



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Estimación de la concentración de material particulado mediante
sensoramiento remoto en la provincia de Lima, 2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Pecho Chipa, Hugo (ORCID: 0000-0002-0541-1525)

ASESOR:

MSc. Solorzano Acosta, Richard Andi (ORCID: 0000-0003-3248-046X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi madre y padre con mucho amor, a mis hermanos y todas aquellas personas que siempre confiaron en mí, les dedico toda la disciplina puesta en la elaboración de la presente investigación.

AGRADECIMIENTO

A mi madre y padre con mucho amor les agradezco todo el apoyo brindado hasta esta etapa tan importante de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño de investigación	12
3.2. Variables y operacionalización.....	13
3.3. Población, muestra y muestreo.....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5. Procedimientos	16
3.6. Método de análisis de datos.....	19
3.7. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS	21
V. DISCUSIÓN.....	28
VI. CONCLUSIONES	31
VII. RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes del PM-10 y PM-2.5	6
Tabla 2: Operacionalización de Variables	13
Tabla 3: Estaciones automáticas de calidad del aire - SENAMHI.....	15
Tabla 4: Características del Instrumento Multiespectral a bordo de Sentinel 2 ...	16
Tabla 5: Coeficientes estimadores de las concentraciones diarias de PM10	21
Tabla 6: Coeficientes estimadores de las concentraciones diarias de PM2.5	22
Tabla 7: Análisis de varianza de los modelos de regresión a escala diaria	23
Tabla 8: Coeficientes estimadores de las concentraciones horarias de PM10	25
Tabla 9: Coeficientes estimadores de las concentraciones horarias de PM2.5 ...	25
Tabla 10: Análisis de varianza de los modelos de regresión a escala horaria.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Efectos de la exposición al material particulado.....	7
Figura 2: Diagnósticos de cáncer e infecciones respiratorias agudas.....	8
Figura 3: Mantenimiento constante de las estaciones de monitoreo de calidad del aire (SENAMHI).....	9
Figura 4: Esquema gráfico de una imagen satelital.....	10
Figura 5: Área de estudio - Provincia de Lima.....	14
Figura 6: Diagrama de Procesos.....	18
Figura 7: Gráfica Q-Q normal de residuos de los modelos significativos a escala diaria	23
Figura 8: Comparación de valores in situ y estimados a escala diaria de las concentraciones de material particulado	24
Figura 9: Gráfica Q-Q normal de residuos de los modelos significativos a escala horaria	26
Figura 10: Comparación de valores in situ y estimados a escala horaria de las concentraciones de material particulado	27

RESUMEN

La contaminación del aire es una de las mayores preocupaciones, ya que, genera afectaciones en la salud y el ambiente, por otro lado, el monitoreo mediante estaciones convencionales tiene un alto costo y requiere constante mantenimiento generando brechas temporales a largo plazo. En tal sentido, la provincia de Lima por su gran expansión urbana tiene una alta contaminación por material particulado y las estaciones actuales tienen desventajas. Es por ello, que el objetivo de esta investigación fue estimar la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima. Para ello, se utilizaron las imágenes multiespectrales del sensor MSI a bordo de los satélites Sentinel 2A y 2B, por otro lado, se solicitaron a las estaciones automáticas de SENAMHI los datos de material particulado (PM10 y PM2.5) a escala diaria y horaria para el periodo conformado por los años 2017 al 2020. Las imágenes multiespectrales se dividieron según el porcentaje de nubosidad ($20\% \leq \text{NUBOSIDAD} < 20\%$), así mismo, se calculó la reflectancia en la parte superior de la atmosfera (TOA). De esta manera, en función a los datos de material particulado solicitados se identificaron las bandas espectrales que influyeron significativamente en la estimación de estos contaminantes, adicionalmente, mediante el análisis de varianza se validaron las ecuaciones obtenidas ($p\text{-valor} < 0.05$), finalmente al contrastar los valores medidos con los estimados se obtuvo como resultado que el poder estimador para las concentraciones de PM10 a escala diaria fueron mayores con coeficientes de determinación de 0.63 ($20\% \leq \text{NUBOSIDAD}$) y de 0.65 ($\text{NUBOSIDAD} < 20\%$), para el caso de las concentraciones horarias se obtuvieron coeficientes de determinación de 0.52 ($20\% \leq \text{NUBOSIDAD}$) y 0.35 ($\text{NUBOSIDAD} < 20\%$). En el caso de las concentraciones de PM2.5 el poder estimador fue mínimo, puesto que, se obtuvieron valores de 0.41 ($20\% \leq \text{NUBOSIDAD}$) y 0.45 ($\text{NUBOSIDAD} < 20\%$) a escala diaria y de 0.30 ($20\% \leq \text{NUBOSIDAD}$) y 0.34 ($\text{NUBOSIDAD} < 20\%$) a escala horaria.

