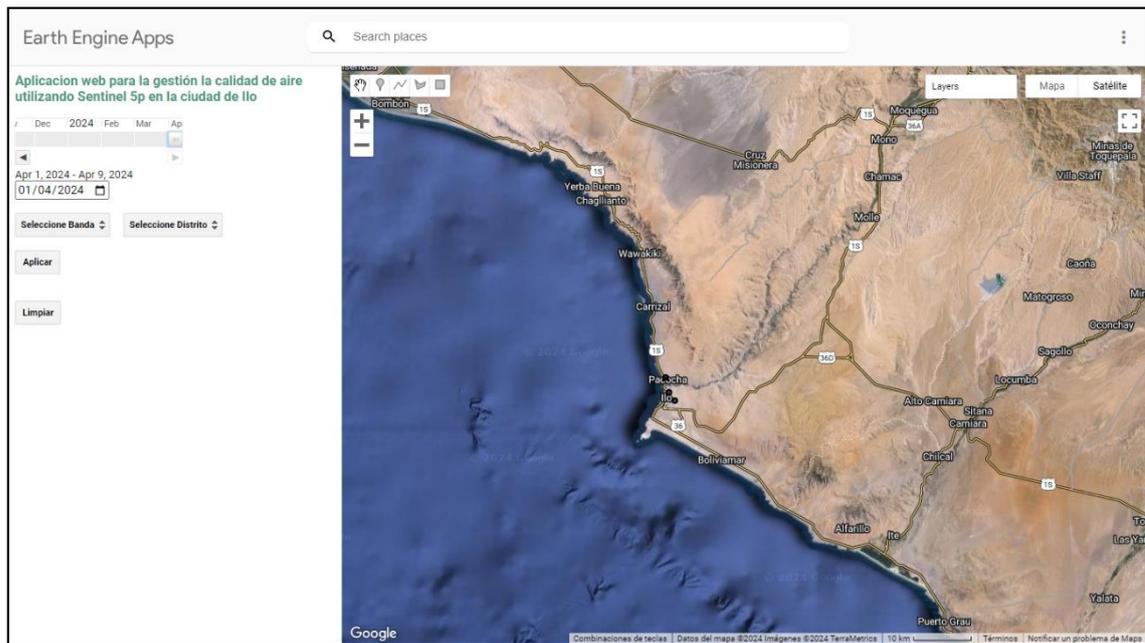
La aplicación web para la gestión de la calidad de aire en la ciudad de Ilo permite la visualización de la información brindada por el satélite Sentinel 5P mediante la plataforma GEE.

A continuación, se muestran los pasos para ejecutar la aplicación web:

- Paso 1: Se ingresa mediante enlace <https://ee-virginiaapaza.projects.earthengine.app/view/sentinel5p-ilo>. Se puede visualizar el area de la provincia de Ilo, los puntos que representan las estaciones automaticas y el panel principal, tal como se observa en la figura 51.

Figura 51

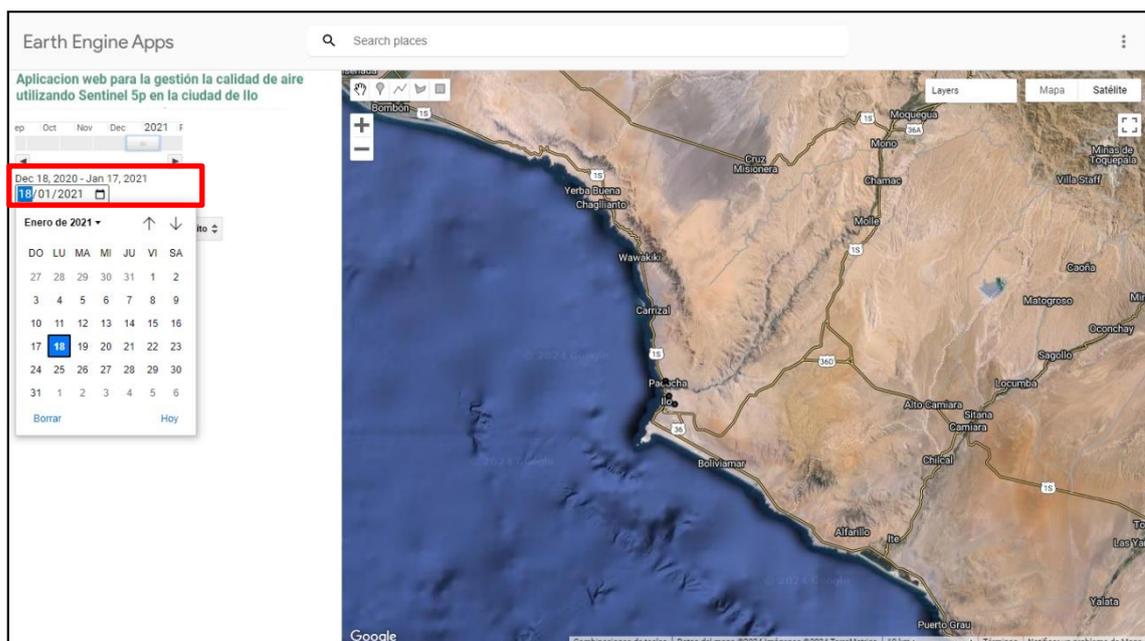
Interfaz de la aplicación web



- Paso 2: Seleccionar la fecha deseada dando click al selector de fecha, la opción disponible es desde el 01 de enero del 2019 hasta la fecha actual, tal como se observa en la figura 52.

Figura 52

Selección de fecha

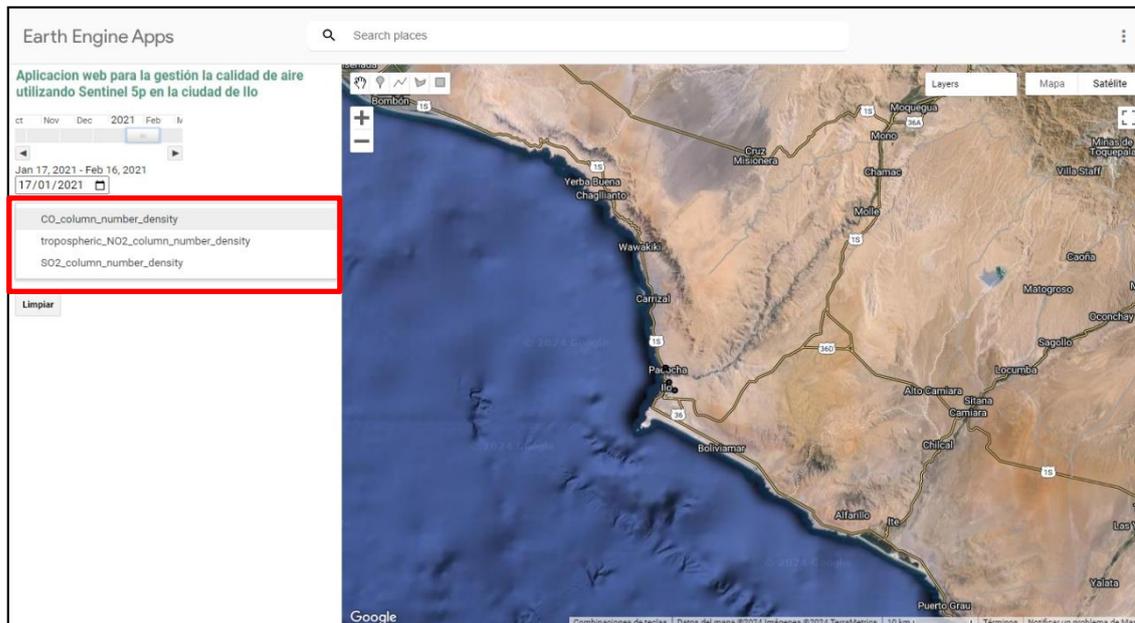


- Paso 3: Seleccionar la banda dando click al selector de banda, ya sea CO,

NO₂ o SO₂, como se muestra en la figura 53.

Figura 53

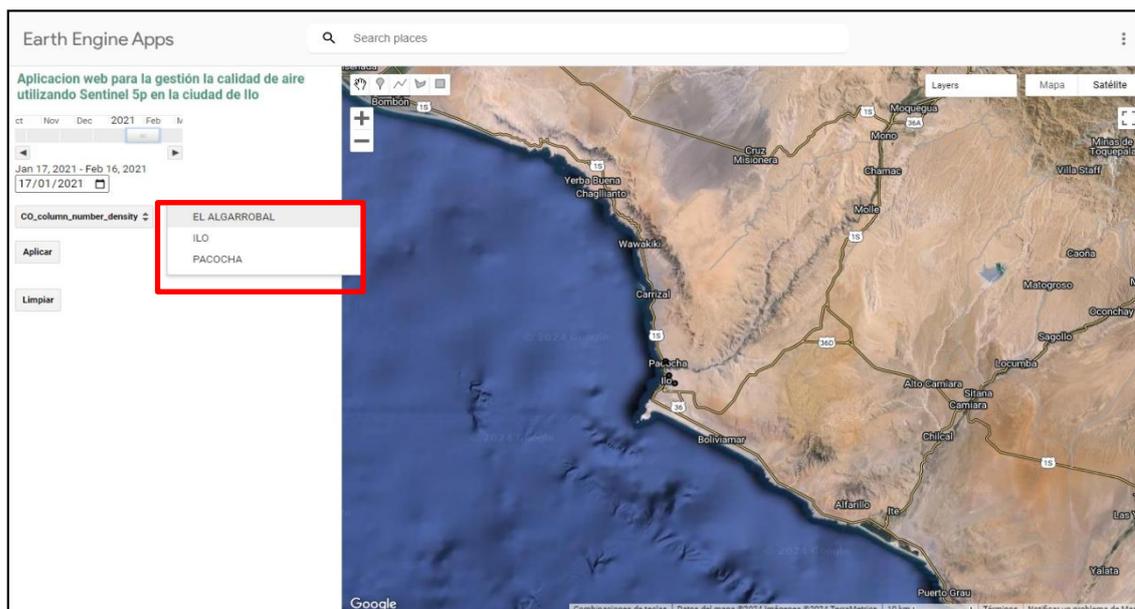
Selección de banda



- Paso 4: Seleccionar el distrito, dando click al selector de distrito, como se observa en la figura 54.

Figura 54

Selección de distrito

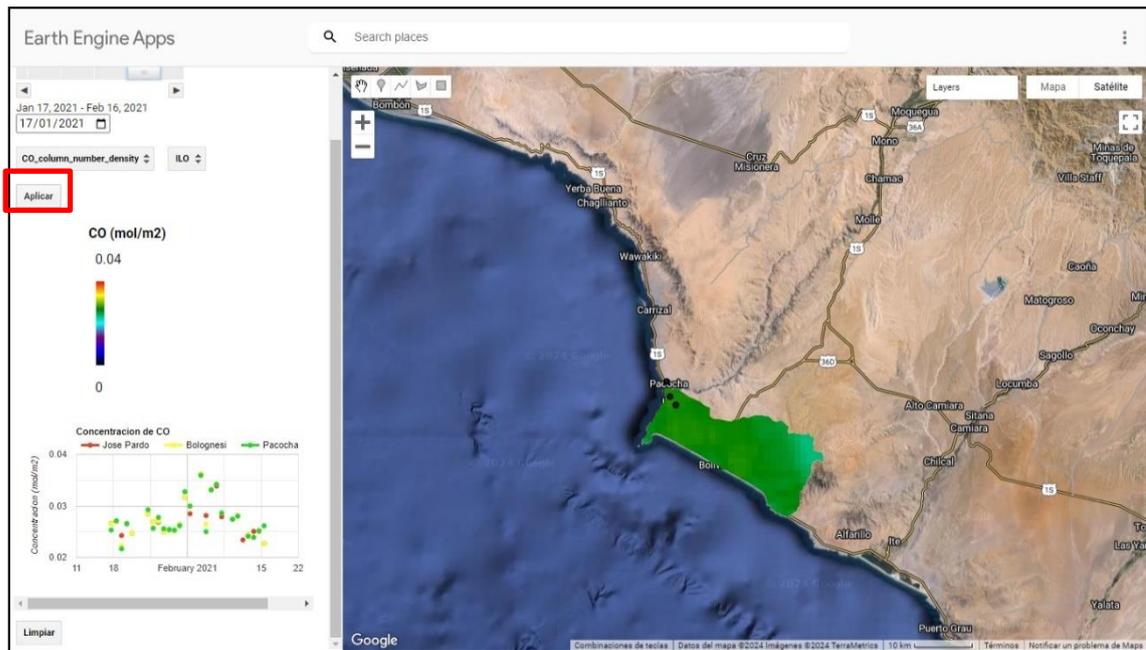


- Paso 5: Dar click en el botón Aplicar para visualizar el mapa de distribución

del distrito y banda elegido. En la figura 55 se puede observar el mapa de distribución promedio de CO para el distrito de Ilo periodo febrero 2021, en el panel se observa barra de color que muestra el rango de concentración de CO en mol/m² y el grafico de concentración de CO diario en mol/m² según las coordenadas de las estaciones automáticas.

Figura 55

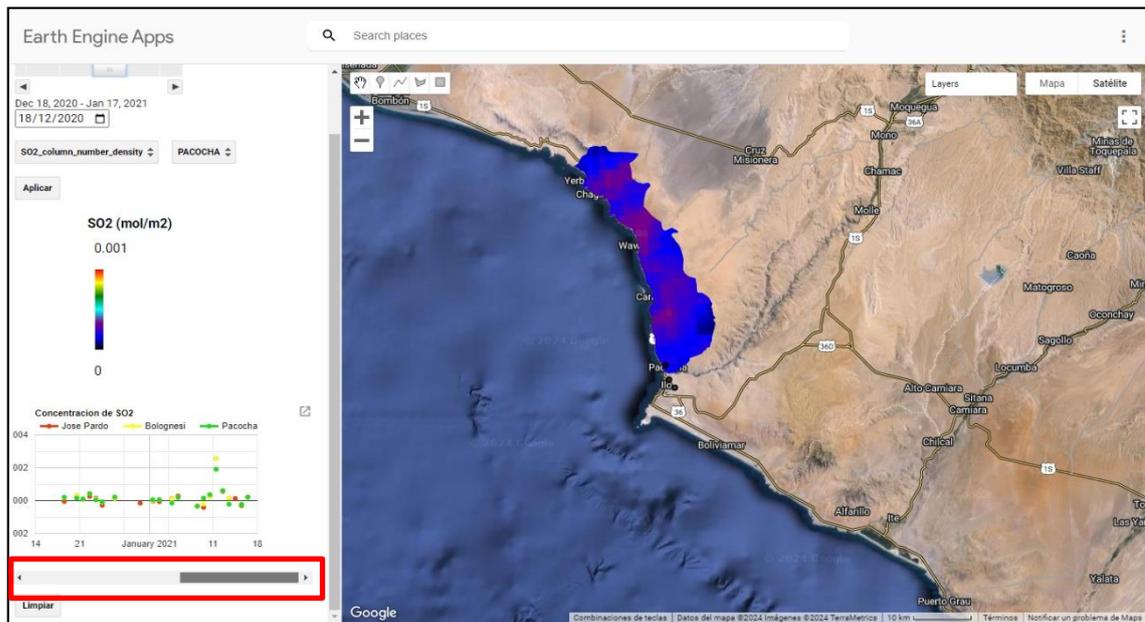
Visualización de mapa de distribución de CO para el distrito de Ilo



De igual manera se puede realizar una nueva consulta, en la figura 56 se observa el mapa de distribución promedio de SO₂ para el distrito de Pacocha, periodo de enero 2021 con su respectiva barra de color de concentración de SO₂ en mol/m². Para visualizar el grafico de concentración de la nueva consulta se deberá arrastrar hacia la derecha la barra horizontal.

Figura 56

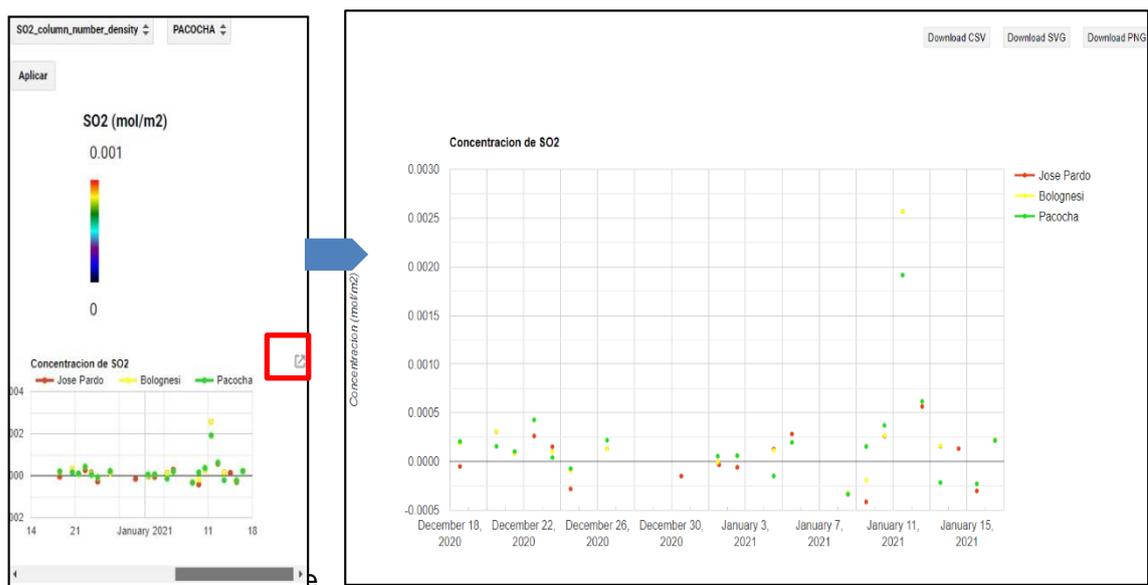
Visualización de mapa de distribución de SO₂ para el distrito de Pacocha



Para un mayor análisis del gráfico de concentración según estación, se puede dar click a la flecha superior derecha del gráfico, de esta manera se visualizara integramente en una nueva ventana, con la opción de descargar el gráfico en formato png y los datos en formato CSV, como se observa en la figura 57.

Figura 57

Visualización de gráfico de concentración de SO₂ según estación

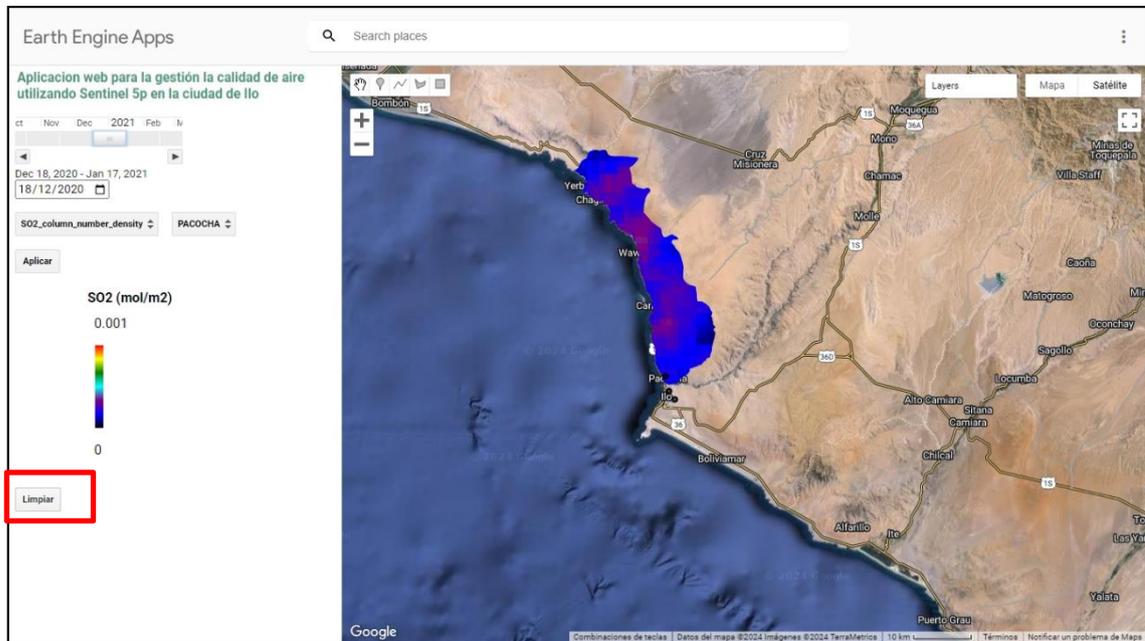


manera opcional se puede dar click en el botón limpiar, para borrar el gráfico

actual del panel principal, y realizar una nueva consulta, tal como se observa en la figura 58.

Figura 58

Limpeza de grafico de concentración del panel



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El uso integrado de la teledetección y el monitoreo automático ha mostrado resultados favorables para la evaluación de la calidad de aire según diversos estudios realizados a nivel nacional e internacional (Arboleda & Vásquez, 2021; Mármol, 2022; Belzunce, 2022; Forero, 2019). En el presente estudio se evaluó la calidad de aire utilizando la teledetección con Sentinel 5p mediante la plataforma Google earth engine que permitió obtener imágenes satelitales y concentraciones de los contaminantes, y a su vez se evaluó los niveles de contaminantes obtenidos de estaciones automáticas, en el periodo 2021-2022, encontrando que la aplicación de teledetección permite conocer las fuentes de emisión y distribución de contaminantes, mientras que el monitoreo con estaciones automáticas nos permitió conocer que la emisión de gases provenientes de las fuentes de emisión no están generando afectación en la salud de la población de la ciudad de Ilo.

5.1. Analizar el comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P

En el presente estudio, según los mapas de distribución espacial se observó que las concentraciones elevadas de CO se ubican en el suroeste, en el caso del NO₂ al noroeste; mientras que en el caso del SO₂ se ubican en el noroeste de la ciudad; áreas donde se ubica la zona industrial, que comprende las empresas pesqueras, el complejo metalúrgico y la central de generación de energía. De igual manera, Mármol (2022) determinó que la distribución de las emisiones de CO y NO₂ está asociada a la disposición espacial de los sectores industria, quema de residuos y el sector residencial; obteniendo como puntos de mayor concentración de NO₂ a las ciudades más pobladas Madrid y Barcelona; mientras que Padrón & Cabrera (2022) determinó una alta concentración de SO₂ en la zona costera de Ecuador, debido a las emisiones de las chimeneas de los barcos.

Respecto a las concentraciones obtenidas de Sentinel 5P, se observó una tendencia del NO₂ a presentar concentraciones elevadas en los meses de invierno (julio – setiembre), en el caso del CO en setiembre y febrero, mientras que el SO₂ es muy variable y no se puede establecer una tendencia particular, con valores altos en julio, mayo y marzo, lo que coincide con lo registrado por Solis (2023) quien obtuvo los valores más altos de CO y NO₂ en el mes de setiembre y para el SO₂ en el mes de julio. Por su parte Bayona (2022) obtuvo los promedios más altos de CO en marzo, de NO₂ en

octubre y para el SO₂ en enero, tendencias que difieren con lo observado en el presente estudio. El SENAMHI (2023) registró valores máximos de NO₂ en la zona de Lima Este, Centro y Sur, entre 194 y 223 µmol/m² en la primera decadiaria del mes de setiembre, y relacionó los aumentos y descensos de estos valores con el tránsito vehicular; valores más altos en comparación con lo registrado para la ciudad de Ilo.

5.2. Analizar la variación de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas

El valor más alto CO fue registrado en la estación Pacocha con un valor de 3888,3 µg/m³, para el NO₂ se obtuvo el valor más alto en la estación José Pardo con un valor de 34,1 µg/m³; mientras que el SO₂ en la estación Pacocha con un valor de 71,36 µg/m³; en ningún caso se sobrepasó los ECA para aire por tanto no existe riesgo para la salud y el ambiente en el periodo evaluado. Valeriano (2021) en su investigación realizada en el distrito de Pacocha, obtuvo en el 2019 para el SO₂ el valor más alto de 783,51 µg/m³, para el NO₂ un valor de 36,77 µg/m³; siendo estos los valores de SO₂ más altos que los obtenidos en el presente estudio; esto podría ser atribuido a la ubicación próxima a las fuentes fijas como instalaciones pesqueras, fundiciones y refinería de cobre,

La estación Pacocha registró concentraciones más altas de SO₂ en comparación con las otras 02 estaciones, se puede inferir que es debido a su ubicación próxima a fuentes fijas, y a su vez también registró los valores más altos de CO, lo que sugiere la ocurrencia de eventos particulares, debido a que estos incrementos no son constantes durante el año. El parque automotor constituye la principal fuente aportante de contaminantes de las estaciones Bolognesi y Jose Pardo, lo que demuestra los niveles constantes de CO y NO₂ registrados en estas estaciones durante el periodo evaluado.

Según el Ministerio de Transportes y telecomunicaciones, el departamento de Moquegua cuenta con un parque automotor que representa el 0,59 % del total del parque automotor del país, lo que evidencia los niveles bajos de CO y NO₂ en comparación con lo obtenido por Vargas & Venegas (2023) quienes determinaron que los niveles de CO en las calles de Lima Metropolitana están en un promedio de 29789 µg/m³, valor que es mayor a lo registrado en el presente estudio.

5.3. Elaborar mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas

En la presente investigación al elaborar mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por las estaciones automáticas, se

pudo visualizar para el año 2021, concentraciones promedio elevadas de monóxido de carbono en otoño de 367 a 501 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el Dióxido de Nitrógeno en otoño registrándose concentraciones promedias elevados de 6 a 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y para el Dióxido de Azufre en verano a concentraciones promedios elevadas de 14 a 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por otro lado, para el año 2022, se pudo visualizar concentraciones promedio elevadas de monóxido de carbono en verano a 255 a 337 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el Dióxido de Nitrógeno en otoño registrándose concentraciones promedias elevados de 6,97 a 7,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y para el Dióxido de Azufre de verano a registrado concentraciones promedias elevados a 12,3 a 29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Estos resultados se pueden interpretar que existe ciertos patrones de elevadas concentraciones de dióxido de nitrógeno, dióxido azufre en otoño y verano en el periodo 2021- 2022. Para el monóxido de carbono no se obtuvo similitud ya que para el año 2021 se presenta concentraciones promedio elevadas en otoño, por el otro lado encontró concentraciones promedio elevadas en verano para el año 2022. Frente a lo mencionado los mapas estacionales pueden mostrar variaciones de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas de la ciudad de Ilo.