Palabras clave: imágenes multiespectrales, satélites, reflectancia, material particulado

ABSTRACT

Air pollution is one of the biggest concerns, since it generates effects on health and the environment, on the other hand, monitoring through conventional stations has a high cost and requires constant maintenance, generating long-term temporary gaps. In this sense, the province of Lima, due to its great urban expansion, has a high pollution by particulate matter and the current stations have disadvantages. That is why the objective of this research was to estimate the concentration of particulate material through remote sensing in the province of Lima. For this, the multispectral images of the MSI sensor on board the Sentinel 2A and 2B satellites were used, on the other hand, the SENAMHI automatic stations were requested the particulate material data (PM10 and PM2.5) on a daily and hourly scale for the period consisting of the years 2017 to 2020. The multispectral images were divided according to the percentage of cloudiness ($20\% \leq \text{CLOUDY} < 20\%$), likewise, the reflectance in the upper part of the atmosphere (TOA) was calculated. In this way, based on the requested particulate material data, the spectral bands that significantly influenced the estimation of these pollutants were identified, additionally, through the analysis of variance the equations obtained were validated ($p\text{-value} < 0.05$), finally at Contrasting the measured values with the estimated ones, the result was that the estimating power for PM10 concentrations on a daily scale were higher with coefficients of determination of 0.63 ($20\% \leq \text{CLOUDY}$) and 0.65 ($\text{CLOUDY} < 20\%$), for the In the case of hourly concentrations, coefficients of determination of 0.52 ($20\% \leq \text{CLOUD}$) and 0.35 ($\text{CLOUD} < 20\%$) were obtained. In the case of PM2.5 concentrations, the estimating power was minimal, since values of 0.41 ($20\% \leq \text{CLOUD}$) and 0.45 ($\text{CLOUD} < 20\%$) were obtained on a daily scale and 0.30 ($20\% \leq \text{CLOUDNESS}$) and 0.34 ($\text{CLOUDNESS} < 20\%$) on an hourly scale.

Keywords: multispectral imaging, satellites, reflectance, particulate matter

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es una de las mayores preocupaciones en el mundo, ya que, el aumento de la población, urbanización, industrialización, deforestación y el crecimiento exagerado del parque automotor está generando una pérdida de la calidad de este recurso (Samad y Vogt, 2020, p. 1). Existen diversos contaminantes que influyen en la calidad del aire, sin embargo, el material particulado (PM) ha sido distinguido entre otros por ser considerado como el más dañino (Kim et al., 2020, p. 5).

El PM se puede clasificar según su diámetro aerodinámico en PM10 y PM2.5, estas partículas pueden contener componentes químicos y/o biológicos (Adhikari, 2020, p. 11); así mismo, están asociados a diversas complicaciones en la salud de las personas. El PM10 se deposita en las vías respiratorias superiores y grandes, causando efectos negativos en el sistema respiratorio, de manera similar, el PM2.5 se deposita en el tracto respiratorio y los alvéolos generando efectos dañinos en los pulmones y ocasionando problemas cardiovasculares (Zoran et al., 2020, p. 4).