Estos resultados son corroborados por Pando (2019), quien obtuvo elevadas concentraciones en otoño en la estación San Juan de Lurigancho de 2634,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en verano en la estación Lurigancho de 2385,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los cuatro estaciones la de San Juan de Lurigancho es la que obtuvo mas concentraciones estacional. Consiguientemente Valeriano (2021), quien realizo un estudio en la ciudad de Ilo en el distrito de Pacocha obteniendo concentraciones trimestrales elevadas de NO₂ en los meses abril a junio meses pertenecientes a otoño de 36,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2019, posteriormente en los meses de octubre a diciembre de 19,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ perteneciente a primavera del 2020. Por otro lado, para el SO₂ en los meses de enero a marzo, meses pertenecientes verano de 783,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2019 y 610,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2020.

En tal sentido a lo referido y analizado anteriormente se pudo mostrar variaciones espaciales de los gases y mostrar similitudes estacionales que se presentan CO en verano y otoño, NO₂ en otoño y finalmente SO₂ en verano.

5.4. Determinar la correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas.

La data obtenida entre las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Ilo (Pachocha, Bolognesi y Jose Pardo) y los registrados por las imágenes satelitales Sentinel 5P se

obtiene un comportamiento diverso, no muestran casi siempre una correlación en lo que se detalle a continuación.

Con relación a las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el año 2022, se obtuvo correlación directa intermedia en la estación Bolognesi ($r=0,59$), Pacocha ($r=0,700$) y Jose Pardo ($r=0,692$). Esto concuerda con un estudio realizado por Forero (2019) que obtuvo para CO ($r=0,55$) y Belzunce (2022) obtuvo en la estación Kunak ($r=0,71$). Para el año 2021 no se obtuvo ninguna correlación en las estaciones automáticas de Ilo.

Por otra parte, para las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) en el año 2022 no se obtuvo ninguna correlación, y para el año 2021 se obtuvo una correlación directa intermedia solo en Pacocha ($r=0,688$). Esto concuerda con un estudio realizado por Forero (2019) con ($r=0,44$) y Belzunce (2022) obtuvo una correlación en la estación de Kunak ($r=0,007$), en la estación estatal ($r=0,09$) en la ciudad de Madrid y en la estación de Kunak ($r=0,0997$) en la estación estatal ($r=0,243$) en la ciudad de Pamplona. Estos resultados muestran una gran variabilidad y poca similitud entre las imágenes de Sentinel 5P, debido a la corta vida del gas NO_2 en la troposfera y su distribución variada (Padrón & Cabrera, 2022).

Con respecto a las concentraciones de dióxido de azufre (SO_2) para el año 2022 se obtuvo correlación directa intermedia en la estación Jose Pardo ($r=0,631$), caso contrario sucede en las estaciones de Bolognesi y Pacocha. Para el año 2021 no se obtuvo ninguna correlación, esto concuerda con un estudio realizado por Padrón & Cabrera (2022) en los cuales se encontraron valores muy bajos ($r=0,25$).

Indican Belzunce (2022) y Forero (2019) que la variabilidad puede responder a las desigualdades espaciales en las que están ubicados los receptores de captación de los gases del satélite (sensor TROPOMI) y las estaciones automáticas, influyendo en la toma de muestras, más aún la vida de los gases y la existencia en la capa troposférica la alta presencia de O_3 .

5.5. Desarrollo de aplicación web para la gestión la calidad de aire

Dentro de las principales tecnologías para la gestión de la contaminación atmosférica en las ciudades se tienen a las Plataformas de gestión de la calidad del aire urbano y las Redes de sensores de monitoreo de la contaminación atmosférica de bajo costo (Torres, 2017). En el presente estudio, se propuso el desarrollo una aplicación web utilizando la plataforma Google Earth Engine, que nos permitió obtener imágenes satelitales de las concentraciones de los contaminantes de una manera sencilla y

práctica. Taboada (2022) desarrolló una herramienta web que permitió acceder a la información ambiental del ecosistema del lago Chinchaycocha; además permitió captar el interés de los tomadores de decisión. Por su parte, Arboleda & Vásquez (2021) desarrollaron una aplicación web que permitió la visualización de datos de calidad del aire del Ecuador, concluyendo que la incorporación de nuevos métodos de monitoreo de calidad del aire es posible gracias a la teledetección y la plataforma Google Earth Engine.

El desarrollo de la aplicación web como, permitirá a las autoridades y al público en general conocer donde se ubican las altas concentraciones de los contaminantes atmosféricos CO, NO₂ y SO₂ en el distrito y de esta manera podrán implementar medidas que permitan mejorar la calidad de aire en la ciudad de Ilo.

CONCLUSIONES

Se realizó la evaluación de la calidad de aire utilizando la teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021-2022, lo que permitió conocer de la variación de la concentración de los contaminantes y su distribución espacio temporal.

Del análisis del comportamiento de CO, NO₂ y SO₂ en la ciudad de Ilo medidos por Sentinel 5P se obtuvo que las concentraciones elevadas de los contaminantes en su mayoría se distribuyen al suroeste-noroeste de la ciudad, donde se ubican las fuentes fijas, en el caso del NO₂ tiene un comportamiento estacional, cuyos valores máximos se encontraron en los meses de invierno.

Del análisis de la variación de concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ registrados por estaciones automáticas en la ciudad de Ilo, se obtuvo que el valor más alto CO fue registrado en la estación Pacocha con un valor de 3888,3 µg/m³, para el NO₂ en la estación José Pardo con un valor de 34,1 µg/m³; mientras que el SO₂ en la estación Pacocha con un valor de 71,36 µg/m³; estas concentraciones no excedieron los ECA para aire respectivo.

En este trabajo se ha elaborado 24 mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ registrados por estaciones automáticas, que permitió identificar, e interpretación de manera sencilla las concentraciones de los contaminantes atmosféricos captados por las estaciones automáticas de Bolognesi, Pacocha y Jose Pardo identificando similitudes estacionales de concentraciones significativas en otoño y verano para el periodo 2021 y 2022.

Se halló para el monóxido de carbono una correlación directa intermedia en las tres estaciones de Ilo en el año 2022. Por el contrario, para el SO₂ y NO₂ se observó una alta variabilidad y nula correlación, superando el nivel de significancia de $\alpha=5\%=0,05$ en la presente tesis de investigación.

Se desarrolló la aplicación web como aporte a la gestión de la calidad de aire de la ciudad de Ilo que permitirá conocer la calidad de aire de la ciudad, lo que contribuye a enfocar esfuerzos para la mejora de la calidad de aire en la ciudad de Ilo.

RECOMENDACIONES

Desarrollar investigaciones similares, con periodos de tiempo más amplios y replicarlos en otras regiones.

Se sugiere a los investigadores capacitarse en la interpretación de lenguajes de programación R, JavaScript a consecuencia de los programas utilizados.

Para enriquecer el presente estudio se recomienda integrar factores meteorológicos, densidad vehicular, topografía para un análisis integrado de la calidad de aire.

Investigar o desarrollar modelos con la finalidad de transformar las unidades de las concentraciones de los satélites y poder comparar con las regulaciones de calidad de aire.

Así mismo hacer mención de comparar con otras plataformas como Copernicus, NASA Giovanni, USGS Earth Explorer, etc. de exportaciones de imágenes satelitales con las estaciones de tierra a fin de observar el mejor servidor de captación de gases atmosféricos.

Se recomienda al SENAMHI y al OEFA implementar el monitoreo de la calidad de aire con el satélite Sentinel 5P a nivel nacional y a la Municipalidad Distrital de Ilo utilizar la aplicación web desarrollada en el presente estudio para el monitoreo satelital de la calidad de aire.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (2022). Emisiones troposféricas: Monitorización de la Contaminación. *Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio*.
- Arboleda, Á. S., & Vásquez, J. D. (2021). *Evaluación de datos satelitales del sensor de calidad de aire Tropomi - Sentinel 5p para el Ecuador entre los años 2018 a 2020* [Trabajo de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]
- Arroyo, M., & Armando, R. (2020). Dioxido de Carbono, sus dos caras. *Red Sociedad Española de Química*.
- Atkins, P., & de Paula, J. (2006). *Atkins Química Física*. Médica Panamericana.
- Babak, O., & Deutsch, C. (1974). Statistical Approach to Inverse Distance Interpolation. *2009*, 23, 543-553.
- Bayona Carranza, M. A. (2022). *Modelamiento de la calidad de aire en la ciudad de Cajamarca con teledetección satelital -2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional ICN
- Bechle, M., Millet, D., & Marshall, J. (2013). Teledetección de la exposición al NO₂: medición satelital versus terrestre en una gran área urbana. *Ambiente atmosférico*.
- Belzunce, I. (2022). *Análisis comparativo de datos de gases atmosféricos medidos por estaciones de monitorización locales con los derivados de imágenes Sentinel-5P* [Tesis de pregrado, Universidad Publica de Navarra].
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- Campbell, J., & Wynne, R. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. New York: The Guilford Press.
- Castillo, R. (2012). Contaminación del aire en la ciudad de Ilo: crónica de la espiral histórica de un conflicto ambiental local. *PAIDEIA XXI*.
- Chapman, R., & Gasparovic, R. (2022). *Remote Sensing Physics: An Introduction to Observing Earth from Space*. Reino Unido: Wiley.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. España: Ariel Ciencias. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=aKsNXCVCtcQC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Comisión de Derechos Humanos del Estado de México. (2023). La Contaminación del

- Aire y sus repercusiones en la salud . *DH Magazine*.
- Constitución Política Del Perú [const.]. (1993). *titulo I, capitulo I, Articulo 2, insiso 22*. Perú: Diario ofial de Republica.
- Deninis, P. (2019). *Evaluacion e interpretacion de la dinamica del monoxido de carbono en el aire de Lima este 2019*. Perú.
- Direccion General de Salud Ambiental. (2005). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestion de los Datos*.
- Domínguez, M. (2015). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. *Produccion mas limpia*.
- Echeverri, C. (2019). *Contaminacion Atmosferica*. Ediciones de la U.
- Efremenko, D., & Kokhanovsky, A. (2021). *Foundations of Atmospheric Remote Sensing*. Alemania: Springer International Publishing.
- European Space Agency. (s.f.). Obtenido de <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions>
- Ferran, B. (2005). Contaminacion Atmosferica. *Revista España Salud Publica*.
- Fiallos, G. (2021). La correlación de Pearson y el proceso de regresión por el método de mínimos cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2491-2509. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Forero, D. (2019). *Metodología para la incorporación de datos del sensor tropomi del satélite sentinel 5-p al monitoreo de la calidad del aire en Bogotá D.C* [Trabajo de pregrado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas]. Repositorio Institucional.
- Fried, A., & Richter, D. (2006). *Infrared Absorption Spectroscopy* (Vol. Analytical Techniques for Atmospheric Measurement). (D. Heard, Ed.) India.
- Gonzales, S., De Lira, C., Rosalaura, V., & Canseco, J. (2022). Contaminación ambiental y alergia. *Revista alergia México*. doi:<https://doi.org/10.29262/ram.v69iSupl1.1010>
- Pérez, C., & Muñoz, Á. (2006). *Teledeteccion: Nociones y Aplicaciones*.
- Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial (2004). *Gestión de la Calidad del Aire Causas, Efectos y Soluciones*. Lima.
- Instituto Nacional de Ecología. (2006). *Manual 1 Principios de Medición de la Calidad del Aire*. Mexico: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático .
- Instituto Nacional de Ecologia. (2010). *manual 2. Sistema de Medición de la Calidad del Aire*. Mexico: INE.
- Instituto Nacional de Ecología. (2010). *Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes*. Mexico.
- Kogut, P. (09 de Noviembre de 2021). *Teledetección Satelital: Tipos, Usos Y*

- Aplicaciones.* Obtenido de EOS Data Analytics:
<https://eos.com/es/blog/teledeteccion/>
- Krueger, A. (2014). Ultraviolet Remote Sensing. En E. G. Njoku, *Encyclopedia of Remote Sensing*.
- Lagzi, I., Meszaros, R., Gelybo, G., & Leelossy, A. (2013). *Atmospheric Chemistry*. Eotvos Lorand University: Budapest, Hungary.
- Ley General del Ambiente 28611. (2005). *Título preliminar derechos y principios*. Perú: Ministerio del Ambiente.
- Lopez, M. F. (2016). *The Mexican Water Forest: benefits of using remote sensing techniques to assess changes in land use and land cover* [Tesis de maestría, Universidad de San Francisco]. Repositorio Institucional de la Universidad de San Francisco. <https://repository.usfca.edu/capstone/371>
- Mármol, A. (2022). *Estudio de los principales gases de efecto invernadero y la correlación con indicadores de actividad económica utilizando Sentinel-5P* [Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2117/379970>
- Martínez, S. (2023). Contaminación atmosférica. Obtenido de <https://www.agro.uba.ar/users/semmarti/Atmosfera/contatmosf.pdf>
- Mayorga, J. (2018). *El estado de la calidad del Aire*. Mexico: Greenpeace.
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Armonización de redes de monitoreo de calidad de aire*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Aire limpio para todos*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N°003-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementaria*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Decreto Supremo N°010-2019-MINAM - Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental de Aire*. Lima.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente 2021*. Chile: Ministerio del Medio Ambiente. Obtenido de <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/REMA2021.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/eval.html>
- Municipalidad Provincial de Ilo. (2021). *Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Ilo 2020-2030*.
- Nisperuza, D., Vásquez, L., Morales, S., & Puerta, L. (2020). *Gestión del riesgo y medio ambiente*. (A. F. Montoya Rendón, & D. E. Soto Durán, Edits.) Medellín,

- Colombia: Sello Editorial Tecnológico de Antioquia.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Instrumentos Basicos para la fiscalización Ambiental*. Perú: Ministerio del Ambiente.
- Oxford University. (2004). *Diccionario de Ciencias*. Complutense.
- Oyague, E., Yaja, A., & Franco, P. (2020). Efectos ambientales del confinamiento debido a la pandemia de COVID-19: evaluación conceptual y análisis de datos empíricos en Tacna, marzo–abril 2020. *Ciencia & Desarrollo*, (26), 2–19. <https://doi.org/10.33326/26176033.2020.26.901>
- Pacheco, A. F. (2022). *Determinación de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) del volcán Guallatiri, región de Arica y Parinacota, Chile*. Concepción.
- Padrón, C., & Cabrera, C. (2022). *Análisis de comparación de contaminantes atmosféricos: CO, SO₂, NO₂, O₃, CH₂O entre Sentinel 5P y productos satelitales de OMI, MERRA-2 y AIRS en Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional.
- Pando, D. (2019). *Evaluación e interpretación de la dinámica del monóxido de carbono en el aire de Lima Este 2019*. Lima: Universidad Continental.
- Pérez, J., Javier, M., & Navarro, R. (2022). *Google Earth Engine aplicado a ciencias forestales*. (R. Navarro, F. Mesas, Ó. Pérez, F. Ruiz, G. Palacios, P. González, & V. Rodríguez, Edits.) España.
- Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Cáceres: Universidad de Extremadura.
- Represa, N. (2020). *Elaboración e implementación de una propuesta metodológica para la evaluación y gestión de la calidad del aire mediante el enfoque de la ciencia de datos* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València] Repositorio Institucional UPV. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/144645>
- Romero, F. (2005). *La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental*. España: Ingeniería Industrial.
- Romero, F. (2006). *La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental*. Fundación Dialnet.
- Romero, M., Olite, F., & Alvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana Hig Epidemiol* 2006.
- Royal Belgian Institute for Space Aeronomy. (s.f.). *DOAS method used for measurement of atmospheric gases*. Obtenido de <https://www.aeronomie.be/en/encyclopedia/doas-method-used-measurement-atmospheric-gases>
- Sabins, F. F., & Ellis, J. M. (2020). *Remote Sensing Principles, Interpretation, and Applications, Fourth Edition*. Waveland Press.

- Salazar, D. (2018). *Análisis del comportamiento del Bióxido de Azufre (SO₂) y su relación con la temperatura: Caso Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) 2011-2016*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma del estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/49320>
- SENAMHI. (2023). *Vigilancia de la calidad del aire área metropolitana de Lima y Callao (Setiembre 2023)*. Lima.
- Simonds, M., Xiao, H., & Levine, S. P. (1994). *Optical remote sensing for air pollutants-review*. American Industrial Hygiene Association Journal.
- Sobrino, J. A. (Ed.). (2001). *Teledetección*. Universidad de València Servicio de Publicaciones.
- Sociedad Americana de Ciencias Ambientales. (2023). Informe sobre el estado de los ecosistemas marinos. *Sociedad Americana de Ciencias Ambientales*. Obtenido de URL: https://www.saca-seem.org/wp-content/uploads/2023/05/DOC_SACA-SEEM281123.pdf
- 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* [Trabajo de Investigación de maestría, Escuela de Posgrado Newman] Repositorio Escuela de Posgrado Newman. <https://hdl.handle.net/20.500.12892/716>
- Solórzano Villegas, J. V., & Perilla Suárez, G. A. (2022). *Cómo usar Google Earth Engine y no fallar en el intento*.
- Soria del Castillo, B. (2011). *Diccionario Municipal Peruano*. Lima: Ediciones Nova Print S.A.C.
- Sousa, V., Driessnack, M., & Cosa, I. (2007). Revisión de diseño de investigación resaltantes para la enfermería. Parte 1: Diseños de investigación cuantitativa. *Revista Latinoamericana de Enfermería*, 3.
- Taboada, A. A. (2022). *Herramienta informática para el acceso a la información ambiental en el ecosistema del lago Chinchaycocha-Junín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]
- The Lancet Regional Health - Américas. (2023). El informe Sudamérica 2022 de The Lancet Countdown sobre salud y cambio climático: confíe en la ciencia. Ahora que lo sabemos, debemos actuar. *The Lancet Regional Health - Américas*, 20. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667193X23000443>
- Torres, A. (23 de Enero de 2017). *Las TIC como herramienta para reducir la contaminación del aire en ciudades*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/las-tic-como-herramienta-para-reducir-la-del-aire->

en-ciudades-torres

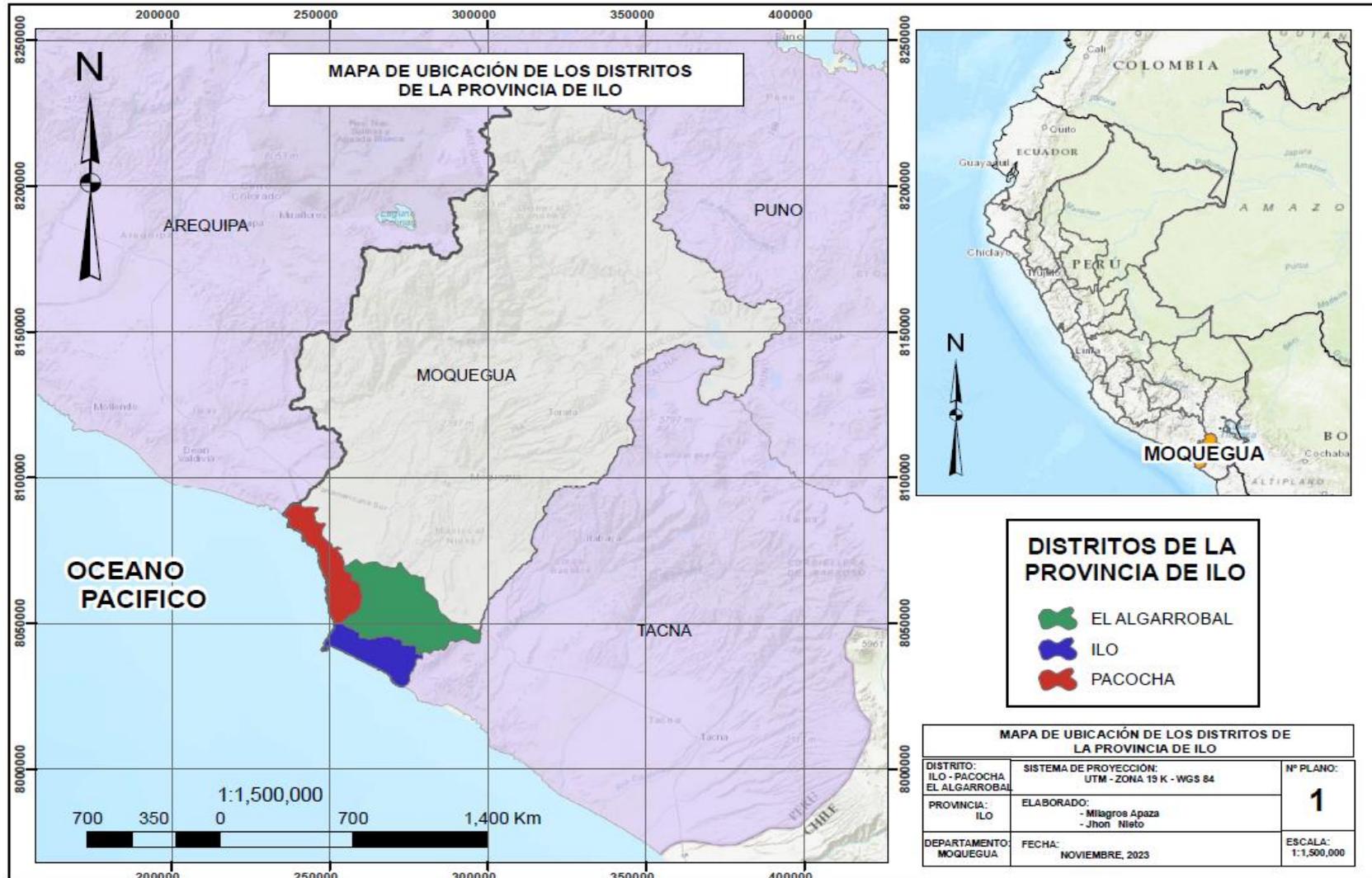
- Tyler, N., & Acevedo, J. (2013). *Marco teórico de la Contaminación Atmosférica en Colombia*. Colombia: Universidad de Londres , Universidad de Los Andes.
- Universidad de Murcia. (s.f.). Obtenido de <https://www.um.es/geograf/clima/tema03.pdf>
- Utreras, F. (27 de Junio de 2019). *Copernicus: Datos Abiertos y Gratuitos*. Obtenido de Workshop Información y Normas SNIT – IDE Chile 2019: https://www.ide.cl/descargas/Workshop_2019/Presentaciones/10.CopernicusDatosAbiertosyGratuitos-Florencio-Utreras.pdf
- Valeriano, J. (2021). *Relación de las variables meteorológicas en la dispersión espacio temporal de los contaminantes atmosféricos (PM2.5, PM10, SO2, NO2, O3) del distrito de Pacocha, Moquegua, 2019 - 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11366>
- Vargas, A., & Venegas, P. D. (2023). *Study of carbon monoxide levels in the most traveled streets of Metropolitan Lima* [Tesis de pregrado, Universidad de Lima]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/19274>
- Yerrén, J. E., Lau, J. F., Bejarano, S. D., & Huamani, E. (2022). *Estandarización para el registro de la metadata*. Lima.

ANEXOS

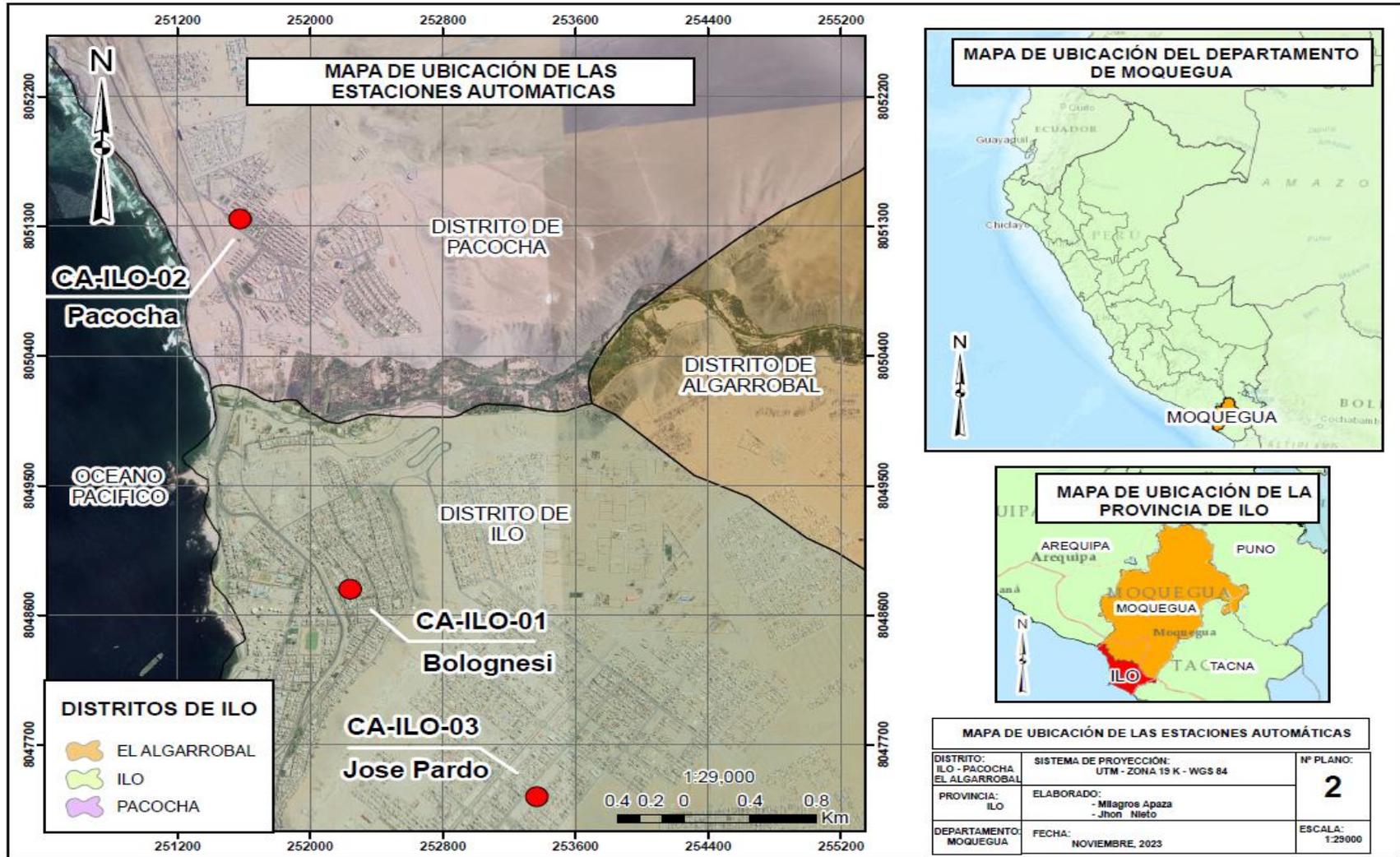
Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿Cuáles fueron los niveles de CO, NO₂ y SO₂ empleando imágenes satelitales Sentinel 5P y de estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 20222</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 2022</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Es posible evaluar la calidad del aire utilizando teledetección y estaciones automáticas en la ciudad de Ilo durante los años 2021 – 2022</p>			<p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> investigación básica <p>Nivel de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> Descriptivo
<p>Problemas específicos</p> <p>a. ¿Cómo es el comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P?</p> <p>b. ¿Cuál es la variación de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas?</p> <p>c. ¿Podrán los mapas estacionales demostrar la distribución espacial en función de las estaciones del año, en base a las concentraciones de CO, NO₂ y SO₂ registradas por estaciones automáticas?</p> <p>d. ¿Existirá correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas?</p> <p>e. ¿El desarrollo de la aplicación web proporciona información para la gestión de la calidad de aire?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Analizar el comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P</p> <p>b. Analizar la variación de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas</p> <p>c. Elaborar mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas</p> <p>d. Determinar la correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas</p> <p>e. Desarrollar una aplicación web para la gestión de la calidad de aire</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a. El análisis del comportamiento de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ medidos por el satélite Sentinel 5P permite conocer su distribución espacial y tendencias</p> <p>b. El análisis de la variación de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas permite conocer si exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire</p> <p>c. Los mapas estacionales pueden mostrar variaciones en la distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas</p> <p>d. Existe correlación entre los datos registrados por satélite Sentinel 5P y los de estaciones automáticas</p> <p>e. La aplicación web desarrollada proporciona información para la gestión de la calidad de aire</p>	<p>CO, NO₂, SO₂ registrado por el satélite</p> <p>CO, NO₂, SO₂ registrado por la estación</p>	<p>CO μmol/m²</p> <p>NO₂ μmol/m²</p> <p>SO₂ μmol/m²</p> <p>CO μg/m³</p> <p>NO₂ μg/ m³</p> <p>SO₂μg/ m³</p>	<p>Diseño de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> No experimental