En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en función a los datos recopilados de PM10 y PM2.5 tomados en aproximadamente 3000 ciudades de todo el mundo concluye que solo una de cada diez personas respira un aire limpio de acuerdo a los lineamientos de esta organización (WHO, 2016, p.17), de forma similar, investigaciones demuestran que el aumento de las concentraciones de estos contaminantes acrecienta el riesgo de mortalidad en las personas (Orellano et al., 2020, p. 13), del mismo modo, a largo plazo aumentan la probabilidad de contraer una enfermedad crónica renal (Liu, Fan y Huang, 2020, p. 6), adicionalmente, estudios han demostrado una relación significativa entre la exposición de PM2.5 y la incidencia de cáncer al pulmón, especialmente en países de bajos recursos (Wang et al., 2018, p. 595).

Sin embargo, el PM10 y PM2.5 no se limita a la afectación de la salud de las personas, a su vez, genera impactos perjudiciales al ambiente, puesto que, fenómenos como las precipitaciones benefician a que estas partículas lleguen a la

superficie y alteren el pH del suelo, así mismo, se depositen en los cuerpos de agua generando una acumulación de materiales orgánicos e inorgánicos (Hussain y Keçili, 2020, p. 386), además, estas partículas interactúan con la radiación solar perturbando el balance de energía e inclusive impidiendo que la energía alcance a los seres fotosintéticos (Dubovik et al., 2019, p. 475).

El Perú se ha convertido en uno de los países con mayor expansión urbana, concentrando toda su urbanización en la provincia de Lima, la cual es destacada por ser una de las zonas con mayor contaminación del aire exterior por diversos contaminantes tales como el PM10 y PM2.5 (Tapia et al., 2018, p. 195), al respecto, el Ministerio de Salud reporta un crecimiento de la mortalidad de 9.25% a 10.46% para los años 2014 y 2016 respectivamente, asociados a problemas respiratorios (MINSAL, 2019, p. 72), así mismo, particularmente las concentraciones de PM2.5 rebasan los límites establecidos por la OMS y se estima que del 20% de las muertes en la provincia de Lima, 190 son a causa de cáncer pulmonar, 1910 por problemas cardiovasculares y 230 debido a complicaciones cerebro-vasculares, siendo más vulnerables los escolares expuestos al parque automotor (Gonzales et al., 2014, p. 550).

Es por ello, que existe una necesidad de monitorear constantemente estos contaminantes. De esta forma, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) adscrito al Ministerio del Ambiente (MINAM) viene realizando desde el 2010 acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del aire en la provincia de Lima (Pacsi, 2016, p. 274), estas estaciones monitorean diversos contaminantes entre los cuales se destaca el PM10 y PM2.5 (Romero, et al., 2020, p. 2). Sin embargo, las estaciones de monitoreo de calidad del aire tienen un costo elevado, lo cual limita su uso solo para ubicaciones específicas, adicionalmente, requieren un mantenimiento constante generando un vacío temporal de datos (Penza, 2020, p. 235). Además, es importante precisar, que el comportamiento de los contaminantes en un área urbana tiene una gran variabilidad espacial (Liu et al., 2020, p. 1), por lo cual, el monitoreo convencional no ofrece la observación espacial suficiente de los contaminantes en un área en particular, y puede generar deficiencias en las mediciones a largo plazo, especialmente en países menos desarrollados (Lin et al., 2020, p. 2).

En los últimos años la disponibilidad gratuita de imágenes satelitales y las mejoras de las capacidades computacionales (Heimhuber, Tulbure y Broich, 2018, p. 307) , así como, los recientes avances en el uso de los sensores remotos para monitorear contaminantes atmosféricos resultan ser prometedores, puesto que, alcanzan una mayor área espacial, además de, haberse desarrollado investigaciones en las que se estiman contaminantes mediante sensoramiento remoto y mediciones realizadas en tierra (Pinder et al., 2019, p. 3).