Anexo 2. Plano de Ubicación de los Distritos de Moquegua



Anexo 3. Mapa de Ubicación de las estaciones de Ilo



Anexo 4. Fichas de registro de las concentraciones de contaminantes de las estaciones automáticas de OEFA

		Tabla 3.7. Concentraciones horarias de CO																															
TÍTULO DEL ESTUDIO:		Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en la I.E. Francisco Bolognesi, distrito Ilo, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022																															
ESTACIÓN DE MONITOREO:		CA-ILO-01															CÓDIGO DE ACCIÓN:																
DATOS DEL EQUIPO																																	
EQUIPO:		Analizador monóxido de carbono															MARCA:		THERMO SCIENTIFIC														
MODELO:		48i															SERIE:		1193085183														
Horas/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
00:00	397.0	271.8	261.0	263.7	325.0	253.3	245.8	268.3	281.1	276.3	274.4	247.6	265.6	254.0	261.0	275.7	279.2	270.0	261.1	249.6	258.2	253.6	256.9	302.1	247.3	244.9	204.0	214.1	298.1	249.6	253.9		
01:00	419.6	283.3	261.8	268.3	269.8	259.8	244.4	272.5	285.1	271.7	280.6	262.0	260.2	260.4	277.2	271.3	277.8	274.7	266.3	254.3	270.6	257.5	253.2	292.3	247.4	241.2	228.2	210.6	280.2	254.1	258.8		
02:00	494.8	305.6	288.5	253.1	238.4	259.1	238.1	262.1	278.9	267.1	257.6	253.4	250.4	267.4	275.9	278.8	284.5	255.6	265.2	255.2	271.1	267.3	258.7	267.2	243.3	240.8	220.0	233.2	275.1	253.5	269.2		
03:00	415.6	296.2	277.5	260.8	239.6	251.9	240.8	260.8	265.8	266.7	255.4	254.7	256.0	263.9	288.2	272.6	279.2	246.0	259.0	253.9	277.6	268.4	257.5	272.9	248.5	238.5	244.2	229.5	268.9	229.3	284.6		
04:00	427.0	287.6	286.6	263.1	255.6	242.9	262.8	256.4	281.9	264.6	258.0	249.5	252.0	273.3	284.8	273.3	264.3	252.2	254.8	244.2	267.4	266.7	258.0	297.8	246.2	248.9	262.8	230.2	296.0	246.4	280.6		
05:00	427.1	276.0	290.6	291.9	320.2	264.8	284.0	275.8	342.4	284.9	279.5	258.2	260.4	270.9	294.1	277.9	273.0	262.9	258.0	246.4	277.5	270.4	268.0	330.6	248.6	290.3	274.4	227.1	292.1	233.1	273.2		
06:00	317.9	281.1	292.8	308.1	285.5	269.9	275.5	301.5	377.3	312.1	323.9	269.2	263.0	281.9	292.3	284.6	322.6	276.8	273.7	259.9	285.0	273.5	285.4	357.0	263.8	340.5	281.1	257.6	334.1	235.8	325.7		
07:00	277.8	304.4	297.3	277.2	255.6	261.2	299.3	311.5	312.6	296.0	281.9	280.8	268.2	305.1	333.9	277.8	330.5	267.9	267.3	270.6	275.1	270.7	283.2	343.3	265.6	341.6	248.9	276.1	320.3	251.3	311.4		
08:00	266.1	259.7	294.9	273.7	261.9	250.7	266.0	262.3	306.3	275.7	265.3	272.9	263.4	346.6	298.4	278.0	285.7	262.1	268.9	258.8	326.6	299.9	264.4	304.1	294.4	281.6	227.6	295.7	256.9	243.3	274.5		
09:00	264.1	264.5	285.4	262.6	262.8	239.3	252.9	263.4	272.9	272.8	253.4	256.4	260.1	307.8	293.3	265.4	277.7	263.3	268.9	254.4	289.8	295.2	264.3	280.4	258.1	275.1	214.6	267.1	231.3	249.4	266.9		
10:00	254.3	264.7	267.3	244.3	248.0	242.8	251.7	269.4	268.8	ID	257.6	258.5	262.1	307.4	267.3	263.9	276.1	261.7	273.9	255.9	292.2	270.9	261.2	274.3	248.8	266.3	218.0	233.3	234.1	243.4	248.8		
11:00	254.5	263.3	268.8	236.2	249.4	247.3	257.7	259.0	263.7	239.8	259.9	258.9	267.1	297.7	266.9	261.0	275.4	264.8	273.9	256.6	269.7	264.5	261.7	275.7	248.8	263.3	219.7	227.7	223.9	236.9	242.0		
12:00	261.3	264.9	272.5	238.9	243.5	244.4	260.6	259.3	263.1	233.2	253.2	260.3	266.0	280.5	269.3	270.0	281.0	267.5	270.7	256.0	323.9	267.7	267.9	276.3	249.8	253.1	213.6	232.1	225.3	237.1	244.1		
13:00	260.6	266.5	279.1	234.6	247.7	245.1	251.9	253.4	256.3	229.8	250.3	260.2	269.3	266.8	255.3	251.8	269.4	271.1	243.4	256.8	269.5	262.6	267.5	278.0	247.7	ID	215.5	222.7	227.3	232.0	218.4		
14:00	263.6	269.9	279.9	228.9	245.2	244.6	244.9	257.5	248.4	229.8	257.8	256.5	259.6	259.3	251.0	246.2	252.9	262.1	239.2	252.3	263.8	263.8	269.0	266.7	247.7	209.5	217.8	218.4	218.8	227.0	203.3		
15:00	260.3	273.1	276.6	265.2	251.7	250.3	253.9	257.4	249.2	240.7	261.8	262.0	260.5	255.1	256.8	247.2	257.9	268.0	241.3	257.1	267.0	267.2	270.9	229.1	235.4	197.3	223.8	224.2	215.7	225.9	210.0		
16:00	262.0	276.1	254.5	249.2	252.2	252.7	254.7	274.3	255.2	245.4	266.7	268.5	260.8	261.9	268.3	255.3	262.4	269.6	248.3	268.6	270.5	263.7	272.1	241.2	237.8	197.6	214.6	231.0	224.7	220.4	216.8		
17:00	262.4	269.3	256.6	259.4	251.0	256.0	262.9	279.6	264.7	252.0	273.5	269.8	279.7	308.3	277.3	264.5	265.3	274.1	256.2	273.5	272.9	273.6	272.7	244.9	228.4	199.6	221.0	231.8	233.0	232.5	227.6		
18:00	278.9	275.9	277.0	271.3	266.9	267.3	266.3	266.0	267.5	269.0	263.2	280.7	321.3	337.0	299.9	282.3	280.8	280.8	262.8	281.9	283.0	284.3	277.4	260.2	242.4	210.4	227.5	267.9	255.5	251.9	236.0		
19:00	294.6	294.8	280.3	291.1	280.4	278.4	270.4	287.0	281.0	280.1	280.4	281.8	284.9	345.2	312.7	276.0	282.9	286.2	278.6	280.2	286.7	299.5	288.2	263.6	258.2	228.4	241.7	252.3	262.6	278.0	249.5		
20:00	300.6	298.3	286.7	296.2	278.1	288.7	272.9	287.8	280.3	274.5	277.6	297.2	286.9	335.5	317.5	284.1	276.8	283.6	274.2	279.0	288.3	285.3	291.0	257.7	260.6	217.6	243.1	247.2	280.9	266.1	275.5		
21:00	303.4	305.8	296.9	288.4	284.1	271.6	269.5	309.8	273.0	268.6	275.7	283.1	273.7	275.5	333.3	287.3	268.2	280.0	274.0	274.9	284.1	279.2	299.9	264.5	262.2	222.3	232.9	258.2	263.9	261.5	269.6		
22:00	273.9	278.8	286.0	291.7	289.0	259.1	261.9	299.8	260.5	262.6	267.9	263.5	267.6	274.8	298.9	288.9	263.0	272.7	264.8	264.8	279.7	274.3	282.1	253.7	260.4	213.8	233.8	265.2	253.4	252.1	252.8		
23:00	273.2	275.8	277.3	301.4	285.0	255.8	254.2	290.0	259.4	259.9	246.6	247.6	259.4	271.7	281.7	290.0	271.8	261.3	258.5	262.7	267.5	262.7	264.1	246.3	253.4	209.6	208.1	262.2	247.7	240.7	261.0		
ECA aire de CO	30000 µg/m ³ en periodo de 1 hora																																

Oefa		Tabla 3.17. Concentraciones horarias de CO																													
Organismo de Planeación y Presupuestos Ambientales																															
TÍTULO DEL ESTUDIO:		Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en la Municipalidad de Pacochal, distrito Pacocha, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022																													
ESTACIÓN DE MONITOREO:		CA-ILO-02															CÓDIGO DE ACCIÓN:														
DATOS DEL EQUIPO																															
EQUIPO:		Analizador monóxido de carbono															MARCA: THERMO SCIENTIFIC														
MODELO:		48i															SERIE: 1193085161														
Hora/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	298.2	277.4	284.0	277.5	304.3	223.3	226.2	249.5	252.8	257.3	223.8	222.7	237.5	234.5	207.5	ID	ID	ID	213.6	226.3	231.9	229.4	238.4	233.7	224.5	210.1	220.5	246.6	282.0	317.5	274.4
01:00	288.5	266.9	269.5	277.8	296.4	214.4	220.8	238.6	254.8	257.4	220.2	223.3	232.0	235.2	203.1	ID	ID	ID	212.5	225.5	230.7	226.0	241.0	242.7	223.4	220.3	224.1	248.8	251.9	251.9	256.3
02:00	313.7	256.7	266.5	276.2	308.5	213.4	232.0	242.6	264.8	258.2	217.1	221.4	222.7	232.8	195.2	ID	ID	ID	219.4	225.3	235.9	224.6	238.8	232.8	223.7	226.8	213.4	235.2	252.9	253.7	253.7
03:00	305.4	251.7	267.0	277.9	294.8	209.7	237.7	240.4	253.6	256.4	217.0	222.3	217.0	236.2	201.7	ID	ID	ID	211.1	225.8	239.9	222.4	233.7	253.1	224.1	218.3	213.4	235.3	242.9	252.0	251.3
04:00	283.2	254.6	264.9	281.4	276.0	210.9	233.7	243.7	267.3	258.1	222.4	220.6	220.3	240.5	205.5	ID	ID	ID	205.1	226.5	241.8	231.3	238.0	227.4	232.5	227.8	211.6	237.0	275.8	257.7	257.8
05:00	267.3	256.4	267.8	314.8	260.8	213.5	249.6	264.8	267.5	271.1	234.0	229.5	228.2	239.6	216.3	ID	ID	ID	207.9	234.2	258.1	233.9	246.2	243.6	230.9	278.1	221.9	272.0	222.7	263.7	256.5
06:00	260.4	260.8	298.7	337.8	325.4	232.6	250.4	336.5	277.0	268.9	242.4	258.4	250.0	255.7	267.8	ID	ID	ID	219.1	244.5	265.3	254.6	266.1	262.0	254.4	240.2	252.8	260.6	268.0	242.6	328.2
07:00	258.0	278.5	276.5	303.8	311.4	249.6	248.2	289.4	326.7	310.1	228.5	229.2	258.8	351.7	227.7	ID	ID	ID	228.4	266.0	300.4	248.7	246.4	273.7	274.9	266.1	246.7	262.3	370.3	253.0	298.6
08:00	248.8	243.3	269.0	279.6	267.7	218.7	238.2	252.4	282.2	284.7	209.7	222.4	240.9	309.2	209.8	ID	ID	ID	235.4	244.2	289.2	244.9	222.4	227.1	258.4	227.9	232.2	249.2	310.9	260.1	267.9
09:00	245.1	244.5	258.1	269.4	273.8	210.5	221.1	238.2	244.5	259.2	200.9	216.4	240.0	243.4	200.2	ID	ID	ID	216.2	246.9	258.3	252.4	216.3	226.0	235.1	219.4	229.4	248.9	297.5	248.0	263.7
10:00	230.2	244.1	256.4	270.8	265.6	213.8	217.3	227.1	235.1	257.2	207.5	216.7	231.5	250.0	199.3	ID	ID	ID	210.7	241.1	244.3	241.4	213.5	226.3	222.6	218.7	218.1	247.2	277.2	259.4	255.7
11:00	240.4	247.4	257.5	274.8	277.1	215.7	214.1	225.8	248.0	254.8	211.2	216.6	232.6	241.7	ID	ID	ID	260.4	234.1	234.9	228.8	208.2	214.7	216.5	209.2	212.0	237.0	271.2	267.3	250.1	
12:00	230.1	249.4	257.7	273.4	196.2	221.3	220.5	227.4	251.0	255.6	210.7	221.4	217.0	236.1	ID	ID	ID	233.8	237.4	226.7	221.5	208.1	212.4	219.1	204.4	218.5	224.2	264.6	256.9	256.2	
13:00	232.9	249.6	266.5	259.4	195.4	223.3	222.9	249.5	241.9	257.4	203.6	224.2	221.2	225.6	ID	ID	ID	235.3	238.9	225.7	218.8	201.8	216.7	218.8	202.7	217.2	226.4	259.1	254.3	256.0	
14:00	238.7	248.5	275.2	264.1	199.6	217.4	221.4	239.7	243.0	265.7	212.8	228.3	231.0	221.5	ID	ID	ID	231.1	228.6	226.4	214.3	211.5	218.1	204.9	205.7	219.6	231.2	249.6	249.8	251.5	
15:00	243.4	254.6	282.9	270.4	215.6	233.0	247.3	257.4	248.3	ID	221.4	237.5	229.6	222.5	ID	ID	ID	228.3	227.4	237.9	220.6	215.3	219.6	219.8	205.0	217.3	235.8	249.3	252.0	251.1	
16:00	250.9	258.5	273.1	264.1	205.5	228.7	246.4	283.2	252.2	201.5	228.1	250.2	239.7	227.6	ID	ID	ID	257.6	246.4	240.1	216.5	216.3	228.5	220.8	212.4	221.1	244.9	252.4	249.0	243.1	
17:00	255.4	256.4	295.0	281.7	219.6	240.7	249.9	271.0	257.3	210.0	228.2	259.0	242.1	269.2	ID	ID	ID	247.9	256.7	257.3	251.4	224.1	232.8	225.6	227.7	237.7	244.5	273.5	252.3	200.7	
18:00	269.5	273.3	312.6	302.5	244.7	269.2	257.6	298.8	274.4	209.5	231.3	262.4	244.4	339.4	ID	ID	ID	246.9	264.8	263.8	266.4	239.9	248.9	237.1	231.6	244.7	268.9	267.4	270.4	216.4	
19:00	264.0	266.7	322.6	294.0	258.0	259.3	266.5	297.1	293.0	219.3	249.4	268.9	259.3	274.3	ID	ID	ID	239.1	272.3	261.0	312.6	249.5	252.5	241.0	242.1	256.0	275.7	288.0	299.2	231.3	
20:00	303.5	288.8	321.9	286.9	256.7	267.0	277.9	307.7	282.6	228.2	235.0	265.4	267.9	246.5	ID	ID	ID	234.3	260.8	266.6	264.1	250.9	254.7	242.2	237.6	262.3	268.7	312.5	280.3	249.5	
21:00	312.6	286.1	319.7	293.6	241.1	264.7	258.0	280.4	266.7	234.4	229.0	262.1	252.9	232.2	ID	ID	ID	231.9	240.2	251.3	277.1	245.2	254.5	240.6	236.4	249.8	264.6	301.7	278.1	227.2	
22:00	291.5	278.9	290.9	344.7	234.2	233.4	250.2	267.1	256.5	219.8	218.8	258.0	247.0	236.7	ID	ID	ID	237.1	251.2	245.2	274.2	245.7	250.6	221.4	230.1	250.0	264.8	286.2	284.9	217.2	
23:00	282.0	282.2	279.4	326.3	243.3	239.5	247.6	286.9	253.0	221.4	228.2	229.0	240.2	224.4	ID	ID	ID	246.0	243.0	234.9	259.4	248.6	231.5	232.0	218.0	245.5	276.1	288.4	283.1	211.6	
ECA aire de CO	30000 µg/m ³ en periodo de 1 hora																														

ID: Insuficiencia de datos

Tabla 3.26. Concentraciones horarias de CO

TÍTULO DEL ESTUDIO: Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en el CEBA Jose Pardo, distrito Ilo, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022

ESTACIÓN DE MONITOREO: CA-ILO-03

CÓDIGO DE ACCIÓN:

DATOS DEL EQUIPO

EQUIPO: Analizador monóxido de carbono

MARCA:

THERMO SCIENTIFIC

MODELO: 48i

SERIE:

1193085162

Horas/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	464.6	362.7	354.1	339.1	400.3	334.5	348.6	352.3	342.9	324.9	372.9	314.7	335.7	337.4	311.3	313.7	342.8	339.1	329.3	308.5	343.4	320.3	283.4	322.9	309.4	312.1	261.3	257.5	287.3	303.3	305.9
01:00	405.7	374.3	343.5	339.5	338.9	345.0	348.5	372.6	368.9	343.8	385.8	335.0	337.7	338.4	311.3	318.9	345.6	325.6	327.8	312.1	332.6	321.0	281.6	305.9	302.8	305.9	263.9	253.3	304.3	320.7	292.8
02:00	657.8	355.2	340.0	329.6	321.7	341.7	339.0	373.7	391.4	340.8	381.9	324.5	331.0	361.1	322.1	311.5	337.8	321.9	327.9	311.1	329.3	324.9	282.4	299.9	301.8	299.5	292.5	264.3	305.6	281.8	301.2
03:00	630.2	380.3	340.9	327.0	324.6	343.0	339.5	372.3	352.0	352.0	371.9	330.4	332.9	358.7	404.6	315.9	310.3	319.6	323.7	312.0	339.4	328.5	282.0	306.1	296.6	311.9	327.8	271.8	337.8	274.6	315.5
04:00	487.3	405.4	342.0	328.8	328.9	328.0	368.3	368.0	369.1	359.4	410.9	328.1	337.9	356.5	355.5	318.7	307.7	321.1	325.5	306.7	347.7	322.2	280.1	303.9	306.3	307.9	330.4	281.1	335.3	311.5	349.1
05:00	526.3	369.9	406.7	402.6	400.8	330.0	390.1	404.2	430.2	386.6	456.9	350.8	351.1	384.9	385.9	334.3	331.1	338.3	333.0	310.7	337.9	326.7	288.0	332.0	316.8	318.4	345.3	306.6	416.9	383.2	396.7
06:00	431.4	375.4	441.6	409.9	381.7	369.3	375.1	454.5	400.2	398.9	412.6	354.2	351.4	475.5	415.5	331.3	405.8	347.6	347.8	320.1	340.9	341.5	302.5	482.8	329.0	385.4	321.1	334.6	459.2	303.5	348.4
07:00	340.2	354.1	414.0	343.5	328.0	340.4	367.7	496.4	358.8	378.3	375.2	367.0	352.5	490.9	329.3	320.7	344.7	330.4	348.8	320.0	336.7	334.9	300.4	332.9	335.2	416.6	289.5	360.7	313.1	316.0	318.9
08:00	336.9	340.5	355.5	322.7	325.1	335.9	358.3	469.2	341.6	348.3	338.2	349.0	349.3	478.5	307.3	318.6	317.7	336.6	332.1	315.5	349.6	341.5	287.7	311.2	344.7	453.7	278.3	347.9	396.2	293.7	307.4
09:00	321.2	328.4	334.9	313.8	316.2	326.5	343.5	395.4	329.7	333.8	330.4	331.8	344.0	450.5	292.5	291.6	313.9	316.5	326.1	315.3	341.4	352.9	285.2	294.6	332.2	380.0	278.1	284.8	302.4	287.9	295.9
10:00	311.3	324.3	328.3	300.5	305.6	313.8	321.9	341.9	323.6	324.5	329.3	320.4	333.3	383.5	272.9	287.0	302.9	308.5	317.6	304.8	324.4	334.5	268.6	285.8	313.5	356.5	264.7	321.5	260.7	267.8	231.9
11:00	316.4	319.8	322.1	292.3	306.3	306.5	318.6	329.5	308.4	324.1	327.3	313.8	331.2	364.2	273.8	273.1	299.8	308.5	318.1	302.5	321.1	320.5	272.1	280.8	300.4	315.2	251.2	286.9	257.5	255.5	222.6
12:00	314.7	318.0	328.2	288.9	295.4	318.8	324.0	273.0	301.3	318.9	327.5	320.3	326.9	390.4	284.2	262.6	300.5	308.2	312.5	301.4	312.4	316.4	270.1	278.0	288.2	294.2	252.0	246.6	252.7	250.8	222.4
13:00	303.7	311.2	334.6	281.2	293.8	314.9	314.7	277.9	295.8	321.1	318.2	322.4	320.9	375.0	248.1	250.7	298.7	303.4	304.3	297.1	299.3	303.2	267.0	285.9	295.5	278.0	239.0	244.5	245.4	246.4	230.5
14:00	304.2	315.6	300.0	277.0	278.2	312.1	318.4	281.9	291.9	320.1	301.6	319.0	317.0	280.9	240.5	242.0	289.9	299.6	309.4	284.1	289.6	241.2	272.4	286.0	284.0	278.7	240.8	236.2	234.4	237.1	231.3
15:00	314.4	324.1	303.0	286.7	266.4	320.2	327.3	297.6	294.3	332.3	280.1	334.4	317.6	279.9	242.5	233.7	291.3	306.8	268.0	289.1	298.3	243.9	272.3	274.9	282.7	278.5	242.1	243.5	234.3	235.7	234.2
16:00	315.3	322.1	308.6	306.4	281.0	324.6	352.2	311.5	308.8	328.9	281.4	335.3	327.9	312.6	271.6	253.9	304.7	314.3	284.8	310.2	316.3	254.0	298.1	289.2	287.5	276.3	240.4	257.5	246.0	236.4	241.2
17:00	327.1	335.3	334.0	326.1	299.2	341.2	357.2	332.5	327.2	335.5	309.9	347.2	328.2	381.7	299.2	272.1	317.3	322.8	308.3	337.2	330.3	287.2	302.4	300.8	297.2	274.8	260.5	266.1	268.5	256.2	259.8
18:00	353.8	349.1	354.7	342.5	323.9	354.3	352.9	348.4	325.4	352.0	321.4	368.0	359.6	354.4	330.2	317.7	347.8	349.4	311.7	339.5	346.0	ID	319.4	337.0	310.3	260.9	275.0	289.0	284.7	288.2	274.2
19:00	388.0	405.0	402.5	367.3	360.4	360.7	356.5	401.3	343.2	362.6	330.3	405.9	407.4	369.8	357.2	340.9	349.9	381.1	347.7	375.4	368.6	330.4	335.7	354.6	346.4	280.4	308.7	326.3	355.2	319.8	318.4
20:00	383.4	408.3	409.9	427.8	360.2	365.4	365.9	374.0	340.9	393.8	328.3	390.2	391.9	323.9	353.3	322.9	330.5	364.8	359.2	356.7	365.0	314.9	322.6	339.3	349.1	270.9	310.0	319.4	340.8	301.2	320.0
21:00	387.2	389.4	389.5	373.0	353.2	356.0	357.9	371.2	340.9	360.2	331.8	372.4	370.7	334.8	381.7	309.2	327.5	345.9	344.5	351.7	349.8	309.5	323.5	329.2	339.2	290.5	290.1	305.8	331.4	290.6	302.1
22:00	362.3	446.5	359.1	388.1	354.6	381.4	361.2	356.2	328.8	354.6	340.9	361.7	373.2	327.5	334.4	317.6	328.9	366.5	336.4	348.9	341.3	300.0	318.7	322.6	330.6	269.5	277.5	298.8	300.9	278.9	345.9
23:00	498.0	367.3	352.0	410.1	354.5	354.2	350.6	352.2	330.6	561.4	448.1	356.0	454.5	410.5	315.4	344.2	367.3	344.5	357.7	338.7	333.6	283.8	316.2	314.1	319.0	264.2	257.8	329.0	310.7	277.3	292.1

ECA aire de CO 30000 µg/m³ en periodo de 1 hora

ID: Insuficiencia de datos

Tabla 3.3. Concentraciones horarias de SO₂

TÍTULO DEL ESTUDIO: Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en la I.E. Francisco Bolognesi, distrito Ilo, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022

ESTACIÓN DE MONITOREO: CA-ILO-01

CÓDIGO DE ACCIÓN:

DATOS DEL EQUIPO

EQUIPO: Analizador de dióxido de azufre

MARCA: THERMO SCIENTIFIC

MODELO: 43i

SERIE: 1200416204

Horas/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
00:00	39.0	44.7	15.3	16.5	21.9	34.1	15.5	27.6	37.2	59.0	68.2	20.6	48.4	16.1	16.0	15.9	20.2	19.9	15.9	16.6	16.9	15.8	15.9	21.3	40.2	16.0	16.1	17.1	43.6	16.8	72.4	
01:00	31.8	215.3	15.3	20.8	19.2	38.5	15.5	128.0	86.3	381.3	34.4	24.0	84.4	20.2	36.5	16.5	40.6	21.9	28.9	21.8	20.8	18.8	15.8	38.4	18.6	16.1	173.9	17.3	56.9	18.1	113.1	
02:00	30.2	323.7	50.4	18.5	15.6	43.9	15.4	41.0	162.0	126.2	19.1	19.1	17.7	24.2	82.8	24.5	33.3	22.5	98.2	22.1	21.0	20.1	15.8	16.9	17.0	16.0	112.1	29.6	87.0	22.5	96.1	
03:00	22.7	205.5	48.7	21.2	15.4	24.9	16.1	44.0	95.8	59.8	19.3	18.8	16.0	45.5	100.5	22.5	28.6	16.8	25.6	19.0	19.9	18.5	15.9	16.5	16.5	16.1	60.7	40.9	152.9	42.5	74.1	
04:00	21.5	135.0	41.0	44.2	15.5	16.6	38.8	63.0	49.3	25.2	20.1	17.3	15.8	60.7	114.6	24.6	16.5	17.1	16.2	16.4	17.0	16.4	15.9	28.5	16.1	16.4	16.7	56.9	39.4	58.0	41.7	43.3
05:00	29.5	64.1	135.6	34.5	23.2	33.3	28.0	50.7	74.3	25.6	17.6	22.0	15.8	64.4	50.3	18.7	44.4	17.7	15.9	16.1	18.9	16.4	16.1	19.7	16.3	32.4	57.4	51.0	85.8	18.8	41.2	
06:00	31.5	29.1	140.9	75.1	16.1	48.9	42.0	55.4	133.2	20.7	19.4	18.4	15.8	28.9	50.9	16.3	138.3	16.8	16.0	16.1	17.5	16.0	17.5	25.4	15.9	50.1	44.9	95.3	54.7	17.2	43.8	
07:00	28.9	56.9	60.0	24.6	15.8	17.7	70.5	75.3	61.5	22.5	34.0	28.4	15.9	33.4	57.3	16.1	70.3	16.5	16.1	16.1	16.9	15.9	16.5	39.7	16.1	45.7	52.7	110.1	83.8	17.4	46.8	
08:00	21.9	18.1	50.6	20.2	85.4	16.3	24.0	64.9	61.1	19.8	24.0	24.5	16.2	24.6	71.2	16.3	23.5	16.2	15.9	16.0	19.2	15.8	16.1	32.4	16.3	27.1	22.1	116.6	72.2	17.4	43.8	
09:00	18.3	16.3	63.6	17.3	16.6	16.2	16.4	30.6	21.3	16.4	16.6	16.2	15.9	32.1	21.8	16.2	16.8	15.9	16.0	16.1	22.0	16.0	16.0	18.8	16.5	20.3	17.6	128.1	38.1	17.2	27.1	
10:00	15.6	16.8	16.3	16.0	15.8	16.1	16.6	19.3	16.9	16.0	16.3	15.9	16.0	37.8	16.9	16.0	16.4	16.0	16.1	16.0	19.0	16.0	15.9	16.3	17.0	19.4	17.0	70.9	25.3	17.1	17.7	
11:00	15.3	15.6	15.8	15.8	15.6	16.2	18.1	16.1	17.1	16.2	16.2	16.0	16.0	26.1	16.5	16.0	16.2	16.0	15.9	15.8	17.3	16.0	16.0	16.1	16.7	17.7	16.8	28.0	17.9	16.9	17.3	
12:00	15.1	15.4	16.0	15.6	15.6	15.7	18.5	16.0	16.6	ID	16.1	16.0	15.8	24.3	16.4	16.1	16.2	15.9	16.0	16.0	18.4	15.9	15.9	16.2	16.5	16.5	16.6	18.4	17.3	16.7	17.1	
13:00	15.3	15.4	15.8	15.7	15.7	15.9	16.8	15.8	16.2	15.5	15.9	15.8	15.8	19.1	16.2	16.0	16.2	16.0	16.0	16.1	16.2	15.9	15.9	16.0	16.3	ID	16.7	17.3	17.4	16.8	17.1	
14:00	15.2	15.4	15.7	15.4	15.5	15.8	16.5	15.7	16.0	15.7	16.0	15.7	15.9	17.3	16.1	15.9	16.2	16.1	16.0	16.0	16.2	15.9	16.1	16.2	16.2	16.7	16.4	17.1	17.0	16.6	16.9	
15:00	15.2	15.5	15.5	15.8	15.6	15.8	15.9	15.9	15.8	15.8	16.0	16.0	15.7	16.2	16.1	15.9	16.4	16.0	16.0	15.9	16.0	16.0	16.0	16.1	16.2	16.3	16.6	17.0	16.7	16.5	16.8	
16:00	15.2	15.5	15.7	15.5	15.4	15.7	15.9	15.8	15.8	15.8	16.2	15.8	15.8	16.9	16.0	15.9	16.1	15.9	16.0	16.2	16.0	16.0	15.8	16.0	16.0	16.2	16.4	17.0	16.7	16.7	16.7	
17:00	15.1	15.5	15.4	15.6	15.5	15.7	16.0	15.8	15.9	15.7	16.5	15.8	16.7	19.3	16.0	15.9	16.2	16.1	15.9	15.9	16.0	16.0	16.0	15.9	16.0	16.1	16.5	17.0	17.0	16.6	16.8	
18:00	15.0	15.4	15.5	15.6	15.2	15.4	15.6	15.7	15.8	15.8	16.2	15.9	16.7	22.7	16.2	16.7	16.2	16.0	16.0	15.9	15.9	16.0	15.8	16.7	16.1	16.2	16.4	17.2	16.7	16.7	16.7	
19:00	15.2	15.4	16.2	15.8	15.7	15.5	15.6	15.7	15.9	15.8	16.0	15.7	16.7	172.7	16.2	16.1	16.1	16.0	16.0	16.0	15.9	16.0	16.0	16.4	16.1	16.2	16.4	16.9	16.7	17.3	16.7	
20:00	15.0	15.4	15.7	18.1	15.3	15.6	15.7	15.7	15.8	15.9	16.1	15.9	16.2	39.9	16.0	15.8	16.0	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	16.2	16.0	16.1	16.0	16.0	16.5	16.6	16.8	16.8	16.6
21:00	15.1	15.5	15.3	15.8	15.4	15.6	15.6	15.6	15.6	15.8	15.9	15.6	16.0	16.7	16.5	105.0	16.0	15.9	62.1	15.9	16.0	15.9	17.0	16.0	16.1	16.1	16.3	16.5	16.6	16.6	27.2	
22:00	15.0	15.4	15.4	17.8	68.5	15.4	15.5	15.8	15.7	15.7	16.1	15.6	16.0	16.1	16.2	75.9	16.0	16.0	44.2	15.9	16.0	15.7	16.3	15.9	16.2	16.2	16.4	91.9	16.5	27.6	19.2	
23:00	15.0	15.3	18.7	23.7	30.9	15.5	15.5	18.2	19.3	19.3	15.7	15.8	15.8	16.1	16.1	67.9	24.8	15.8	16.4	15.9	16.0	15.8	16.0	27.0	16.0	16.2	16.4	35.4	16.4	30.5	25.8	
Promedio de SO ₂ en 24 h	20.3	55.2	35.2	21.9	22.1	21.3	21.2	33.6	42.1	42.0	20.7	17.9	20.4	33.8	34.5	25.5	27.8	16.9	23.5	16.6	17.5	16.4	16.1	20.6	17.4	20.5	35.2	43.4	40.7	20.4	35.8	
ECA aire de SO ₂	250 µg/m ³ en periodo de 24 horas																															



Tabla 3.13. Concentraciones horarias de SO₂

TÍTULO DEL ESTUDIO: Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en la Municipalidad de Paocochal, distrito Paococha, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022

ESTACIÓN DE MONITOREO: CA-ILO-02

CÓDIGO DE ACCIÓN:

DATOS DEL EQUIPO

EQUIPO: Analizador de dióxido de azufre

MARCA: THERMO SCIENTIFIC

MODELO: 43i

SERIE: 1192914947

Horas/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
00:00	41.7	152.2	29.6	17.7	15.3	23.1	11.5	144.8	87.4	149.0	68.9	20.8	21.1	41.3	32.2	31.3	16.2	15.7	27.8	34.7	14.5	14.8	12.6	13.7	66.7	12.3	322.0	21.1	43.3	36.5	171.8		
01:00	35.5	363.6	54.8	18.5	13.8	83.3	11.7	78.6	89.0	292.7	22.1	14.7	39.6	25.1	42.3	28.4	33.8	15.8	37.4	20.3	15.0	25.6	14.9	25.6	18.7	12.6	181.7	21.4	158.8	19.8	159.9		
02:00	27.0	418.3	91.0	14.3	12.2	94.8	15.4	18.9	96.8	70.1	13.8	33.0	22.2	25.9	29.7	71.8	56.9	30.7	32.1	28.0	32.2	29.9	13.3	22.5	15.4	56.7	94.3	81.5	188.9	89.7	61.1		
03:00	28.0	220.2	137.3	35.0	11.8	61.7	22.7	16.4	36.5	33.7	13.2	35.8	14.0	47.3	102.5	25.7	50.9	36.9	36.4	16.7	16.1	22.0	18.1	15.3	14.4	22.4	82.9	78.3	133.3	91.5	25.4		
04:00	35.5	117.0	307.0	52.6	29.7	55.6	46.5	24.3	87.0	20.2	13.2	38.9	12.6	30.6	57.2	50.8	61.4	34.7	17.1	17.7	14.0	14.7	12.9	23.1	12.7	26.4	71.0	85.7	52.1	94.7	60.9		
05:00	28.1	71.7	250.0	41.0	405.4	41.7	332.8	37.7	91.2	18.1	12.8	45.9	12.3	16.6	65.1	28.9	79.4	24.9	12.4	31.9	15.4	14.0	25.1	35.4	12.9	55.0	34.9	49.7	50.4	50.2	52.1		
06:00	29.4	70.0	211.6	48.2	353.4	44.0	199.3	39.9	182.6	20.9	21.1	38.6	12.2	20.1	70.4	21.7	110.8	19.9	12.5	15.6	14.3	13.5	19.2	54.1	13.1	84.3	33.5	39.6	52.7	14.2	39.0		
07:00	22.8	66.4	52.4	19.3	245.2	47.7	61.8	38.7	135.5	19.0	27.4	24.5	12.2	29.9	64.8	29.2	50.4	28.4	12.4	15.6	19.2	12.9	31.2	67.2	12.8	26.5	40.5	112.9	62.2	14.1	42.8		
08:00	14.9	14.2	72.6	13.5	192.7	21.8	27.8	28.2	90.0	15.7	14.7	21.6	12.5	25.0	62.8	14.5	29.4	23.5	12.3	13.4	21.2	15.0	19.0	24.4	13.1	15.5	23.4	137.4	86.8	13.8	32.1		
09:00	15.5	12.8	74.2	13.6	43.3	15.9	13.1	33.2	26.2	12.2	13.7	13.9	12.3	30.0	23.1	13.0	13.8	13.7	12.4	12.8	20.6	13.0	13.2	16.5	13.3	15.0	18.3	56.5	41.2	13.6	26.9		
10:00	12.8	12.5	13.9	12.3	13.5	12.7	15.5	13.9	13.8	12.0	13.1	12.9	12.3	40.6	15.0	12.8	13.1	12.6	12.4	12.7	18.1	12.8	12.7	12.8	13.1	16.7	13.2	21.5	19.9	13.3	13.9		
11:00	12.2	12.2	13.2	12.3	12.8	12.8	16.5	12.6	13.6	12.0	12.7	12.7	12.2	20.3	18.0	12.9	12.9	12.4	12.4	12.4	15.0	12.6	12.8	12.6	13.4	14.0	13.1	22.9	13.9	13.2	13.3		
12:00	12.1	12.1	14.2	12.1	12.2	12.5	14.2	12.5	13.4	12.1	12.5	12.5	12.2	18.4	14.1	12.7	12.7	12.5	12.5	12.5	13.9	12.6	12.7	12.7	13.5	12.9	12.9	13.8	13.3	13.2	13.1		
13:00	12.1	12.1	12.8	12.1	12.2	12.1	13.1	12.6	12.7	12.2	12.3	12.6	12.3	16.7	13.0	12.7	12.6	12.6	12.5	12.4	13.3	12.7	12.6	12.7	12.6	12.7	12.9	13.3	12.6	13.2	13.0	13.0	
14:00	12.2	12.0	12.4	12.0	12.1	12.2	12.7	12.9	12.3	12.1	12.4	12.4	12.2	12.5	12.8	12.6	12.5	12.5	12.6	12.4	12.6	12.6	12.6	12.3	12.8	12.9	12.8	13.0	13.3	12.8	12.9		
15:00	12.1	12.2	12.2	11.9	12.0	12.2	12.7	12.3	12.1	ID	12.5	12.3	12.2	12.5	12.6	12.6	12.7	12.3	12.4	12.5	12.6	12.4	12.5	12.4	12.7	12.6	13.1	13.3	13.1	12.8	12.9		
16:00	12.0	12.0	12.3	12.0	12.0	11.8	12.4	12.0	12.1	ID	12.2	12.3	12.0	13.6	12.5	12.5	12.6	12.4	12.7	12.6	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	12.7	12.5	12.5	13.0	12.7	12.9	
17:00	12.0	11.9	12.2	11.9	11.8	11.7	12.0	12.0	12.1	12.5	12.4	12.2	12.0	14.4	12.6	12.4	12.5	12.2	12.4	12.4	12.3	12.5	12.4	12.6	12.4	12.5	12.5	12.8	12.9	12.6	12.9		
18:00	11.7	11.9	12.0	12.3	11.7	11.8	11.9	12.0	12.1	12.3	12.3	12.3	12.1	34.8	12.7	12.4	12.5	12.3	12.3	12.4	12.4	12.3	12.3	12.5	12.4	12.5	12.5	12.8	12.8	12.9	12.8		
19:00	11.7	11.9	12.9	12.9	11.9	11.6	12.0	12.0	12.1	12.3	12.4	12.2	12.2	44.0	12.9	12.3	12.2	12.3	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.5	12.3	12.5	12.3	12.6	12.8	12.9
20:00	11.8	11.7	11.8	21.8	11.8	11.6	11.8	11.6	11.9	12.3	31.6	12.1	12.1	30.2	13.3	56.7	12.4	12.2	14.2	12.3	12.2	12.3	12.3	12.3	12.3	12.4	12.5	12.5	12.7	12.9	19.1		
21:00	11.8	12.5	11.8	13.6	47.0	11.6	11.7	55.2	11.9	13.7	17.8	12.0	11.9	19.8	12.7	60.7	12.2	12.1	97.3	12.3	12.0	12.2	12.3	12.2	12.2	12.4	12.4	53.1	12.6	22.2	26.8		
22:00	14.8	22.4	26.2	12.7	78.8	11.6	11.6	142.9	11.8	27.7	19.6	12.1	12.0	15.8	13.2	28.7	13.9	12.2	374.8	12.2	12.2	12.3	12.0	13.8	12.1	12.3	12.8	99.1	41.2	73.4	21.2		
23:00	146.5	39.0	20.0	14.4	34.1	11.6	11.7	62.0	37.1	38.6	21.7	18.3	15.4	13.6	32.2	26.4	25.1	12.2	65.1	12.0	19.2	12.2	12.3	81.6	12.3	130.1	29.7	25.2	51.1	30.0	30.5		
Promedio de SO ₂ en 24 h	24.3	71.4	61.6	19.0	67.3	27.4	38.4	35.7	46.7	38.2	18.2	19.4	14.3	25.0	31.6	25.6	28.9	17.4	37.0	15.8	15.5	14.6	14.7	22.6	15.0	26.1	44.9	42.6	46.9	29.4	37.5		
ECA aire de SO ₂	250 µg/m ³ en periodo de 24 horas																																

ID: Insuficiencia de datos

Tabla 3.22. Concentraciones horarias de SO₂

TÍTULO DEL ESTUDIO: Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en el CEBA Jose Pardo, distrito Ilo, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022

ESTACIÓN DE MONITOREO: CA-ILO-03

CÓDIGO DE ACCIÓN:

DATOS DEL EQUIPO

EQUIPO: Analizador de dióxido de azufre

MARCA:

THERMO SCIENTIFIC

MODELO: 43i

SERIE:

1192914948

Hora/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	13.0	7.3	7.4	7.6	11.1	9.5	7.3	7.2	7.2	7.5	15.3	7.4	8.2	7.5	7.6	7.6	14.1	13.8	7.7	7.7	7.5	7.5	7.4	8.3	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.1	41.3
01:00	7.9	69.3	7.1	7.6	8.0	17.0	7.2	213.3	25.4	24.0	83.8	9.3	11.1	7.6	8.9	7.4	35.3	13.1	7.8	7.6	9.2	7.4	7.3	8.2	7.8	7.7	15.1	7.7	12.9	9.9	21.9
02:00	8.5	57.1	7.2	7.4	7.3	17.0	7.3	251.4	326.3	31.5	19.6	7.9	7.4	11.6	32.3	7.5	19.8	9.1	7.7	7.6	12.1	7.8	7.4	7.6	7.7	7.7	81.2	7.9	12.5	8.2	34.6
03:00	8.1	155.0	7.2	7.3	7.3	7.4	7.2	38.0	153.4	39.3	11.0	8.4	7.4	92.4	67.3	7.5	12.1	8.5	7.5	7.7	9.9	8.1	7.5	7.6	7.6	7.4	52.6	13.5	155.1	8.0	30.4
04:00	9.1	127.5	8.6	7.1	7.3	7.6	11.1	36.6	37.6	18.8	12.8	7.5	7.2	274.0	77.8	7.5	7.7	8.6	7.6	7.7	8.7	7.4	7.3	7.7	7.6	7.7	40.7	30.3	86.9	8.0	19.7
05:00	18.7	40.6	24.5	22.0	7.4	7.7	13.8	43.1	31.0	14.3	12.3	8.1	7.3	111.3	23.4	8.1	8.0	8.9	7.5	7.6	8.5	7.6	7.4	7.7	7.6	7.7	42.4	20.6	19.5	8.3	22.4
06:00	17.5	27.4	84.2	18.8	7.4	13.6	7.8	50.3	44.1	11.7	8.7	10.5	7.4	34.9	15.6	7.9	61.1	8.2	7.5	7.6	8.5	7.5	7.5	9.7	7.7	13.4	22.4	67.3	25.6	8.1	17.6
07:00	10.0	26.3	31.3	8.8	7.4	8.0	8.2	48.0	11.1	13.8	12.8	12.0	7.4	16.7	12.5	7.6	28.6	7.8	7.5	7.7	8.4	7.8	7.6	9.4	7.7	15.6	12.0	38.1	10.0	8.4	11.2
08:00	7.8	8.4	12.4	7.7	7.3	7.6	8.3	42.2	9.7	10.9	8.6	8.4	7.5	11.9	8.1	7.6	8.3	7.7	7.5	7.6	9.3	7.7	7.6	7.9	7.7	19.7	8.6	43.9	24.5	8.3	9.0
09:00	7.7	7.9	8.0	7.6	7.4	7.5	7.6	19.2	9.2	7.8	7.9	7.7	7.5	22.6	8.2	7.6	7.9	7.6	7.6	7.8	9.0	7.6	7.4	7.8	7.7	10.2	8.4	10.9	15.6	8.2	8.8
10:00	7.3	7.8	7.7	7.3	7.4	7.8	7.4	8.7	8.4	7.6	7.7	7.7	7.7	12.9	7.9	7.6	7.8	7.6	7.6	7.7	8.3	7.7	7.6	7.7	8.2	8.8	8.1	13.8	8.6	8.0	8.5
11:00	7.4	7.9	7.6	7.3	7.5	7.7	7.5	8.0	8.8	7.4	7.7	7.6	7.7	9.4	7.7	7.6	7.8	7.6	7.6	7.6	7.7	7.8	7.5	7.6	8.0	7.9	8.0	10.9	8.3	8.0	8.2
12:00	7.2	7.5	7.5	7.3	7.4	7.3	7.6	7.8	8.0	7.5	7.7	7.6	7.6	9.4	7.8	7.5	7.8	7.7	7.7	7.6	7.5	7.6	7.6	7.7	7.7	7.9	8.0	8.0	8.0	7.9	8.3
13:00	7.2	7.4	7.3	7.4	7.2	7.5	7.4	7.7	7.6	7.5	7.5	7.4	7.3	8.6	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.9	8.0	8.0	8.0	8.2
14:00	7.3	7.2	7.3	7.2	7.4	7.6	7.3	7.6	7.5	7.4	ID	7.6	7.4	8.2	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.5	7.6	7.7	7.6	7.7	7.6	7.9	7.9	8.0	7.9	8.2
15:00	7.1	7.3	7.4	7.2	7.4	7.3	7.5	7.7	7.5	7.4	7.5	7.4	7.4	7.6	7.5	7.7	7.7	7.6	7.8	7.7	7.4	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.9	7.8	8.0	7.8	8.1
16:00	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.8	7.6	7.4	7.7	7.5	7.5	8.2	7.7	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6	7.5	7.8	7.8	7.8	7.8	7.9	7.9	8.0	7.9	8.2
17:00	7.2	7.2	7.3	7.4	7.3	7.3	7.5	7.7	7.6	7.5	7.7	7.5	7.4	10.2	7.7	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	7.6	7.6	7.5	7.7	7.7	7.7	7.9	7.9	8.0	7.9	8.0
18:00	7.5	7.3	7.2	7.4	7.3	7.3	7.3	7.7	7.4	7.3	7.5	7.7	7.4	11.3	7.7	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.5	ID	7.6	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	8.0	7.9	8.0
19:00	7.1	7.4	8.4	7.5	7.2	7.3	7.4	7.4	7.4	7.4	7.7	7.5	8.3	31.2	7.7	7.6	7.5	7.6	7.5	7.6	7.5	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	8.0	7.8	8.0	8.0	7.9
20:00	7.3	7.3	7.9	7.4	7.2	7.3	7.2	7.4	7.4	7.4	7.6	7.5	8.0	7.8	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.7	7.5	7.6	7.6	7.6	7.7	7.9	7.9	7.8	7.9	8.0	8.0
21:00	7.2	7.2	7.6	7.2	7.1	7.3	7.4	7.4	7.4	7.3	7.6	7.6	7.7	7.7	8.2	7.7	7.5	7.7	7.7	7.7	7.5	7.5	7.7	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8.0
22:00	7.2	7.3	7.5	7.5	7.4	7.2	7.3	7.3	7.3	7.5	7.5	7.6	7.7	7.6	7.5	11.0	7.9	7.6	7.7	7.5	7.7	7.4	7.6	7.7	7.6	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	9.6
23:00	7.2	7.2	7.4	10.4	10.7	7.3	7.4	7.4	7.2	7.8	7.5	7.3	7.7	7.9	7.4	21.8	28.2	7.6	8.4	7.6	7.6	7.4	7.6	7.7	7.7	7.7	7.9	7.9	8.0	8.1	10.5
Promedio de SO ₂ en 24 h	8.7	26.3	12.6	8.6	7.6	8.6	7.9	35.7	31.8	11.8	12.7	8.0	7.7	30.8	15.4	8.4	13.8	8.3	7.6	7.6	8.2	7.6	7.5	7.9	7.7	8.9	16.7	15.3	20.1	8.1	13.9
ECA aire de SO ₂	250 µg/m ³ en periodo de 24 horas																														

Tabla 3.6. Concentraciones horarias de NO₂
TÍTULO DEL ESTUDIO: Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en la I.E. Francisco Bolognesi, distrito Ilo, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022

ESTACIÓN DE MONITOREO: CA-ILO-01

CÓDIGO DE ACCIÓN:
DATOS DEL EQUIPO
EQUIPO: Analizador dióxido de nitrógeno

MARCA:

THERMO SCIENTIFIC

MODELO: 42i

SERIE:

1192914962

Horas/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	16.4	5.8	3.1	5.3	13.8	5.2	3.0	6.0	12.2	10.6	12.3	5.6	6.6	3.3	3.5	3.4	8.1	6.2	2.8	4.3	3.7	3.1	3.2	7.7	8.9	2.6	3.2	4.7	14.3	5.3	8.4
01:00	16.1	14.3	2.9	14.8	9.0	6.0	2.9	10.9	14.0	10.3	5.2	6.1	5.6	5.5	12.6	3.2	6.5	6.4	6.7	8.0	5.7	4.1	3.4	12.8	7.8	2.7	17.9	3.7	16.6	5.3	7.9
02:00	16.5	17.4	5.5	11.5	2.9	5.0	2.7	8.6	9.7	7.5	5.7	3.9	3.2	6.2	14.7	7.0	10.3	4.6	7.4	6.6	6.1	7.3	3.1	3.4	7.3	2.6	16.8	6.5	14.2	6.9	7.5
03:00	11.3	12.9	4.7	7.0	3.1	3.4	3.2	14.0	10.3	6.2	4.3	3.9	3.5	8.0	12.0	5.1	5.6	3.7	3.4	5.1	13.2	5.6	3.1	3.9	5.7	2.7	11.0	9.5	13.2	5.7	7.1
04:00	13.8	10.1	6.6	16.4	4.9	3.5	10.3	8.2	12.2	4.9	5.7	3.7	3.7	9.5	14.7	6.8	3.1	5.7	3.1	3.3	6.4	4.3	3.5	9.6	3.5	4.4	11.1	10.8	15.9	10.8	6.5
05:00	14.0	6.7	8.9	18.8	13.4	7.0	9.5	9.6	13.0	9.2	12.1	5.3	5.0	8.2	19.8	6.1	5.7	7.6	6.1	4.4	14.2	6.6	4.8	10.2	4.3	10.3	14.7	11.2	16.3	4.6	7.6
06:00	8.0	5.8	8.0	17.8	7.5	7.6	7.6	14.9	11.8	7.5	13.2	6.4	5.6	10.5	13.8	4.6	11.4	7.7	5.0	4.8	8.3	6.7	6.9	10.5	9.0	15.8	10.8	17.9	14.5	4.0	13.3
07:00	5.8	12.0	7.4	10.3	3.9	4.4	11.4	12.1	9.5	6.0	7.1	7.7	5.8	13.3	15.0	3.7	10.2	4.7	4.0	5.7	7.4	6.4	5.6	11.9	7.4	18.5	11.1	21.5	20.0	4.6	12.1
08:00	4.3	3.5	6.5	6.9	6.7	4.0	6.4	11.3	10.7	4.3	5.9	5.2	4.4	18.4	14.0	3.3	4.7	3.7	3.9	4.1	14.0	7.9	3.3	7.9	6.0	11.0	6.1	22.5	11.8	4.2	8.1
09:00	4.3	3.4	7.7	5.5	3.6	4.1	4.3	5.1	5.1	3.8	3.5	3.3	3.7	15.9	9.6	3.3	3.5	3.5	4.0	4.2	9.6	7.7	3.2	4.7	4.9	8.7	4.0	21.0	7.2	4.8	7.4
10:00	3.6	3.3	4.1	4.2	3.7	4.1	4.4	5.2	3.6	3.5	3.5	3.4	4.3	16.2	4.8	3.1	3.4	3.3	3.6	4.0	8.8	6.0	3.1	3.8	4.7	6.4	3.7	8.4	7.6	4.3	4.5
11:00	3.2	3.3	4.0	3.4	3.7	3.9	4.1	3.7	3.4	3.5	3.4	3.2	4.1	13.3	3.8	2.9	3.3	3.2	3.7	3.3	7.1	4.0	2.9	3.4	3.7	6.8	3.9	5.4	4.0	3.4	3.7
12:00	3.1	3.2	3.7	3.6	3.3	3.3	3.8	3.8	3.7	3.5	3.1	3.1	3.4	11.3	3.6	2.9	3.3	3.2	3.4	3.1	10.0	3.6	3.0	3.4	3.4	4.4	3.6	6.4	4.0	3.5	3.5
13:00	3.2	3.2	3.8	3.2	3.2	3.2	3.8	3.6	2.9	ID	3.1	2.9	3.5	7.9	3.3	2.8	3.0	3.6	3.1	3.1	4.4	3.3	3.3	3.2	ID	3.3	4.7	4.1	3.3	3.2	
14:00	4.0	3.1	3.6	3.5	3.0	3.3	3.7	3.3	2.9	3.3	3.0	2.9	3.1	7.9	3.4	2.8	3.0	3.1	3.7	3.1	3.3	3.4	2.7	3.0	3.4	4.4	4.1	4.9	4.5	3.4	3.2
15:00	2.7	2.9	4.1	3.4	3.2	3.4	3.8	3.3	2.8	3.3	3.3	3.1	3.2	6.8	3.7	2.7	2.9	3.0	3.1	3.3	3.2	3.1	2.7	3.0	3.0	3.7	3.6	4.3	3.6	3.1	3.4
16:00	2.8	2.9	3.8	3.6	3.5	3.3	4.0	3.6	2.9	3.4	3.4	3.1	3.5	7.5	3.6	2.9	3.1	3.1	3.2	3.5	3.3	3.0	2.8	3.3	3.6	3.4	3.5	4.1	3.5	3.1	3.5
17:00	2.8	3.0	3.8	4.3	3.6	3.6	3.8	4.2	3.3	3.8	4.6	3.5	4.9	12.2	4.5	3.1	3.4	3.4	3.6	4.1	3.4	3.8	2.8	3.7	3.6	3.8	4.1	4.5	3.5	3.3	4.0
18:00	3.5	3.8	4.8	5.0	5.0	4.4	4.3	5.3	4.1	5.5	4.4	4.7	5.7	15.9	4.9	4.3	4.1	4.0	3.9	5.1	4.6	4.8	3.6	5.4	4.3	4.9	5.3	5.7	4.7	4.3	4.9
19:00	4.5	5.5	5.1	7.6	5.8	5.0	4.6	5.3	4.7	6.5	6.0	4.6	5.0	19.1	6.8	4.5	4.3	4.6	5.2	4.6	4.5	5.7	4.5	4.6	4.5	6.1	6.9	5.2	6.0	5.1	6.2
20:00	5.4	5.5	5.6	10.9	5.7	5.6	4.6	4.7	4.7	5.6	6.0	6.4	5.1	19.4	8.5	5.3	4.6	4.7	5.9	4.3	4.9	4.8	4.3	4.8	4.6	4.9	6.4	4.9	6.9	4.4	8.3
21:00	5.1	5.4	6.7	10.5	5.9	4.8	4.3	6.0	4.3	5.9	5.2	5.5	4.4	5.2	9.9	8.2	4.6	4.0	7.2	4.0	4.7	4.3	5.0	5.5	4.6	5.4	5.8	5.2	5.6	4.4	9.0
22:00	4.1	4.7	6.5	8.1	11.5	3.9	4.1	5.1	3.5	5.1	4.5	4.3	3.9	4.9	5.7	7.0	4.9	3.4	7.3	3.6	4.1	3.8	4.5	3.8	4.0	3.9	4.9	14.0	4.6	4.5	7.3
23:00	4.5	4.1	10.9	11.1	9.0	3.5	3.6	8.8	3.3	5.2	2.9	3.2	4.2	4.7	3.3	9.4	6.1	2.8	4.1	3.2	3.7	3.4	4.3	6.6	3.3	3.6	3.4	9.9	5.1	5.2	8.4
ECA aire de NO ₂	200 µg/m ³ en periodo de 1 hora																														

ID: Insuficiencia de data

Tabla 3.16. Concentraciones horarias de NO₂
TÍTULO DEL ESTUDIO: Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en la Municipalidad de Pacochal, distrito Pacocha, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022

ESTACIÓN DE MONITOREO: CA-ILO-02

CÓDIGO DE ACCIÓN:
DATOS DEL EQUIPO
EQUIPO: Analizador dióxido de nitrógeno

MARCA:

THERMO SCIENTIFIC

MODELO: 42i

SERIE:

1192914960

Hora/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
00:00	12.1	11.6	10.1	7.4	17.0	8.7	3.5	16.5	16.8	10.6	13.9	6.4	8.1	10.5	16.8	10.4	9.0	5.1	5.8	8.4	4.9	7.0	3.7	3.4	10.7	2.9	20.2	18.4	16.5	12.5	13.4
01:00	8.2	16.4	8.7	10.6	6.3	12.7	3.0	10.7	13.1	11.3	7.4	4.0	7.7	9.0	14.3	8.9	8.1	4.5	11.5	9.2	8.7	7.4	5.3	12.8	8.0	4.0	18.1	13.1	15.1	4.3	8.2
02:00	10.6	15.7	6.8	10.9	4.7	8.1	10.9	5.1	12.9	7.5	4.6	6.4	5.7	6.0	8.5	13.6	5.6	5.1	6.9	8.1	8.5	9.9	3.7	7.5	6.6	14.7	9.4	13.6	11.1	7.7	5.2
03:00	9.7	11.4	7.9	8.8	3.7	5.1	11.8	9.7	7.1	5.2	3.8	6.8	3.9	10.2	11.7	6.0	5.4	5.9	7.2	5.8	10.1	6.1	7.2	4.0	5.4	8.7	7.7	14.7	7.5	5.9	3.4
04:00	10.0	8.4	13.8	8.7	6.3	4.8	10.6	11.8	7.0	4.9	5.3	4.0	3.3	12.3	11.6	8.6	7.1	5.3	6.2	12.1	6.5	6.3	3.4	6.6	8.0	11.8	6.1	14.0	11.0	8.8	5.0
05:00	6.3	10.5	9.4	16.3	17.8	4.7	10.4	14.5	9.4	8.4	9.8	7.6	4.7	8.7	10.0	10.4	6.2	6.4	5.6	12.6	16.8	6.4	10.3	9.4	7.3	13.3	6.0	17.3	4.9	10.3	4.8
06:00	7.8	6.8	12.0	17.3	14.3	8.5	9.5	17.9	9.3	5.9	9.5	12.4	7.5	13.0	16.5	11.9	11.4	10.0	6.1	9.0	14.8	15.6	8.8	14.3	11.3	12.0	12.8	15.6	8.4	3.4	13.7
07:00	5.0	8.6	7.9	11.5	14.4	10.6	8.0	13.7	11.7	9.1	7.5	6.6	7.4	17.3	12.6	6.6	7.8	9.1	6.2	8.5	17.0	10.4	5.7	13.4	11.7	14.7	11.0	15.6	15.6	3.7	10.4
08:00	3.8	3.8	6.4	4.4	9.1	5.7	7.6	7.0	8.7	7.2	3.6	5.0	6.7	13.9	12.3	4.3	6.2	6.5	5.4	8.0	16.9	8.3	5.3	6.9	7.5	5.9	9.3	10.7	9.5	4.8	5.4
09:00	3.2	4.8	5.9	4.6	6.3	4.4	5.5	5.3	6.5	5.0	3.9	4.4	5.3	11.9	6.3	3.7	4.6	4.9	4.7	5.7	11.5	8.6	4.7	5.8	6.4	5.4	5.9	8.1	5.9	4.4	7.4
10:00	3.5	4.0	5.7	5.3	4.9	6.0	5.3	4.4	4.5	4.1	4.2	4.4	5.3	12.6	7.2	3.7	4.3	4.2	4.6	4.8	7.2	6.7	3.6	5.0	6.1	5.0	5.5	10.2	7.6	4.7	5.3
11:00	3.2	4.0	4.9	5.2	5.3	5.0	4.6	5.1	4.5	3.9	4.0	4.3	5.6	12.0	9.1	3.8	4.1	3.8	6.2	4.0	7.8	5.2	3.5	4.1	4.4	4.9	5.4	5.6	6.2	4.0	4.7
12:00	4.3	3.5	5.2	5.0	4.7	4.3	4.5	5.1	5.1	3.8	3.7	3.8	4.0	10.9	6.9	3.4	3.9	4.1	4.3	3.9	6.9	4.7	3.5	4.4	4.9	4.1	4.6	4.6	4.8	4.2	4.6
13:00	4.4	3.4	4.9	4.4	3.8	3.8	5.4	5.1	3.6	3.7	3.4	3.6	4.6	5.6	5.1	3.4	4.0	4.3	3.9	3.6	5.8	4.3	3.7	4.2	4.2	5.4	4.5	5.2	6.0	3.7	4.4
14:00	4.2	3.9	5.1	5.2	4.2	4.8	6.0	4.9	3.7	4.6	3.5	4.2	4.7	6.7	6.0	3.6	4.1	4.1	4.5	4.0	4.3	4.1	3.2	3.7	4.3	4.9	6.0	4.9	6.4	4.4	4.4
15:00	3.3	3.7	5.4	5.0	4.4	4.6	5.4	5.6	3.6	5.1	3.7	4.4	4.5	8.9	4.7	3.4	4.2	3.8	4.4	4.4	4.3	4.0	3.0	4.0	3.9	4.9	5.9	5.9	5.2	4.3	4.9
16:00	2.9	3.2	5.0	7.3	4.4	4.3	5.0	5.1	3.4	ID	3.6	5.0	6.1	9.3	4.9	3.2	3.7	3.7	5.0	4.3	4.2	4.0	3.1	4.1	4.7	5.2	4.6	7.5	5.1	3.9	4.1
17:00	3.3	3.8	5.4	7.3	4.8	4.9	4.9	5.5	4.2	5.3	4.6	5.4	4.8	8.0	7.7	3.5	4.0	3.7	4.3	4.7	4.8	4.9	3.4	4.7	4.7	5.3	5.3	5.4	5.0	4.0	4.5
18:00	4.2	4.9	6.6	7.7	7.8	5.5	5.9	7.6	6.1	4.9	5.9	5.6	5.3	17.6	11.4	4.3	4.7	4.9	4.9	5.8	5.5	6.2	4.7	6.7	5.5	6.4	7.3	6.6	6.5	6.3	5.7
19:00	5.6	6.8	7.9	5.7	8.0	5.8	6.8	7.3	6.7	5.1	7.1	6.8	5.5	13.6	12.5	5.0	4.9	5.5	4.4	6.0	5.3	7.6	4.9	5.5	5.2	6.2	7.5	6.1	6.2	6.0	6.8
20:00	6.2	6.0	6.6	7.8	7.5	6.1	6.0	7.4	5.8	5.1	8.9	7.2	6.2	13.7	7.3	8.6	5.7	6.2	4.3	5.6	5.9	6.3	4.7	5.4	5.6	6.3	7.5	5.3	8.4	5.0	7.9
21:00	8.9	6.2	7.3	7.6	9.0	6.2	4.8	10.1	5.5	5.6	7.9	6.8	4.5	11.7	8.1	5.8	5.1	4.0	8.7	3.9	4.6	5.2	4.2	6.5	5.3	6.8	6.9	9.5	7.1	8.1	10.2
22:00	7.2	7.8	12.5	12.3	15.6	4.5	5.2	16.6	4.4	7.4	5.5	6.8	4.9	10.7	7.7	8.6	6.4	3.7	19.3	4.8	5.2	5.3	4.7	7.1	4.1	5.6	6.9	18.1	13.3	12.5	8.3
23:00	14.2	10.1	15.1	15.5	14.0	4.8	6.1	18.1	7.8	11.4	10.0	5.8	8.9	14.7	8.9	11.4	6.9	3.1	11.4	3.9	9.6	4.7	4.3	10.5	3.8	8.4	21.1	11.5	12.8	9.7	7.2
ECA aire de NO ₂	200 µg/m ³ en periodo de 1 hora																														

ID: Insuficiencia de datos

Tabla 3.25. Concentraciones horarias de NO₂

TÍTULO DEL ESTUDIO: Evaluación de seguimiento de la calidad del aire en el CEBA Jose Pardo, distrito Ilo, provincia Ilo, departamento Moquegua, en enero 2022

ESTACIÓN DE MONITOREO: CA-ILO-03

CÓDIGO DE ACCIÓN:

DATOS DEL EQUIPO

EQUIPO: Analizador dióxido de nitrógeno

MARCA:

THERMO SCIENTIFIC

MODELO: 42i

SERIE:

1192914961

Hora/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
00:00	14.4	5.2	5.8	5.4	12.9	5.4	4.7	5.4	5.8	4.5	6.6	4.6	5.2	4.7	5.3	4.7	7.6	8.6	4.6	5.1	5.7	4.8	4.9	6.5	4.9	4.2	5.4	5.0	5.7	6.4	8.7	
01:00	8.4	11.4	4.7	5.2	6.0	7.5	4.6	13.8	13.0	7.0	13.2	5.7	5.6	5.0	7.4	4.6	7.6	7.7	4.8	5.0	6.0	4.7	5.5	5.5	4.7	4.3	6.6	5.0	7.7	8.0	6.8	
02:00	16.0	8.6	4.4	5.0	4.4	5.7	4.6	14.2	22.1	6.4	8.1	4.7	4.8	7.1	13.1	5.0	6.4	5.7	4.8	4.6	6.7	5.5	5.0	4.9	4.7	4.3	20.2	5.1	8.0	5.3	6.5	
03:00	15.1	14.5	4.7	4.4	4.6	4.4	4.7	10.2	10.6	7.9	6.8	5.3	4.7	9.0	15.6	5.4	5.1	5.8	4.5	4.5	10.2	5.6	4.8	5.1	4.6	4.3	13.6	7.3	16.5	5.4	7.5	
04:00	12.1	13.6	6.0	5.6	5.6	4.7	8.0	8.4	10.5	6.9	8.7	5.2	5.6	12.5	12.5	6.8	5.0	8.5	5.2	4.7	9.1	6.0	5.3	5.6	5.1	4.5	12.7	10.9	13.7	6.7	11.5	
05:00	14.1	9.0	12.3	17.1	13.3	7.0	11.4	11.8	14.4	8.4	13.2	8.0	6.9	13.9	14.3	9.0	7.6	10.3	8.8	7.5	9.2	8.2	6.7	7.5	6.1	5.9	17.2	14.0	20.1	13.1	10.8	
06:00	8.5	7.4	13.8	13.4	9.2	8.8	9.1	14.2	12.9	9.9	12.2	9.0	7.1	20.0	13.3	6.1	13.4	10.1	6.8	6.3	10.4	8.1	6.8	15.9	10.1	14.6	11.0	14.7	17.5	7.0	11.1	
07:00	5.0	5.6	10.8	6.8	5.7	5.8	7.8	16.9	6.5	8.1	8.1	7.3	7.0	18.7	8.5	5.4	7.3	6.1	5.9	6.8	9.2	8.4	6.2	7.6	7.7	17.5	7.5	18.1	7.6	7.2	7.4	
08:00	4.8	5.2	6.9	5.7	5.6	5.6	6.2	15.7	6.2	5.8	5.6	5.6	6.0	19.7	6.9	5.2	5.9	5.5	5.9	6.0	9.2	9.1	5.1	5.8	7.1	23.8	6.3	14.2	18.5	5.9	7.7	
09:00	4.9	5.1	5.6	5.4	5.6	5.5	5.7	9.9	5.5	5.3	5.4	5.3	5.3	18.7	6.3	4.9	5.3	5.1	5.4	6.0	8.2	8.8	5.1	5.4	5.6	13.0	5.9	7.1	8.5	5.3	5.9	
10:00	4.9	5.1	5.6	5.4	5.3	5.4	5.4	5.7	6.3	5.2	5.3	5.3	5.2	9.5	5.7	5.0	5.3	5.2	5.1	5.8	6.7	7.0	4.9	5.1	5.6	9.9	5.4	10.9	5.3	5.1	5.4	
11:00	5.0	5.6	5.6	5.5	5.3	5.5	5.3	5.4	5.3	5.3	5.1	5.3	5.4	6.9	5.5	4.9	5.3	5.3	5.5	5.8	5.7	5.4	4.8	5.1	5.5	6.4	5.1	8.6	5.6	5.3	5.6	
12:00	4.9	5.0	5.3	5.2	5.2	5.2	5.4	5.2	5.1	5.0	5.1	5.3	9.9	5.4	4.8	5.0	5.2	5.3	5.2	5.4	5.6	4.8	5.0	5.3	5.1	5.4	5.3	5.6	5.0	5.3		
13:00	4.7	4.7	5.2	5.0	5.0	5.0	5.2	5.2	4.9	4.9	5.1	4.9	5.0	7.7	5.0	4.7	4.9	5.0	4.8	4.9	5.0	5.2	4.8	4.9	4.8	4.8	4.9	5.3	5.2	4.9	5.1	
14:00	4.6	4.6	5.1	5.1	4.9	4.9	5.3	4.8	4.7	4.9	8.5	4.7	5.0	5.9	5.1	4.7	4.8	4.7	5.0	4.7	4.9	5.3	4.5	5.0	4.7	4.7	4.8	5.3	5.1	4.6	4.8	
15:00	4.6	4.5	5.1	4.9	5.2	4.9	5.1	5.3	4.6	5.1	5.3	4.9	5.0	6.0	4.9	4.6	5.1	4.9	5.1	5.0	5.1	5.2	4.3	4.7	4.8	4.9	4.9	5.1	5.4	4.6	5.3	
16:00	4.4	4.5	5.4	5.3	5.3	5.1	5.4	5.9	4.8	5.0	6.5	5.2	5.4	9.9	5.1	4.7	5.2	5.0	4.9	5.5	5.1	5.0	4.7	5.0	4.8	4.9	5.5	5.6	5.1	4.6	5.3	
17:00	4.5	4.9	5.5	5.7	5.7	5.6	5.7	6.0	6.5	5.3	5.5	5.5	5.4	16.1	5.9	4.9	5.6	5.3	5.4	6.0	6.0	6.0	4.8	5.6	5.3	5.9	6.1	5.7	5.4	4.9	5.5	
18:00	5.4	5.7	6.5	6.4	6.8	6.2	5.9	7.5	5.8	6.3	5.9	6.5	6.6	12.1	6.7	5.6	6.4	5.7	5.4	6.7	6.7	ID	5.3	7.4	5.9	6.7	6.9	6.4	6.7	6.1	6.8	
19:00	6.0	7.5	8.1	7.2	7.7	6.5	6.3	8.1	6.2	7.0	7.4	6.6	6.9	12.0	7.0	6.1	5.7	6.4	6.8	6.2	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	7.3	7.5	7.3	7.4	6.1	8.3
20:00	6.2	6.8	7.5	10.1	6.8	6.3	5.9	7.0	5.6	6.7	7.4	7.2	6.6	8.1	6.5	6.4	6.0	6.2	7.1	6.1	6.0	6.3	5.6	6.5	6.5	6.5	6.5	8.2	6.2	6.9	5.7	9.4
21:00	6.3	6.3	7.9	8.1	6.6	6.0	5.7	7.1	5.4	6.7	6.8	6.8	6.0	6.2	9.1	6.5	6.0	5.5	6.2	5.7	5.8	5.7	5.4	6.3	6.4	6.9	7.4	6.6	7.4	5.5	9.6	
22:00	5.9	6.8	7.2	7.0	7.4	5.7	5.9	6.5	4.7	5.6	5.5	5.9	5.3	5.9	5.9	6.7	6.8	5.5	6.8	5.5	5.7	5.1	5.5	5.3	5.6	5.5	6.2	6.4	6.3	5.0	11.2	
23:00	5.7	5.7	5.7	13.0	7.3	5.5	5.5	5.7	4.7	5.8	4.5	4.9	5.9	6.1	4.7	9.0	10.5	4.9	7.3	5.1	5.1	5.1	5.8	5.5	4.8	5.0	5.0	7.5	6.5	4.6	7.5	

ECA aire de NO₂

200 µg/m³ en periodo de 1 hora

ID: Insuficiencia de datos

Anexo 5. Fichas de registro de las concentraciones de contaminantes de las imágenes satelitales de Sentinel 5P

Estación Bolognesi 2022 de Monóxido de Carbono		Estación Bolognesi 2021 de Monóxido de Carbono	
Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$	Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	25236,74	Enero	26609,52
Febrero	28853,35	Febrero	28605,62
Marzo	27044,12	Marzo	26853,59
Abril	25215,05	Abril	23819,75
Mayo	23360,15	Mayo	23668,43
Junio	22593,85	Junio	23229,14
Julio	24468,53	Julio	23128,11
Agosto	23106,66	Agosto	25916,17
Setiembre	27691,08	Setiembre	31036,83
Octubre	24638,47	Octubre	27473,14
Noviembre	24176,60	Noviembre	25159,95
Diciembre	26086,50	Diciembre	25724,13

Estación Pacocha 2022 de Monóxido de Carbono		Estación Pacocha 2021 de Monóxido de Carbono	
Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$	Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	24878,63	Enero	26691,03
Febrero	28744,1	Febrero	28127,11
Marzo	27700,50	Marzo	26927,76
Abril	25419,31	Abril	24161,90
Mayo	23720,55	Mayo	23647,91
Junio	22636,64	Junio	22794,31
Julio	24530,68	Julio	22816,81
Agosto	22876,94	Agosto	24940,21
Setiembre	27465,18	Setiembre	31999,63
Octubre	24505,94	Octubre	28247,41
Noviembre	24367,29	Noviembre	25319,74
Diciembre	25199,00	Diciembre	25728,52

**Estación Jose Pardo 2022
de Monóxido de Carbono**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	25105,49
Febrero	29056,37
Marzo	26944,46
Abril	25346,74
Mayo	23599,87
Junio	22523,39
Julio	24196,70
Agosto	23716,87
Setiembre	27530,72
Octubre	25245,82
Noviembre	24204,09
Diciembre	25872,93

**Estación Jose Pardo 2021
de Monóxido de Carbono**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	26494,48
Febrero	27913,55
Marzo	26548,60
Abril	24043,07
Mayo	23960,03
Junio	23632,72
Julio	23391,71
Agosto	25669,62
Setiembre	31113,30
Octubre	27299,58
Noviembre	24918,55
Diciembre	25653,06

**Estación Bolognesi 2022
de Dióxido de Azufre**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	68,18
Febrero	127,52
Marzo	685,86
Abril	354,98
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	81,66
Agosto	41,08
Setiembre	0,00
Octubre	59,09
Noviembre	77,89
Diciembre	220,38

**Estación Bolognesi 2021
de Dióxido de Azufre**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	328,39
Febrero	534,69
Marzo	172,29
Abril	275,66
Mayo	620,51
Junio	99,88
Julio	823,56
Agosto	272,49
Setiembre	176,40
Octubre	142,17
Noviembre	542,79
Diciembre	228,45

**Estación Pacocha 2022
de Dióxido de Azufre**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	96,80
Febrero	92,22
Marzo	738,83
Abril	428,67
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	219,06
Agosto	47,01
Setiembre	182,00
Octubre	145,89
Noviembre	107,29
Diciembre	377,46

**Estación Pacocha 2021
de Dióxido de Azufre**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	320,69
Febrero	442,58
Marzo	159,08
Abril	277,75
Mayo	723,53
Junio	144,02
Julio	753,97
Agosto	217,34
Setiembre	176,40
Octubre	182,76
Noviembre	461,94
Diciembre	195,45

**Estación Jose pardo
2022
de Dióxido de Azufre**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	80,39
Febrero	211,00
Marzo	770,11
Abril	327,79
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	143,57
Agosto	65,31
Setiembre	0,00
Octubre	73,72
Noviembre	151,35
Diciembre	196,93

**Estación Jose pardo
2021
de Dióxido de Azufre**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	317,25
Febrero	480,20
Marzo	167,36
Abril	285,81
Mayo	539,51
Junio	106,63
Julio	849,05
Agosto	181,56
Setiembre	173,97
Octubre	93,02
Noviembre	520,32
Diciembre	210,70

**Estación Bolognesi 2022
de Dióxido de Nitrógeno**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	9,37
Febrero	11,05
Marzo	9,46
Abril	9,70
Mayo	7,67
Junio	12,53
Julio	10,91
Agosto	12,64
Setiembre	11,18
Octubre	11,61
Noviembre	10,05
Diciembre	10,54

**Estación Bolognesi 2021
de Dióxido de Nitrógeno**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	7,91
Febrero	9,05
Marzo	8,99
Abril	9,71
Mayo	9,92
Junio	8,51
Julio	13,99
Agosto	12,14
Setiembre	15,87
Octubre	10,45
Noviembre	6,51
Diciembre	10,53

**Estación Pacocha 2022
de Dióxido de Nitrógeno**

Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	8,99
Febrero	11,03
Marzo	8,71
Abril	11,13
Mayo	8,13
Junio	12,11
Julio	9,32
Agosto	12,85
Setiembre	12,02
Octubre	12,54
Noviembre	10,71
Diciembre	8,76