Por tales razones, se planteó la siguiente interrogante de investigación ¿Cómo estimar la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima?, del mismo modo, nos formulamos las siguientes interrogantes específicas ¿Cuáles son las bandas espectrales que mejor estiman la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto?, ¿Cuál es la ecuación que mejor estima la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto? y ¿Cómo contrastar la reflectancia de las imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) y la concentración de material particulado de las estaciones automáticas de SENAMHI ubicadas en la provincia de Lima?.

Es por tal motivo, que el estimar la concentración de contaminantes atmosféricos como el PM10 y PM2.5 sería de gran beneficio para los tomadores de decisiones, ya que, desde un enfoque legal contribuiría con las competencias de SENAMHI al monitorear contaminantes atmosféricos mediante sistemas integrados y técnicas de sensoramiento remoto a una mejor resolución espacial y temporal (MINAM, 2016), es decir, realizar monitoreos mediante el uso de imágenes satelitales a una escala menor con la finalidad de obtener la distribución de los contaminantes y que la obtención de los productos satelitales no tenga una amplia brecha temporal.

Además, el uso de las imágenes derivadas del sensor MSI del satélite Sentinel 2 para estimar la concentración de material particulado complementaria la información recolectada por las estaciones automáticas de SENAMHI, así mismo, se podrían realizar análisis multitemporales de estos contaminantes, además de, usar las imágenes satelitales de este sensor para complementar las del satélite

Landsat 8 u otro similar (Shao et al., 2019, p. 235) y generar información más enriquecedora a una resolución temporal mayor, lo cual permitiría la generación de instrumentos y estrategias para la gestión de la calidad del aire.

Por otro lado, desde una perspectiva económica el uso de las imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) son una gran alternativa, puesto que, estos productos son de acceso libre, es decir, la Agencia Espacial Europea (ESA) desarrolladora de este sensor cuenta con una política que permite el acceso gratuito a toda estas imágenes (Corbane et al., 2020, p. 3), adicionalmente , los programas utilizados en esta investigación para el preprocesamiento y análisis de las imágenes satélites tales como Rstudio y Qgis son de acceso libre, por ende, este escrito intenta motivar el desarrollo de investigaciones enfocadas en la calidad del aire y el uso de datos satelitales.

Por lo expuesto anteriormente, la presente investigación tiene como objetivo estimar la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima, por consiguiente, se plantean los siguientes objetivos específicos, identificar las bandas espectrales que mejor estimen la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto, determinar la ecuación que mejor estime la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto, y comparar la reflectancia de las imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) y la concentración de material particulado de las estaciones automáticas de SENAMHI ubicadas en la provincia de Lima.

II. MARCO TEÓRICO

La contaminación del aire es la alteración de este recurso por una amplia gama de sustancias de diferentes fuentes (Miller, 2020, p. 69), siendo PM uno de los contaminantes más comunes (Oliveira et al., 2019, p. 181). Este contaminante es cualquier sustancia en estado líquido o sólido que se encuentra en la atmósfera en dimensiones microscópicas y submicroscópicas (Morantes, Rincón y Pérez, 2019, p. 180), así mismo, se le considera una combinación de partículas sólidas y líquidas con características físicas y químicas que varían según la ubicación geográfica (Salvador, 2017, p. 8), adicionalmente, es importante precisar que el PM abarca todo tipo de aerosoles (Thurston, 2016, p. 368).

Es así, que este conjunto de partículas se produce por fuentes naturales tales como la actividad volcánica o tormentas de polvo (Schikowski y Altuğ, 2020, p. 2), sin embargo, las actividades antrópicas son la principal fuente de este material (Wang, Liu y Zeng, 2020, p. 2), siendo principalmente las actividades impulsadas por combustibles fósiles o el desarrollo de actividades comerciales e industriales que generan esta problemática (Leal, 2019, p. 2).