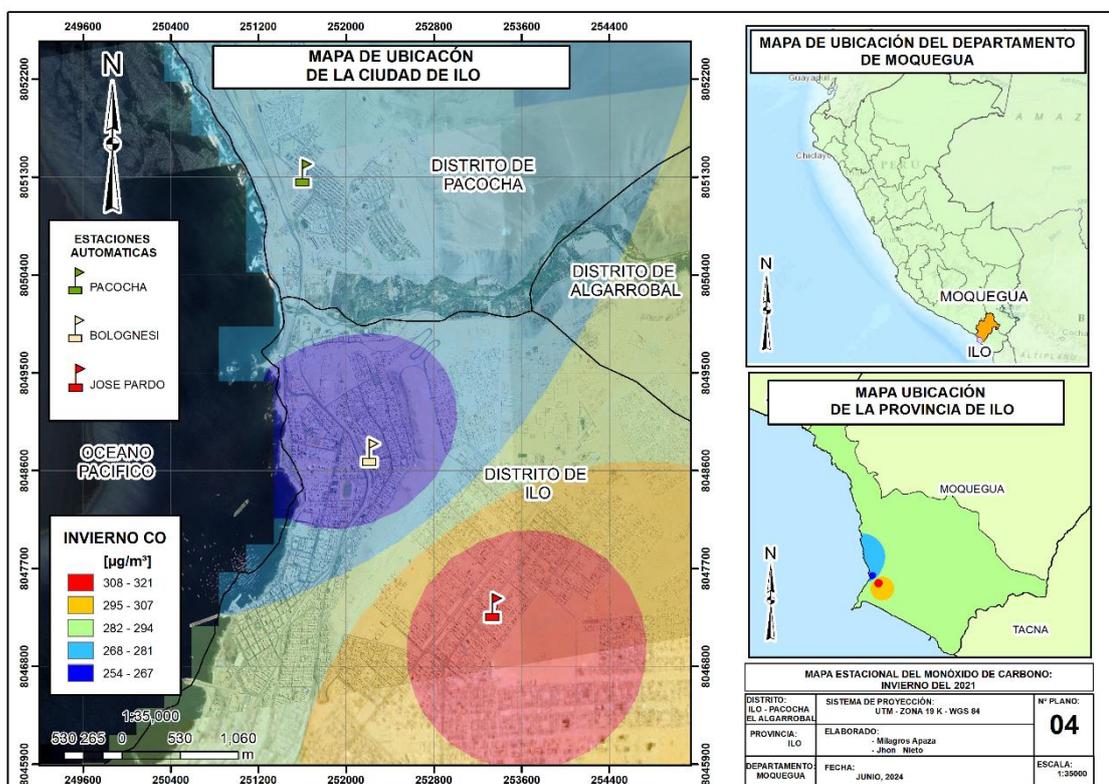
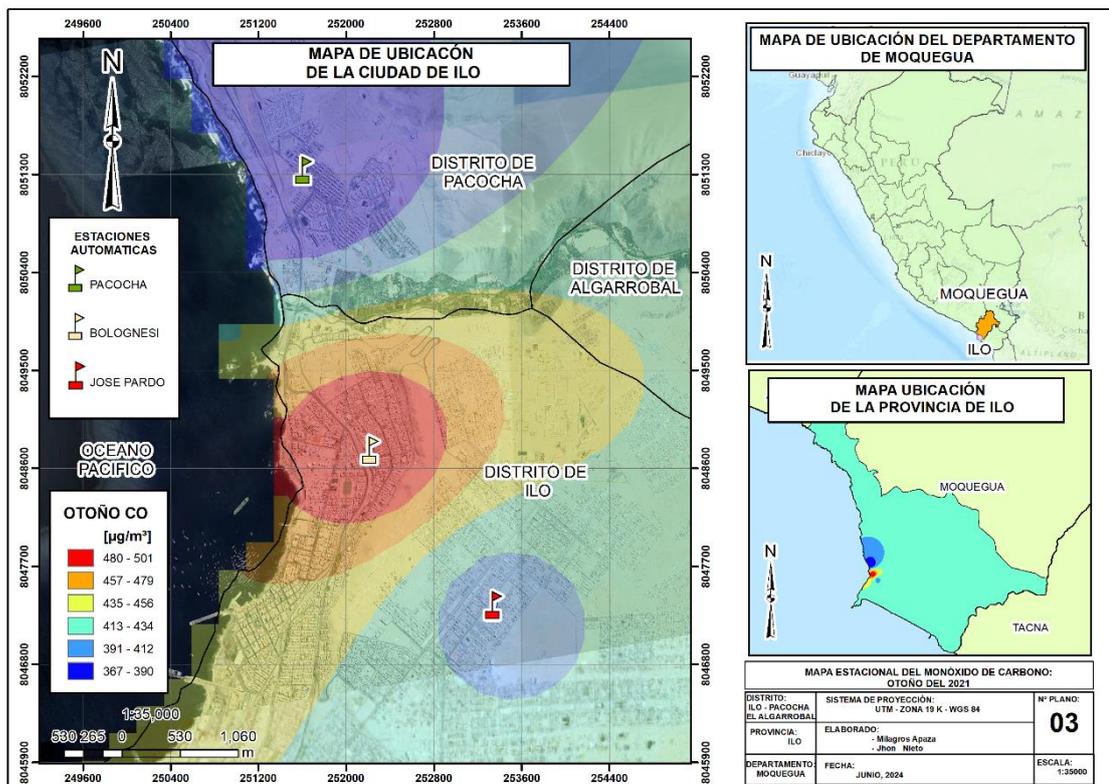
**Estación Pacocha 2021
de Dióxido de Nitrógeno**

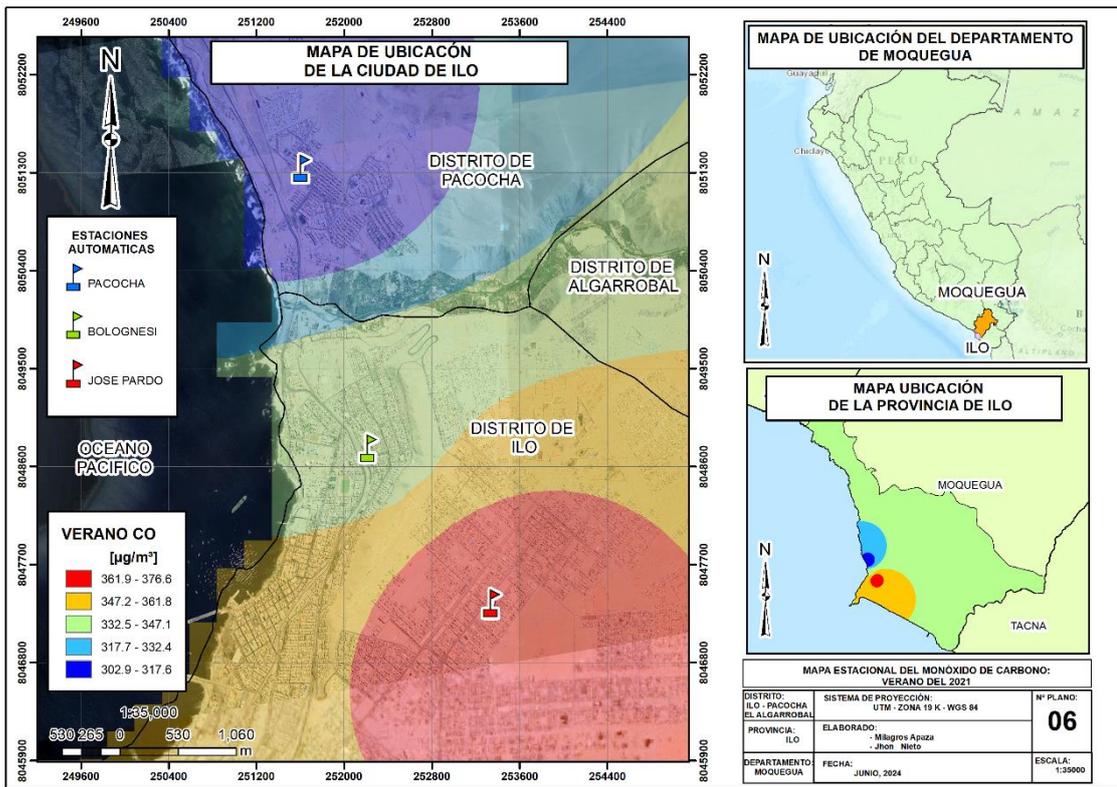
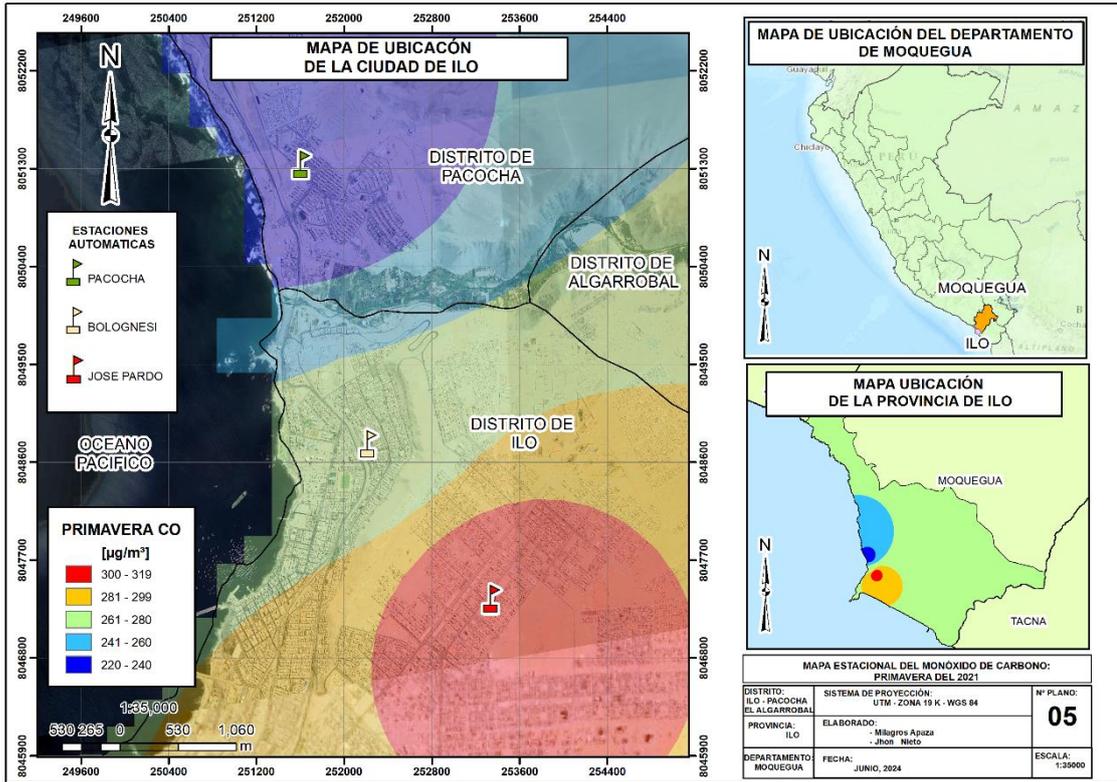
Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	7,17
Febrero	9,45
Marzo	7,75
Abril	10,42
Mayo	10,58
Junio	8,59
Julio	12,41
Agosto	13,85
Setiembre	16,50
Octubre	10,45
Noviembre	6,96
Diciembre	10,33

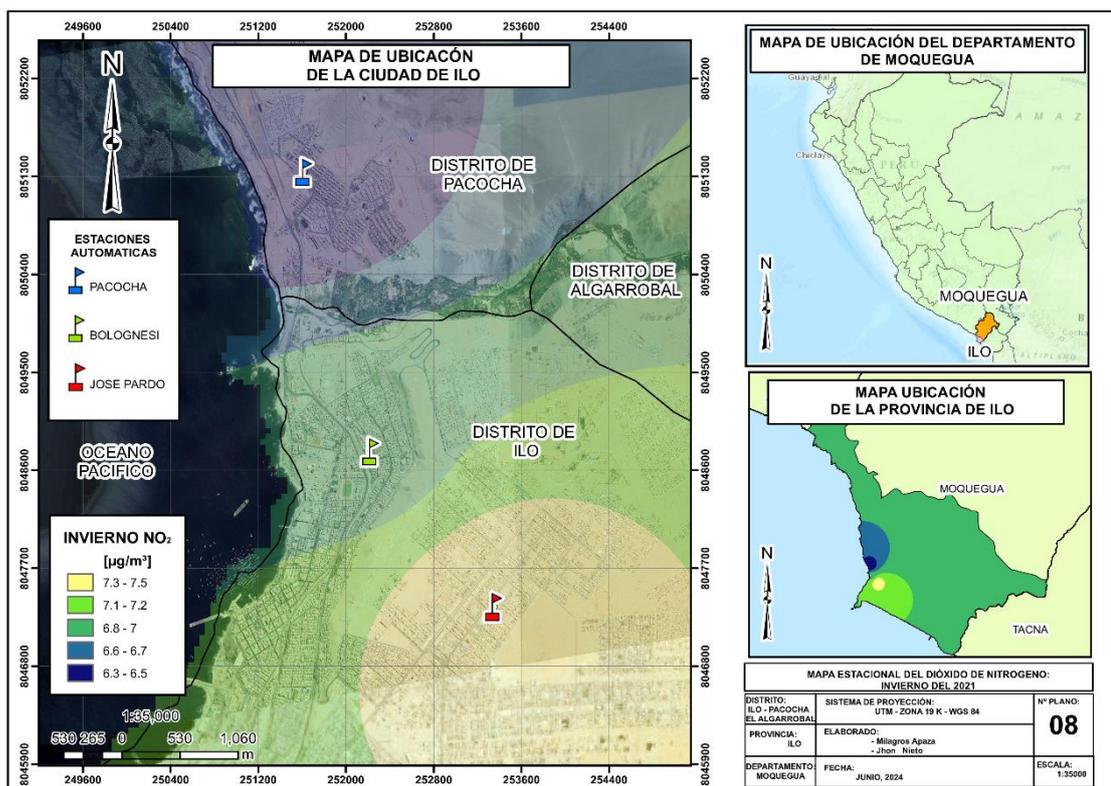
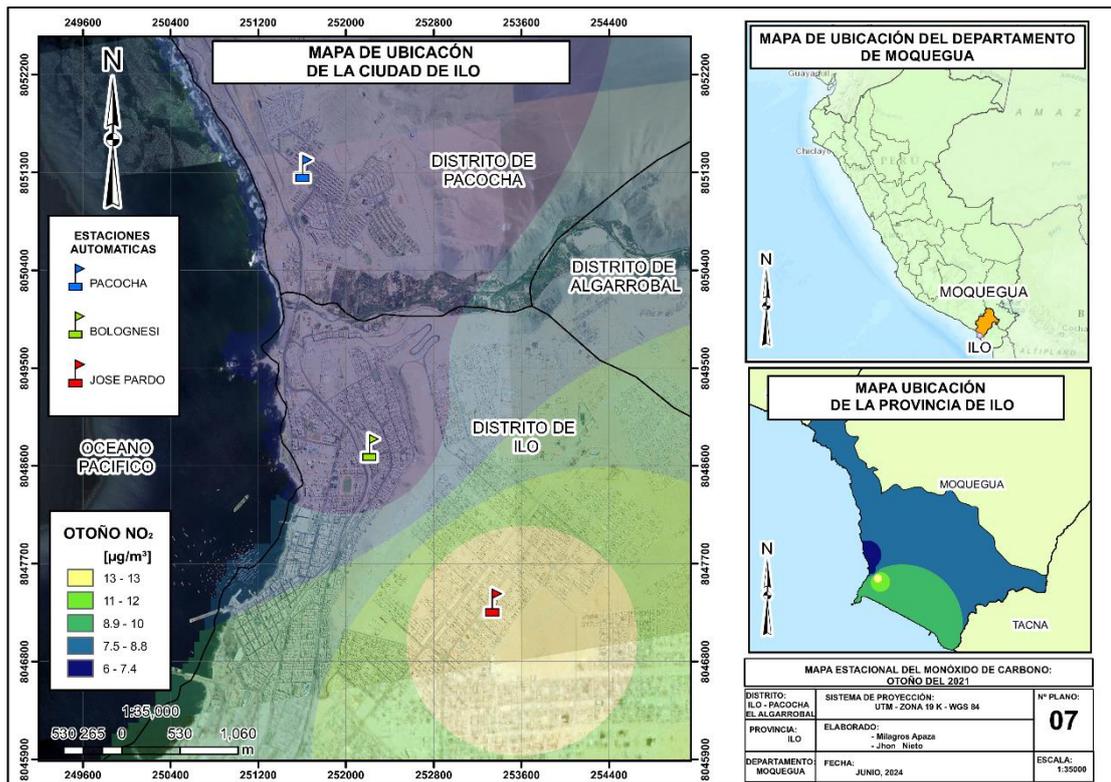
Estación Jose Pardo 2022 de Dióxido de Nitrógeno	
Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	9,76
Febrero	10,78
Marzo	9,56
Abril	9,96
Mayo	8,20
Junio	11,41
Julio	11,44
Agosto	12,98
Setiembre	11,91
Octubre	11,03
Noviembre	10,03
Diciembre	9,68

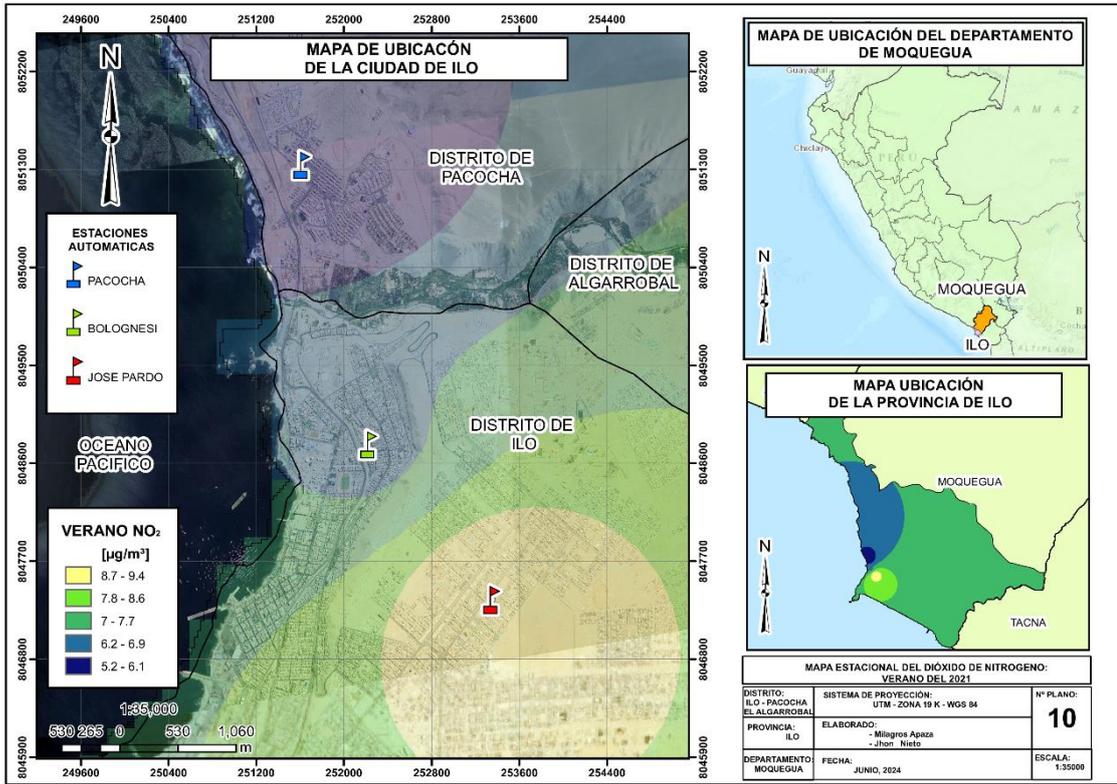
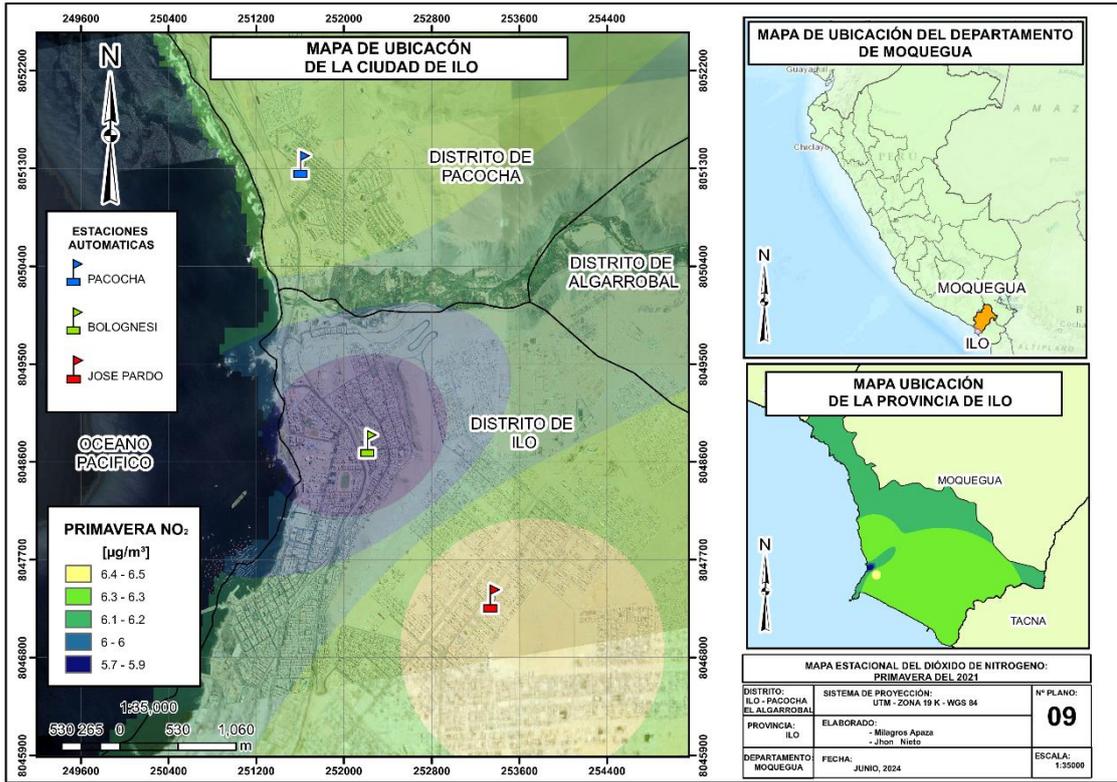
Estación Jose Pardo 2021 de Dióxido de Nitrógeno	
Mes	$\mu\text{mol}/\text{m}^2$
Enero	7,40
Febrero	7,47
Marzo	9,99
Abril	8,51
Mayo	7,64
Junio	9,10
Julio	12,78
Agosto	13,60
Setiembre	17,51
Octubre	10,57
Noviembre	6,84
Diciembre	10,84

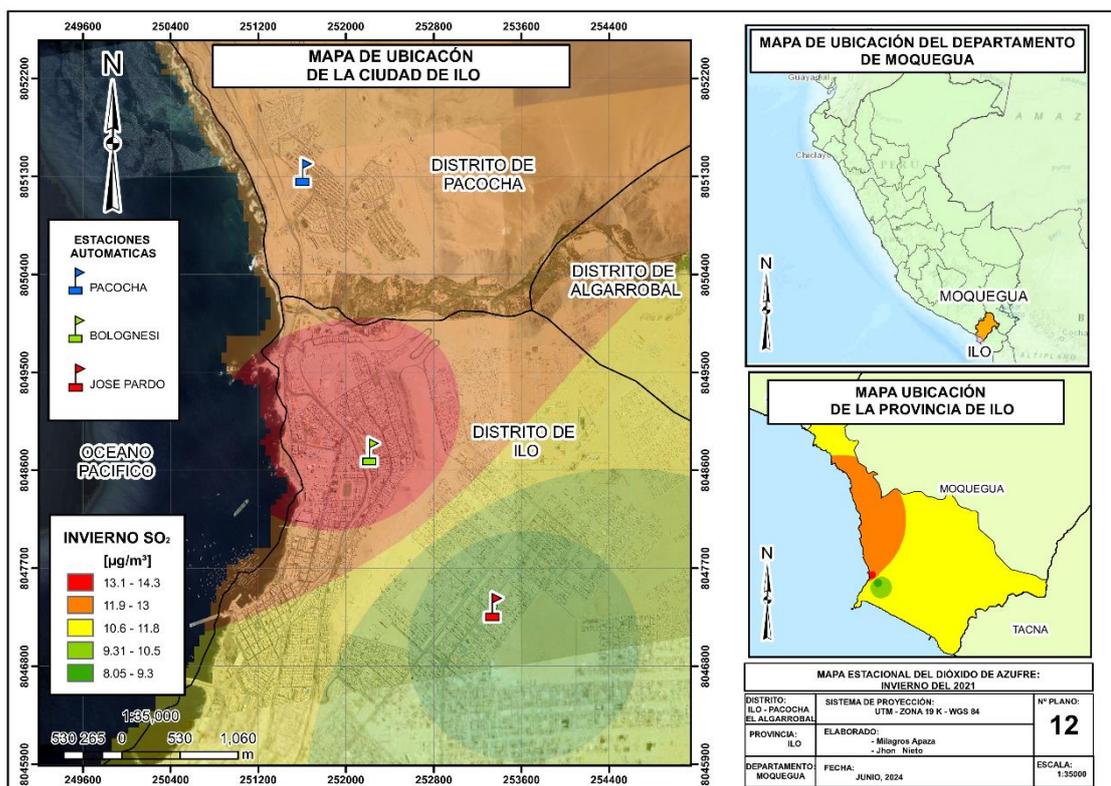
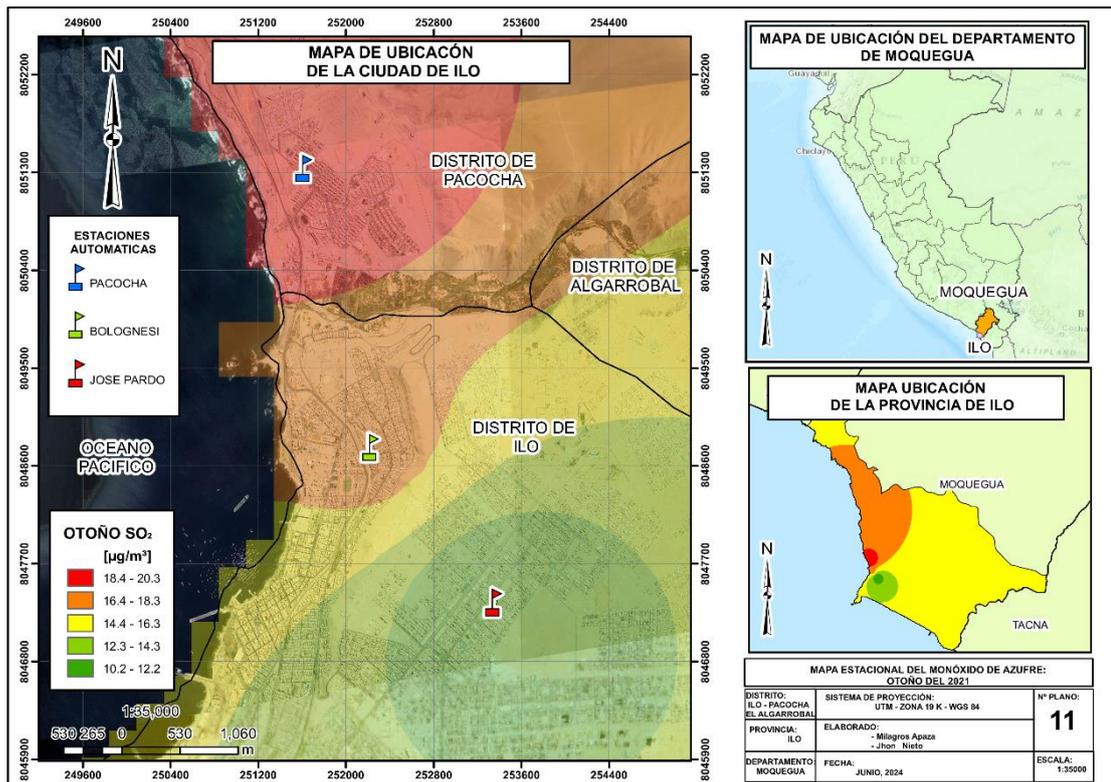
Anexo 6. Mapas estacionales de distribución espacial de las concentraciones de CO, NO₂, SO₂ registrados por estaciones automáticas

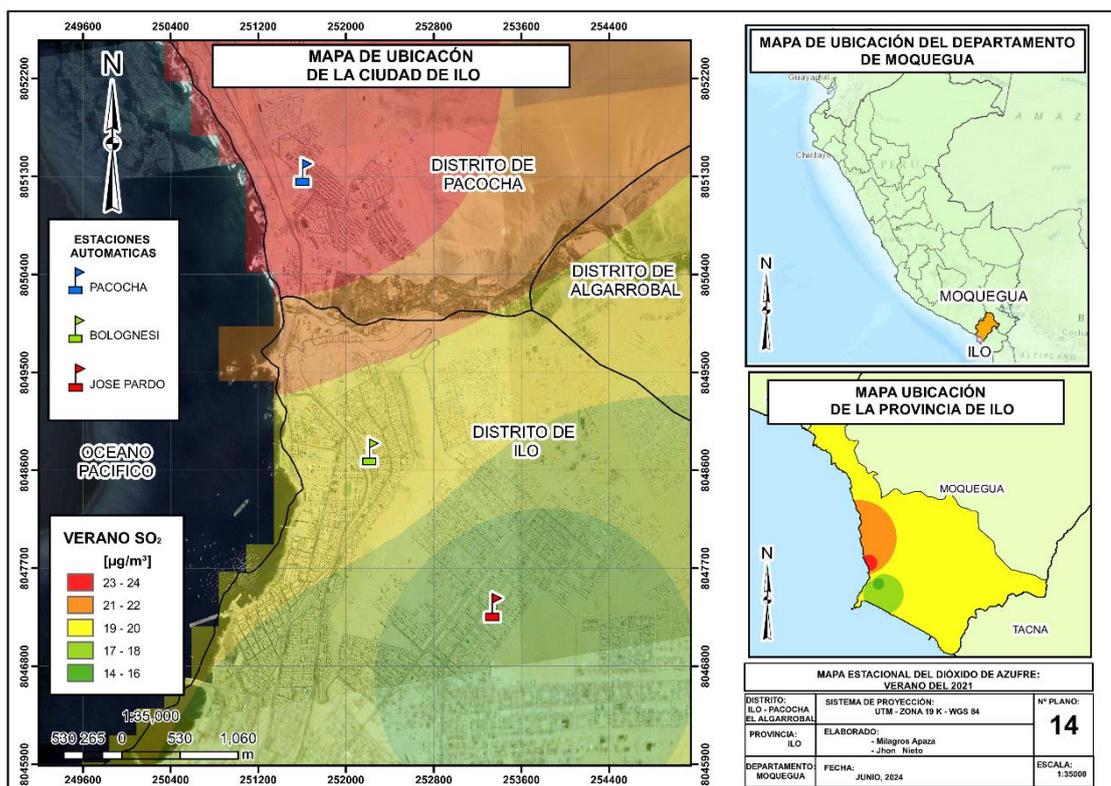
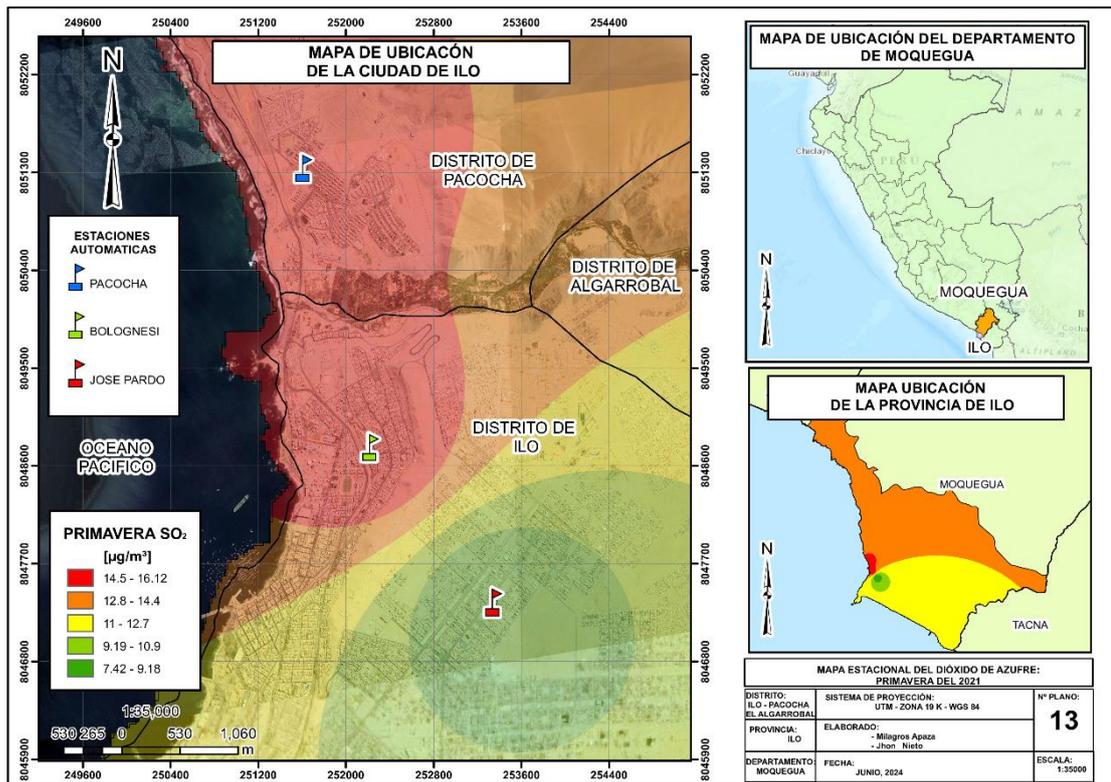


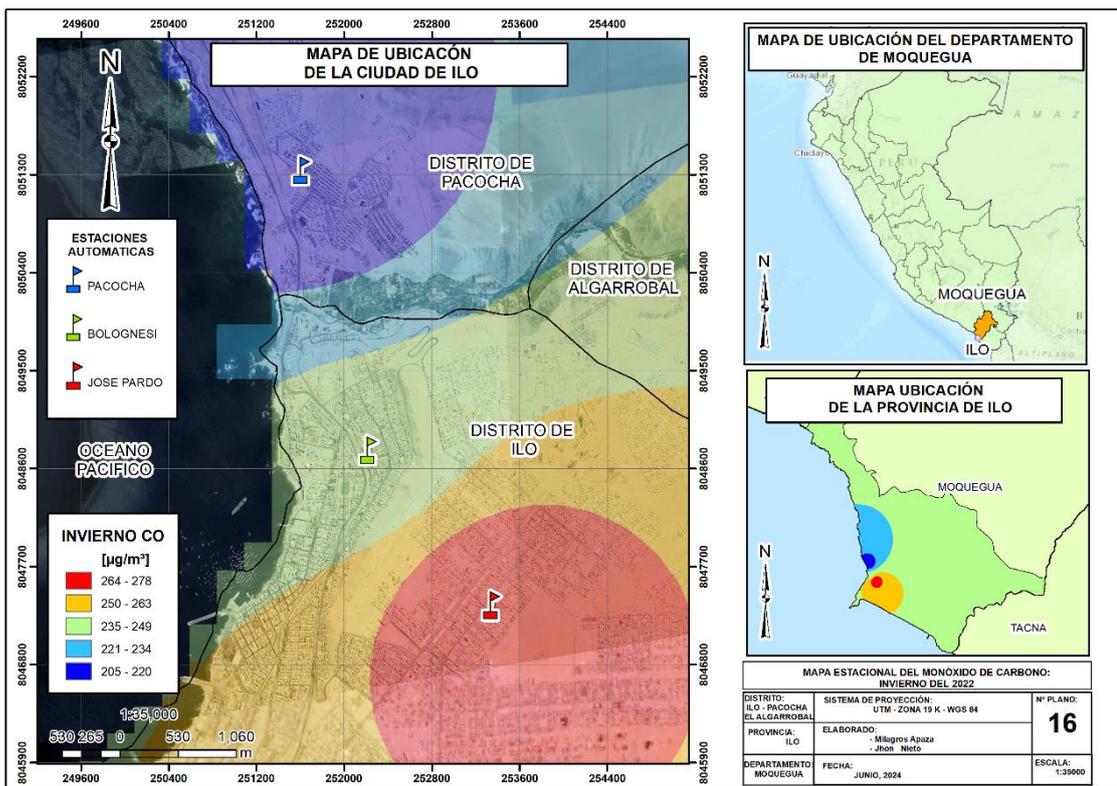
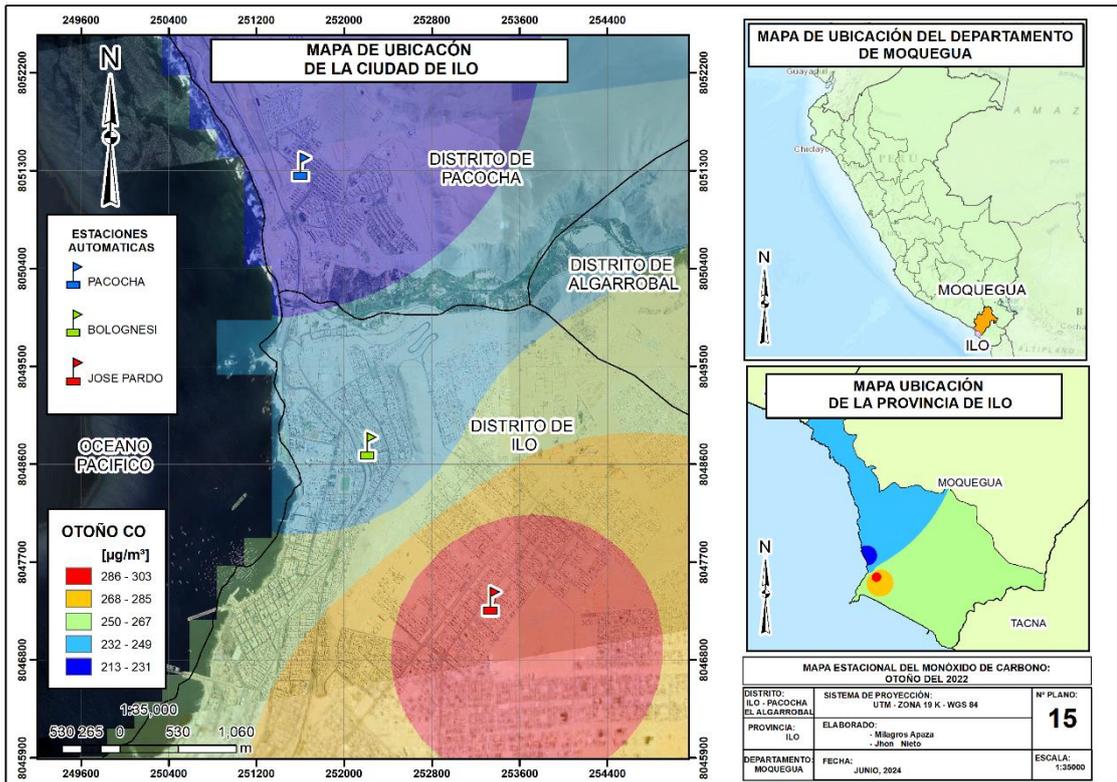


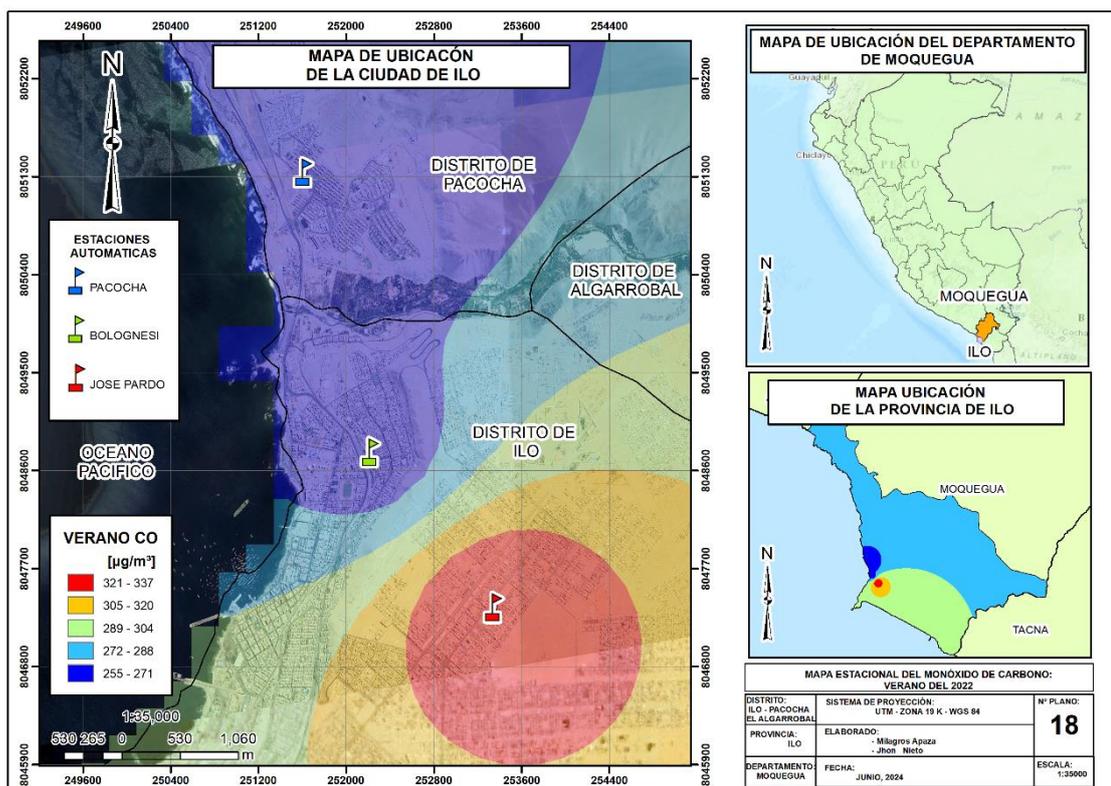
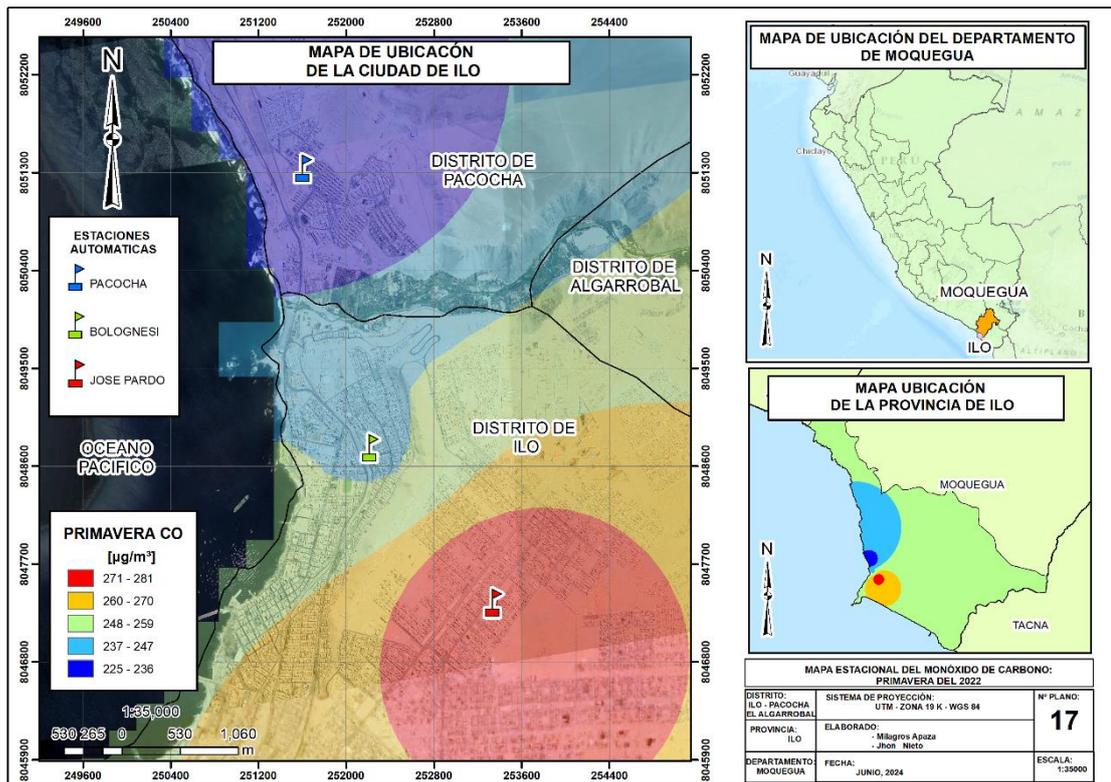


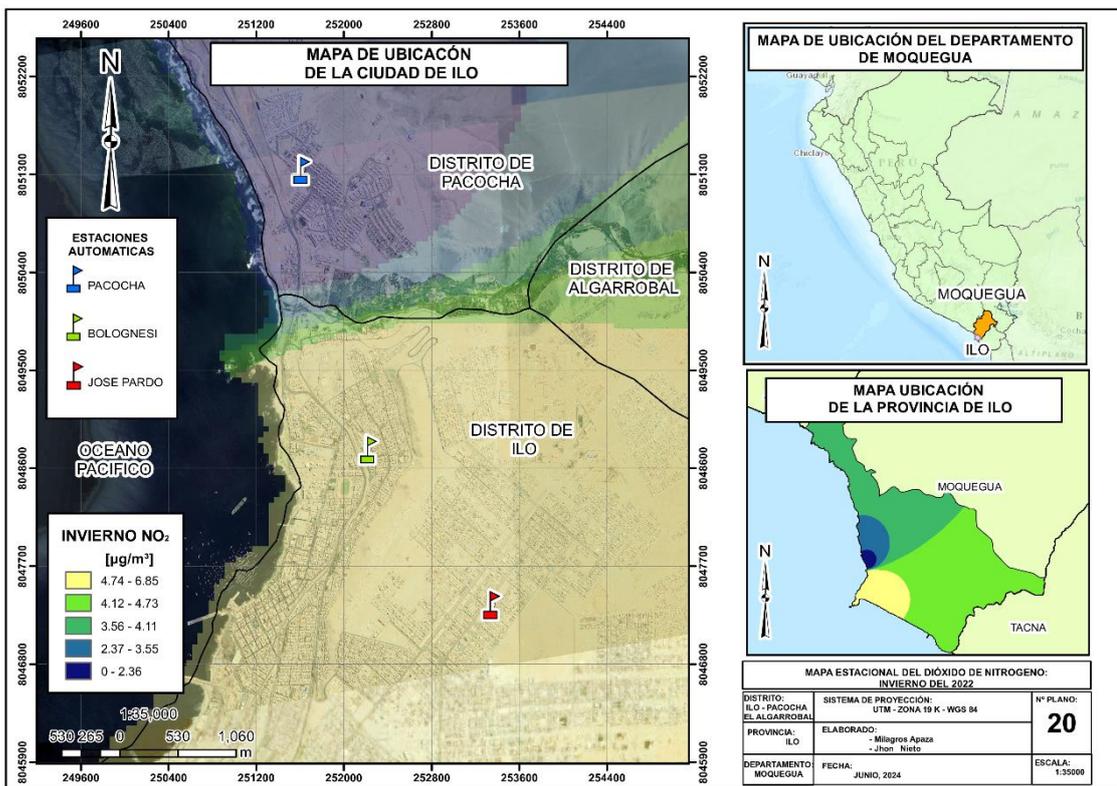
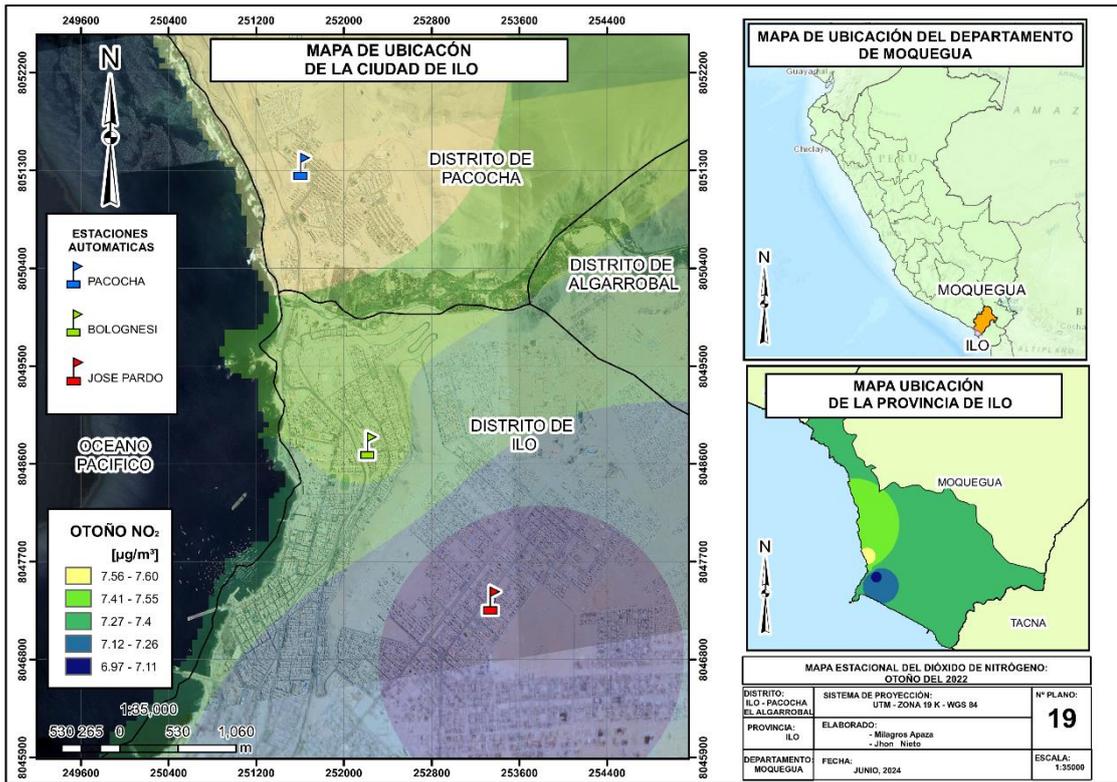


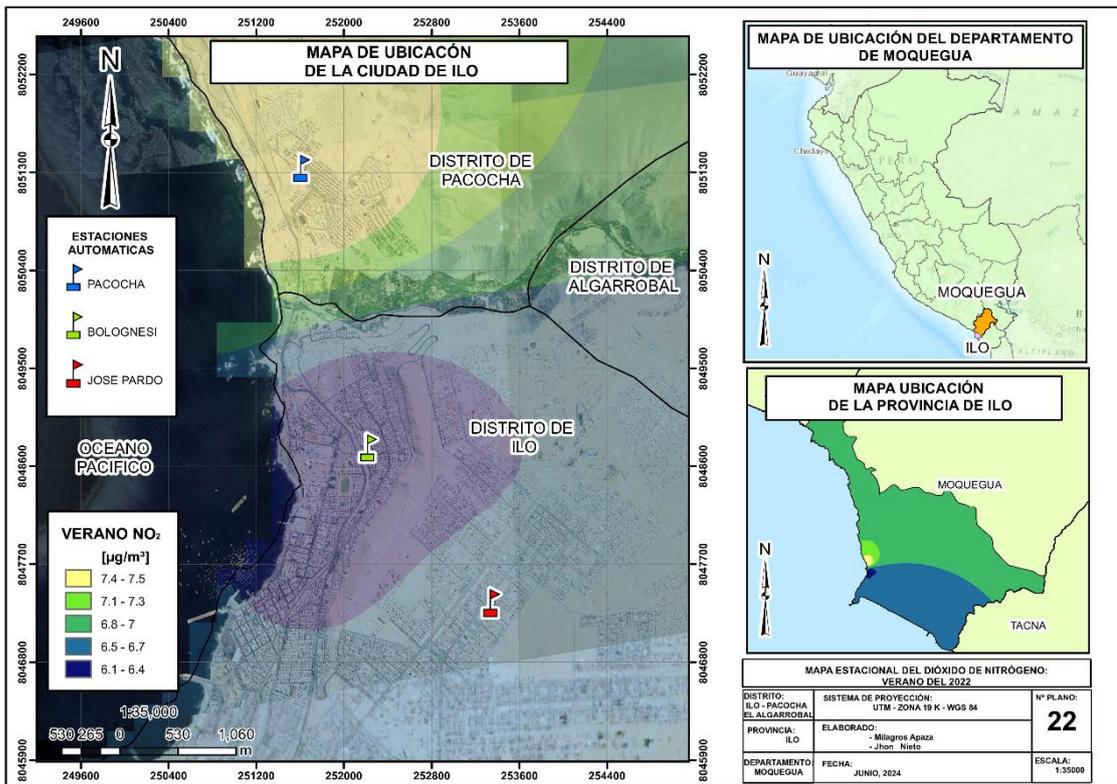
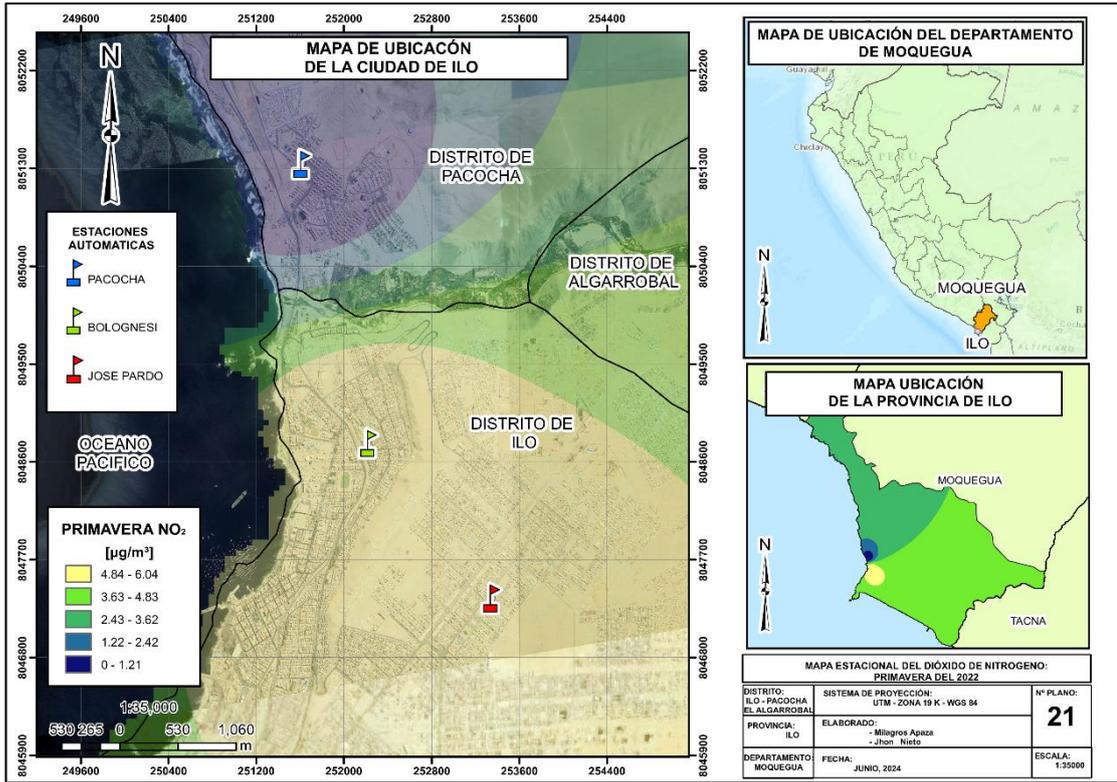