Esta mezcla compleja de partículas se clasifican según su diámetro aerodinámico (Du et al., 2020, p. 1), por ende, se les catalogan como partículas gruesas (PM10) por encontrarse entre los valores de $2.5\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ y partículas finas (PM2.5) por tener valores inferiores a $2.5\mu\text{m}$ (Stanek y Brown, 2019, p. 6). Adicionalmente, es importante mencionar que la clasificación de este contaminante es fundamental para determinar el tiempo de permanencia en la atmósfera e identificar en que partes del tracto respiratorio se podrían depositar (Olaya, Ovalle y Urbano, 2017, p. 343).

En este sentido, tanto el PM10 como el PM2.5 albergan diversos componentes (Tabla 1) orgánicos e inorgánicos. Adicionalmente, las propiedades físicas de estos contaminantes influyen en la mezcla de sus componentes, número y distribución de tamaño, mientras que la composición química influye en la toxicidad, propiedades de transporte y comportamiento de oxidación (Chen et al., 2019, p. 39).

Tabla 1: Componentes del PM-10 y PM-2.5

Fracción de PM	Origen de la fuente	Principales componentes
Fracción gruesa (PM10)	Actividades agrícolas	Suelo agrícola, carbono orgánico (CO)
	Resuspensión de polvo de tráfico	Polvo de la carretera
	Polvo de construcción, actividades mineras arrastradas por el viento y resuspensión de industrias	Silicio, Aluminio, Titanio, Hierro
	Desgaste de neumáticos y frenos	Cobre, Zinc
	Combustión de energía y manufactura industrial (carbón, coque, petróleo pesado)	Carbono elemental (CE)
	Volcanes e incendios	Las cenizas de los volcanes, carbono orgánico (CO) quemado
	Fuentes biológicas	Restos de plantas y esporas de hongos
	Rocío de mar	Sodio, Cloro, Magnesio
Fracción fina (PM2.5)	Motores de vehículos a diésel	Carbono negro (CN)
	Combustión de biomasa	Carbono orgánico (CO), Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPs)
	Tráfico marítimo	Carbono negro (CN), carbono orgánico (CO), sulfatos
	Combustión de energía y manufactura industrial	Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo, Vanadio, Níquel, Selenio, Sulfatos
	Procesos en industrias no metálicas	Silicio, Aluminio, Hierro
	Actividades de procesamiento de metales	Plomo, Cadmio, Cromo, Zinc

Fuente: Nzihou, 2020

Es esta gamma de elementos y su íntima relación con los problemas en la salud de las personas (Kim, Cho y Park, 2016, p. 3), que investigaciones han demostrado que el PM10 se puede depositar en la piel, el tracto respiratorio y digestivo, ocasionando a largo plazo daños cancerosos en las vías respiratorias, sistema cardiovascular, inmunológico y endocrino, además de, inducir a problemas cerebrovasculares (Cen et al., 2020, p. 2). Cabe destacar, que el efecto puede ser mayor en poblaciones vulnerables como niños, ancianos y lactantes, ya que, a estos últimos les puede generar bronquiolitis (Carugno et al., 2018, p. 456).

De forma similar, el PM2.5 al ser inhalado se deposita y tiene efectos sobre el pulmón, luego se sitúan sobre los bronquiolos pulmonares y alvéolos produciendo inflamación, al mismo tiempo daña el sistema inmunológico y aumenta la

probabilidad de enfermedades infecciosas (Li, Song y Mao, 2019, p. 2). Así mismo, la ingesta de PM2.5 dificulta la respiración, genera malestar, dolencia en el pecho y tos (Kim, Kabir y Kabir, 2015, p. 138).

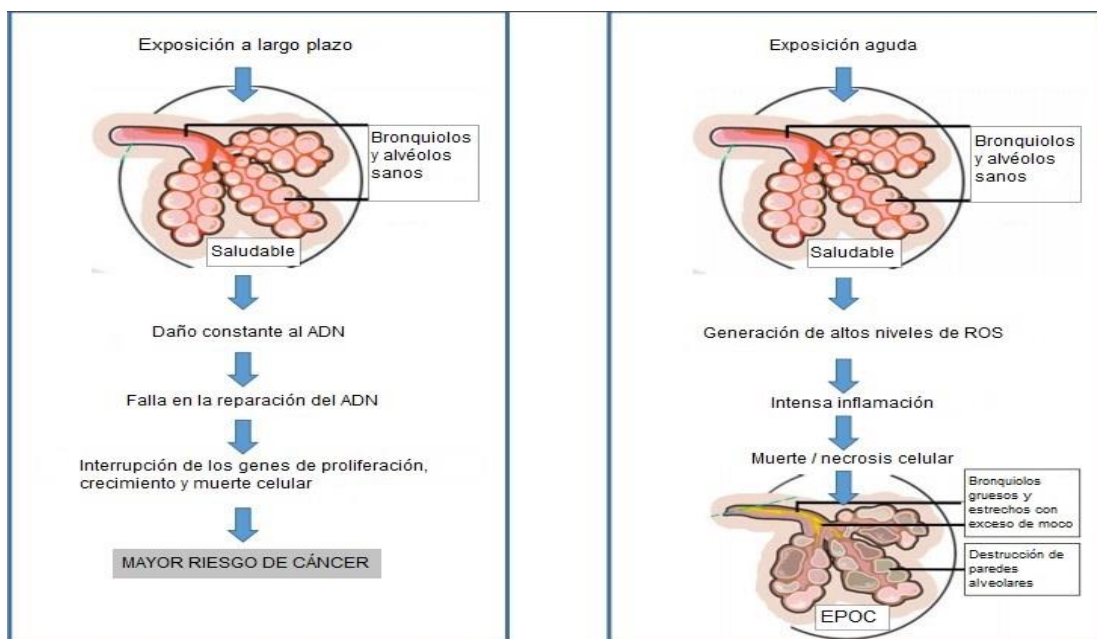


Figura 1: Efectos de la exposición al material particulado

Fuente: Peixoto, de Oliveira Galvão y Batistuzzo de Medeiros, 2017

La exposición de PM daña y deteriora los procesos de reparación del ADN – Ácido Desoxirribonucleico (Liu et al., 2020, p. 7), aumentando el riesgo y la probabilidad de contraer cáncer (Wang et al., 2020, p. 11), por otro lado, a corto plazo genera la formación de ROS – Especies de oxígeno reactivas, los cuales generan daños en macromoléculas celulares (Vogel et al., 2020, p. 2), en consecuencia, ocasiona una inflamación en los bronquiolos y alvéolos (Figura 1), finalmente termina generando necrosis, es decir, la muerte de las células y tejidos.

En este contexto, a nivel nacional existe una tendencia en el aumento de casos diagnosticados por cáncer, de forma similar, sucede en la provincia de Lima (Figura 2). En el caso de las atenciones en niños y niñas de 5 años por infecciones respiratorias agudas se observa que a nivel nacional se ha reducido, sin embargo, la cantidad de atenciones alcanza valores de 2 millones, para el caso de la provincia de Lima supera las 420 000 atenciones por infecciones respiratorias agudas en niños y niñas de 5 años.