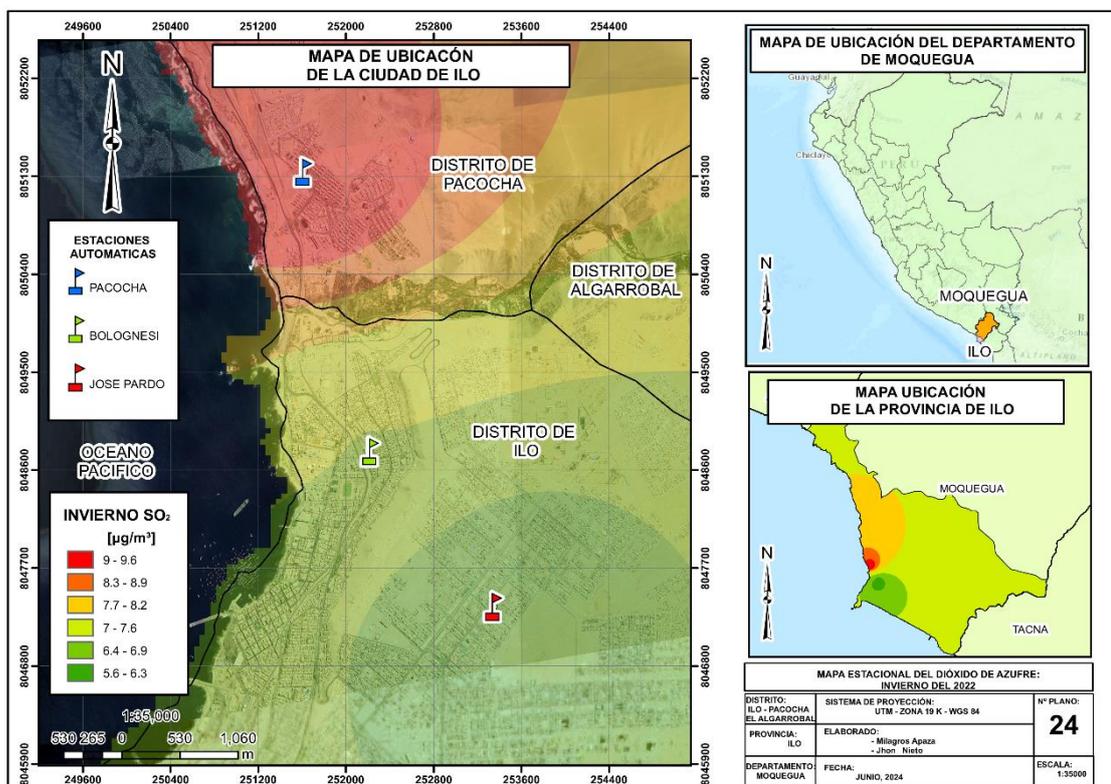
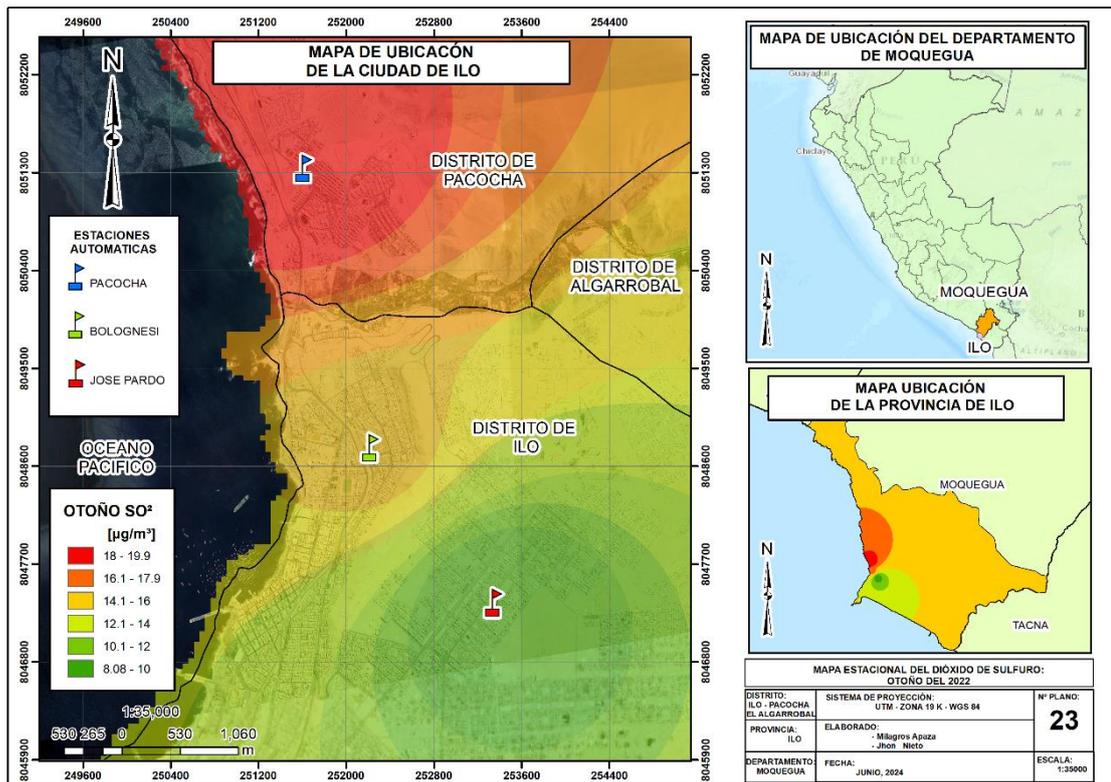


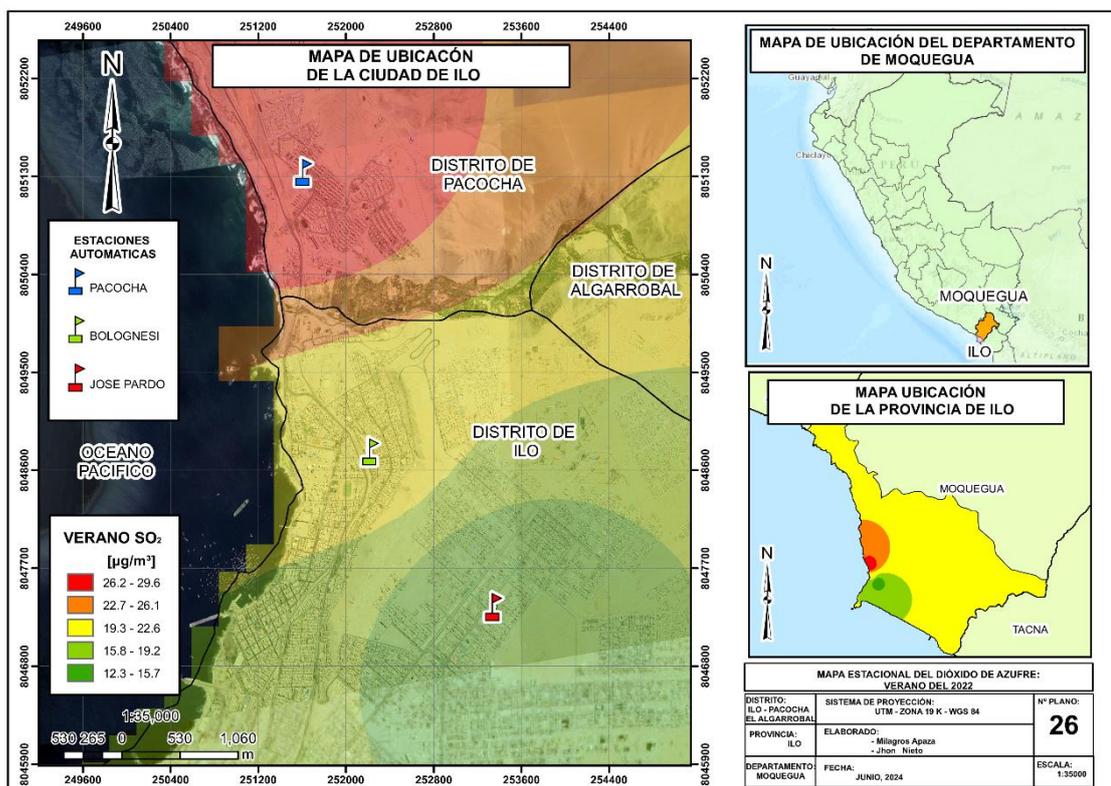
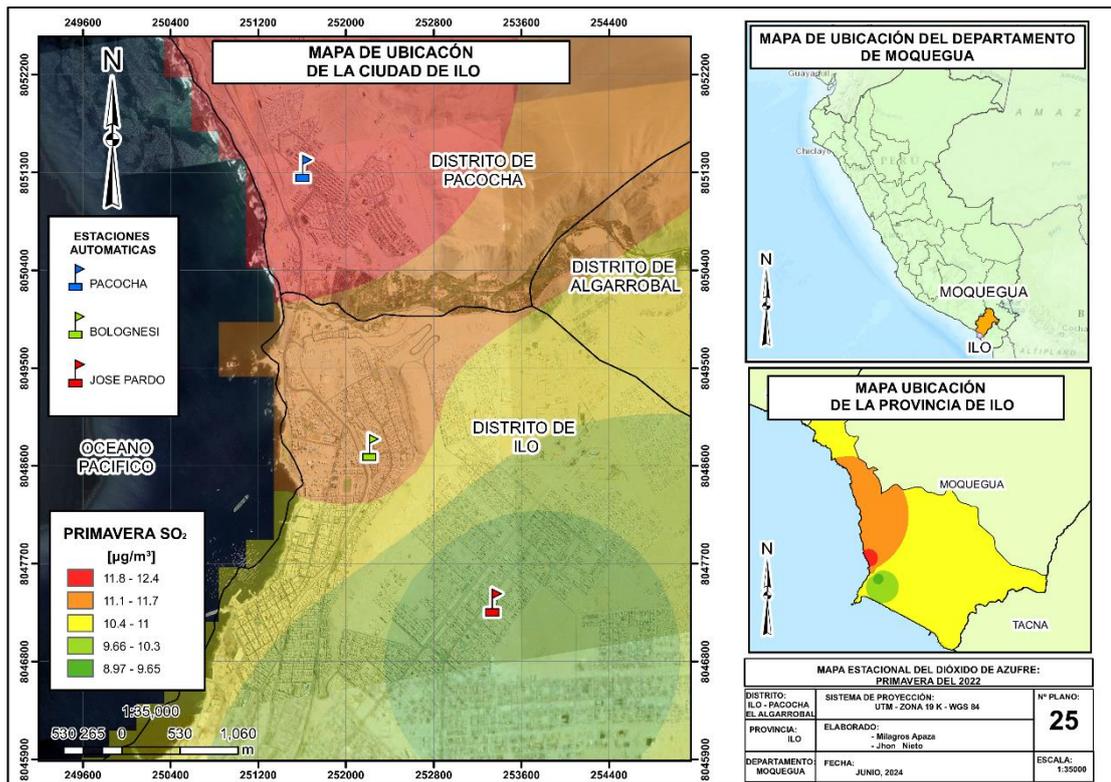












**Anexo 7. Tablas de concentraciones de imágenes satelitales Sentinel 5P y
estaciones automáticas de los años 2021 y 2022**

Bolognesi CO 2021			Bolognesi CO 2022		
Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²	Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²
Enero	344,05	26609,52	Enero	258,28	25236,74
Febrero	331,41	28605,62	Febrero	247,19	28853,35
Marzo	352,57	26853,59	Marzo	240,90	27044,12
Abril	616,92	23819,75	Abril	218,29	25215,05
Mayo	590,01	23668,43	Mayo	239,60	23360,15
Junio	157,89	23229,14	Junio	212,27	22593,85
Julio	271,14	23128,11	Julio	225,34	24468,53
Agosto	255,33	25916,17	Agosto	226,61	23106,66
Setiembre	246,47	31036,83	Setiembre	265,69	27691,08
Octubre	244,66	27473,14	Octubre	254,05	24638,47
Noviembre	253,12	25159,95	Noviembre	218,26	24176,60
Diciembre	293,08	25724,13	Diciembre	237,17	26086,50

Pacocha CO 2021			Pacocha CO 2022		
Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²	Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²
Enero	290,18	26691,03	Enero	231,53	24878,63
Febrero	475,87	28127,11	Febrero	235,19	28744,1
Marzo	320,55	26927,76	Marzo	242,94	27700,50
Abril	356,29	24161,90	Abril	248,77	25419,31
Mayo	313,26	23647,91	Mayo	179,73	23720,55
Junio	400,89	22794,31	Junio	168,30	22636,64
Julio	274,02	22816,81	Julio	180,82	24530,68
Agosto	234,58	24940,21	Agosto	207,30	22876,94
Setiembre	219,89	31999,63	Setiembre	226,48	27465,18
Octubre	208,11	28247,41	Octubre	208,87	24505,94
Noviembre	197,06	25319,74	Noviembre	209,31	24367,29
Diciembre	235,35	25728,52	Diciembre	234,14	25199,00

Jose Pardo CO 2021			Jose Pardo CO 2022		
Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²	Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²
Enero	327,67	26494,48	Enero	295,98	25105,49
Febrero	308,79	27913,55	Febrero	318,88	29056,37
Marzo	418,57	26548,60	Marzo	300,97	26944,46
Abril	438,32	24043,07	Abril	295,89	25346,74
Mayo	322,53	23960,03	Mayo	301,24	23599,87
Junio	311,84	23632,72	Junio	262,15	22523,39
Julio	329,53	23391,71	Julio	259,13	24196,70
Agosto	309,43	25669,62	Agosto	288,89	23716,87
Setiembre	313,65	31113,30	Setiembre	314,05	27530,72
Octubre	305,07	27299,58	Octubre	266,00	25245,82
Noviembre	277,22	24918,55	Noviembre	247,08	24204,09
Diciembre	354,67	25653,06	Diciembre	303,00	25872,93

Bolognesi NO₂ 2021			Bolognesi NO₂ 2022		
Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²	Mes	Tierra µg/m³	Satélite µmol/m²
Enero	5,37	7,91	Enero	4,00	9,37
Febrero	5,39	9,05	Febrero	4,06	11,05
Marzo	3,77	8,99	Marzo	3,61	9,46
Abril	4,75	9,71	Abril	5,17	9,70
Mayo	5,71	9,92	Mayo	6,51	7,67
Junio	6,48	8,51	Junio	5,87	12,53
Julio	7,50	13,99	Julio	6,72	10,91
Agosto	6,07	12,14	Agosto	6,46	12,64
Setiembre	6,15	15,87	Setiembre	6,41	11,18
Octubre	5,82	10,45	Octubre	5,82	11,61
Noviembre	5,03	6,51	Noviembre	5,97	10,05
Diciembre	4,51	10,53	Diciembre	4,96	10,54

Pacocha NO₂ 2021		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	4,01	7,17
Febrero	4,64	9,45
Marzo	3,96	7,75
Abril	4,18	10,42
Mayo	5,39	10,58
Junio	5,03	8,59
Julio	5,44	12,41
Agosto	4,82	13,85
Setiembre	5,60	16,50
Octubre	4,98	10,45
Noviembre	4,26	6,96
Diciembre	4,05	10,33

Pacocha NO₂ 2022		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	4,70	8,99
Febrero	4,49	11,03
Marzo	4,18	8,71
Abril	5,17	11,13
Mayo	7,04	8,13
Junio	0,00	12,11
Julio	0,00	9,32
Agosto	0,00	12,85
Setiembre	0,00	12,02
Octubre	0,00	12,54
Noviembre	0,00	10,71
Diciembre	0,00	8,76

Jose Pardo NO₂ 2021		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	7,23	7,40
Febrero	7,38	7,47
Marzo	12,44	9,99
Abril	10,89	8,51
Mayo	12,19	7,64
Junio	8,87	9,10
Julio	7,78	12,78
Agosto	6,91	13,60
Setiembre	6,83	17,51
Octubre	6,70	10,57
Noviembre	5,71	6,84
Diciembre	6,25	10,84

Jose Pardo NO₂ 2022		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	5,34	9,76
Febrero	5,25	10,78
Marzo	5,22	9,56
Abril	5,75	9,96
Mayo	5,15	8,20
Junio	6,12	11,41
Julio	5,34	11,44
Agosto	5,23	12,98
Setiembre	5,25	11,91
Octubre	4,44	11,03
Noviembre	4,45	10,03
Diciembre	4,76	9,68

Bolognesi SO₂ 2021		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	9,98	328,39
Febrero	11,48	534,69
Marzo	7,77	172,29
Abril	8,81	275,66
Mayo	11,33	620,51
Junio	11,81	99,88
Julio	12,76	823,56
Agosto	13,58	272,49
Setiembre	14,03	176,40
Octubre	13,89	142,17
Noviembre	14,18	542,79
Diciembre	15,12	228,45

Bolognesi SO₂ 2022		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	16,61	68,18
Febrero	17,13	127,52
Marzo	14,55	685,86
Abril	15,52	354,98
Mayo	12,19	0,00
Junio	9,18	0,00
Julio	6,00	81,66
Agosto	6,22	41,08
Setiembre	7,17	0,00
Octubre	7,44	59,09
Noviembre	8,65	77,89
Diciembre	11,16	220,38

Pacocha SO₂ 2021		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	7,72	320,69
Febrero	9,26	442,58
Marzo	10,29	159,08
Abril	9,95	277,75
Mayo	11,18	723,53
Junio	10,12	144,02
Julio	10,77	753,97
Agosto	11,18	217,34
Setiembre	11,43	176,40
Octubre	11,36	182,76
Noviembre	11,05	461,94
Diciembre	11,91	195,45

Pacocha SO₂ 2022		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	13,08	96,80
Febrero	14,09	92,22
Marzo	13,70	738,83
Abril	14,12	428,67
Mayo	9,37	0,00
Junio	8,07	0,00
Julio	6,93	219,06
Agosto	7,40	47,01
Setiembre	7,81	182,00
Octubre	7,95	145,89
Noviembre	8,18	107,29
Diciembre	9,94	377,46

Jose Pardo SO₂ 2021		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	12,51	317,25
Febrero	13,97	480,20
Marzo	6,98	167,36
Abril	7,55	285,81
Mayo	8,78	539,51
Junio	9,24	106,63
Julio	6,15	849,05
Agosto	5,09	181,56
Setiembre	5,47	173,97
Octubre	5,81	93,02
Noviembre	6,17	520,32
Diciembre	7,11	210,70

Jose Pardo SO₂ 2022		
Mes	Tierra	Satélite
	µg/m³	µmol/m²
Enero	7,71	80,39
Febrero	8,37	211,00
Marzo	8,95	770,11
Abril	8,74	327,79
Mayo	3,61	0,00
Junio	5,85	0,00
Julio	4,77	143,57
Agosto	5,42	65,31
Setiembre	6,00	0,00
Octubre	6,92	73,72
Noviembre	7,91	151,35
Diciembre	8,90	196,93

Anexo 8. Script desarrollado en Google Earth Engine

```

var imageCollection=ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO");

var bounds= table;

var arregloImagenesGrafico=[];

var recortar=function(image){
  return image.clip( bounds);
};

var NivelCO = imageCollection
  .filterBounds(bounds )
  .select('CO_column_number_density')
  .map(recortar);

var startYear = 2022;
var endYear = 2022;

var years = ee.List.sequence(startYear, endYear);

var months = ee.List.sequence(1,12);

var imagenes=ee.ImageCollection(ee.FeatureCollection(years.map(function(year){
  var yearCollection = NivelCO.filter(ee.Filter.calendarRange(year, year, 'year'));
  var byYear= ee.ImageCollection.fromImages(months.map(function(month) {
    var fecha= ee.Date(ee.Date.fromYMD(year, month, 1).format("YYYY-MM-dd"));
    var date = fecha.millis();

    var collectionMensual=yearCollection.filter(ee.Filter.calendarRange(month, month,
'month'))

      .mean();

    var imagenControl=ee.Image(1).rename("BControl");
    collectionMensual= collectionMensual.addBands(imagenControl);

    collectionMensual= collectionMensual;

    collectionMensual= collectionMensual.multiply(1e6);
  }));
}));

```

```

collectionMensual= collectionMensual;

    return collectionMensual.set({'system:time_start': date,"fecha":fecha.format("dd-
MM-YYYY")) ;

    });

return byYear ;

)).flatten());

var band_viz = {

    min: 0,

    max: 32000,

    palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green', 'yellow', 'red']

};

var listaImagenes=imagenes.toList(imagenes.size());

var puntos={

    p1:[ee.Geometry.Point(-71.34,-17.61),{color:'red'},'ILO-PACOCCHA',0],

    p2:[ee.Geometry.Point(-71.33,-17.63),{color:'yellow'},'ILO-BOLOGNESI',0],

    p3:[ee.Geometry.Point(-71.325,-17.647),{color:'green'},'ILO-JOSE PARDO',0],

};

for(var i=0;i<listaImagenes.size().getInfo();i++)

    var imagen=ee.Image(ee.List(listaImagenes).get(i));

    var

boolean=imagen.bandNames().equals(["CO_column_number_density","BControl"]);

    if( boolean.getInfo()){

        var desFecha=imagen.get('fecha').getInfo();

        imagen=imagen.select("CO_column_number_density");

```

```

Export.image.toDrive({
  image: imagen,
  folder: 'llo',
  scale: 1113,
  region: bounds,
  description: 'CO2-'+desFecha
})

for (var key in puntos){
  var punto=puntos[key][0];
  var
inspeccionCO=imagen.sample(punto,1113).first().get('CO_column_number_density');
  print(desFecha,puntos[key][2],inspeccionCO);
  }
  arreglolimagenesGrafico.push(imagen);
  Map.addLayer(imagen,band_viz,desFecha,false);
}
}

var grafico =ui.Chart.image.series( ee.ImageCollection(
arreglolimagenesGrafico),bounds , ee.Reducer.mean(), 1113)

  .setOptions({
    title: 'Comportamiento del CO',
    hAxis: {
      title: 'Dia del año',
      titleTextStyle: {italic: false, bold: true}
    },
    vAxis: {
      title: 'CO',

```

```
        titleTextStyle: {italic: false, bold: true}
    },
    lineWidth: 5,
    colors: ['39a8a7'],
  });

print(grafico);

for (var key in puntos){
    Map.addLayer(puntos[key][0],puntos[key][1],
    puntos[key][2], puntos[key][3]);
}

Map.centerObject(bounds ,8);
```

Anexo 9. Código desarrollado en de Rstudio

```
spplot(ilo_stk5, layout=c(3,4), col.regions=rev(terrain.colors(length(brks))),
main="Concentración mensual de SO2 (umol/m2)",colorkey = list(space = "bottom"))
```

```
spplot(ilo_stk3, at = round(brks, digits=2), col.regions= rev(terrain.colors(length(brks))),
main="Concentración mensual de NO2 (umol/m2) - 2022",colorkey = list(space =
"bottom"))
```

```
spplot(ilo_stk1, at = brks2, col.regions=colorRampPalette(c("blue","cyan",
"#06d128","yellow", "red"))(length(brks2)), colorkey = list(space = "bottom"))#sp.layout=
pols3
```

```
timePlot(data21, pollutant = c("CO_UGM3_1", "CO_UGM3_2","CO_UGM3_3"), group =
FALSE, plot.type = "l", auto.text=FALSE, avg.time = "hour", xlab = "Meses", ylab =
"Concentración CO ( $\mu\text{g}/\sim\text{m}^3$ )", pch = 10, cex = 0.01, lty = 1, lwd = 1,
col=c("darkblue","orange","green"), cex.main= 0.05, col.main = "red", name.pol =
c("Bolognesi","Pacocha","Jose Pardo"), key = FALSE, ref.y = list(h = 4100, lty = 1, lwd
=2, col= "red"), ylim= c(0, 4200), date.breaks = 12,data.tresh=75, smooth=FALSE)
```

```
timePlot(data21, pollutant = c("NO2_UGM3_1", "NO2_UGM3_2","NO2_UGM3_3"),
group = FALSE, plot.type = "l", auto.text=FALSE, avg.time = "hour", xlab = "Meses", ylab
= "Concentración NO2" ( $\mu\text{g}/\sim\text{m}^3$ )", pch = 16, cex = 0.05, lty = 1, lwd = 1,
col=c("darkblue","orange","green"), cex.main= 0.05, col.main = "red", name.pol =
c("Bolognesi","Pacocha","Jose Pardo"), key=FALSE, ref.y = list(h = 67, lty = 1, lwd =2,
col= "red"), ylim= c(0, 70), date.breaks = 12,data.tresh=75, smooth=FALSE)
```

```
timePlot(data21, pollutant = c("SO2_UGM3_1", "SO2_UGM3_2","SO2_UGM3_3"),
group = FALSE, plot.type = "o", auto.text=FALSE, avg.time = "day",data.thresh = 75, xlab
= "Meses", ylab = "Concentración SO2" ( $\mu\text{g}/\sim\text{m}^3$ )", pch = 16, cex = 0.2, lty = 1,
lwd = 1, col=c("darkblue","orange","green"), cex.main= 0.05, col.main = "red", name.pol
= c("Bolognesi","Pacocha","Jose Pardo"), key= FALSE, smooth=FALSE, ref.y = list(h =
135, lty = 1, lwd =2, col= "red"), ylim= c(0, 140), date.breaks = 12)
```