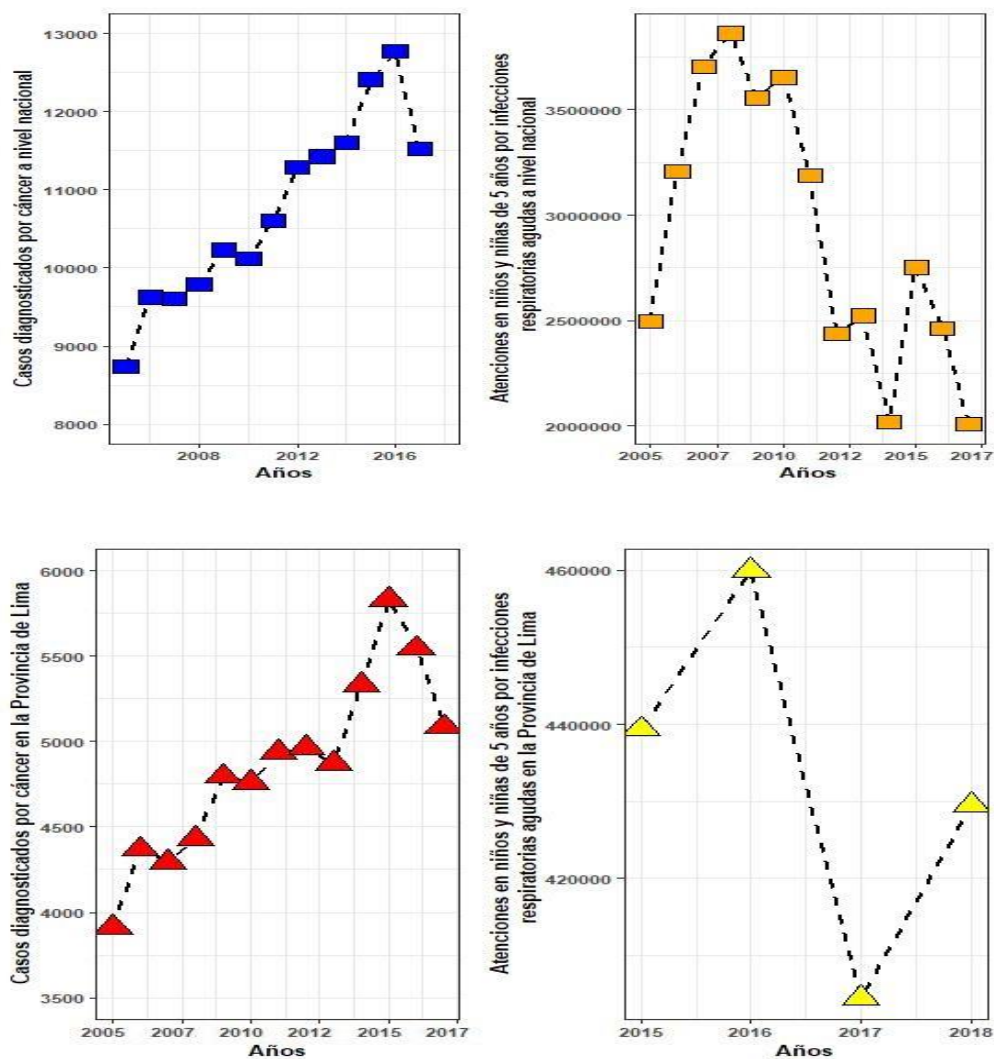


Figura 2: Diagnósticos de cáncer e infecciones respiratorias agudas

Fuente: Elaboración propia (INEI,2020)

Por otro lado, el material particulado puede depositarse en la vegetación urbana a través de procesos de deposición húmeda y seca (Zhu et al., 2019, p. 5), así mismo, facilita que las partículas finas se acumulen en la superficie terrestre mediante la humedad de la atmósfera, al contrario de la deposición seca que facilita que las partículas gruesas lleguen al suelo (Olague, 2017, p. 52).

De esta manera, el PM genera impactos negativos en los ecosistemas al reducir la visibilidad, dispersar y absorber la luz (Gourdji, 2018, p. 378), así mismo, reduce la radiación fotosintética impidiendo que las plantas realicen su normal funcionamiento, adicionalmente, las partículas más finas pueden inhibir el

crecimiento y el área foliar de las plantas, puesto que, estas ingresan a través de la abertura estomática (Rai, 2016, p. 124).

Se debe considerar, que parte del PM tiende a desplazarse al suelo por efecto de la lluvia (Xu et al., 2020, p. 7), por consiguiente, los metales contenidos en las partículas finas y gruesas (Gao et al., 2020, p. 9), podrían alterar las propiedades químicas y físicas del suelo, además, la absorción de estos elementos por las plantas ocasiona un peligro en toda la cadena trófica por la bioacumulación de estos compuestos (Briffa, Sinagra y Blundell, 2020, p. 6). De forma similar, los cuerpos de agua pueden ser contaminados por la compleja mezcla del PM, puesto que, las precipitaciones ocasionan que las partículas lleguen a mares, arroyos, ríos, lagos y aguas subterráneas (Schweitzer y Noblet, 2018, p. 262).

Actualmente la entidad nacional adscrita al MINAM y encargada de monitorear los contaminantes atmosféricos es SENAMHI (Decreto Legislativo N°1013, 2008), en este contexto, la provincia de Lima cuenta con estaciones de tipo automáticas, ya que, contribuyen a una normalización de los datos (Arteaga et al., 2017, p. 1302). Sin embargo, estos equipos tienen desventajas, tales como el elevado precio de aproximadamente 5000 a 30 000 euros, así mismo, requieren constante mantenimiento (Castell et al., 2017, p. 293), generando brechas temporales en las mediciones de los contaminantes, además de, limitar la generación mapas a una escala o resolución menor para el análisis de la variabilidad de los contaminantes atmosféricos (Schneider et al., 2017, p. 234).

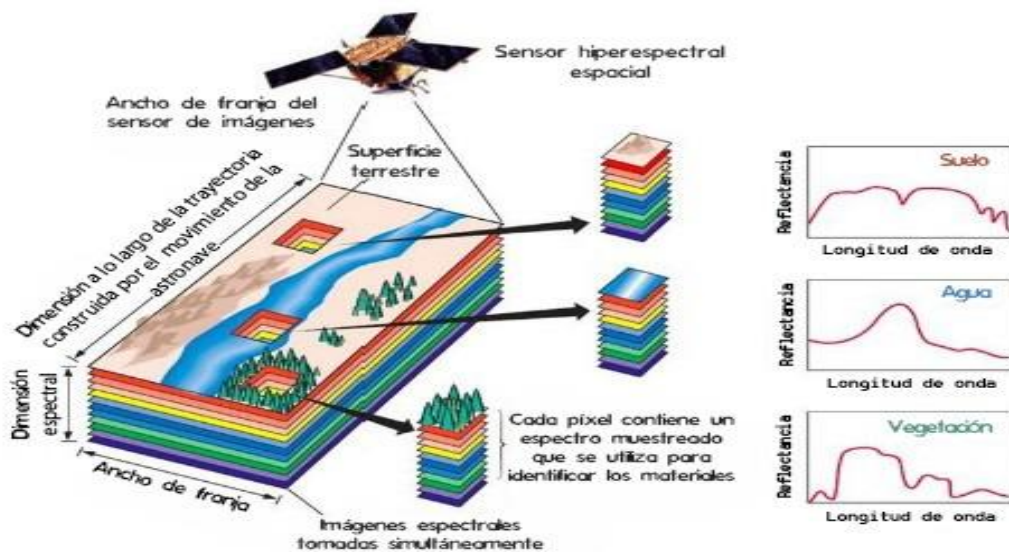


Figura 3: Mantenimiento constante de las estaciones de monitoreo de calidad del aire (SENAMHI)

Fuente: Elaboración propia (SENAMHI, 2020)

Ante ello, se generan diversas medidas e investigaciones para complementar esta necesidad o problemática, siendo uno de ellas la aplicación de técnicas de sensoramiento remoto. En tal sentido, el sensoramiento remoto o la adquisición de datos satelitales mediante sensores que no entran en contacto directo con el objeto de estudio (Phinzi y Ngetar, 2019, p. 29), y en función de la energía emitida, reflejada y transmitida por un cuerpo, proporcionan imágenes satelitales en el espectro electromagnético (Anyamba et al., 2015, p. 419). Cabe destacar, que la energía que refleje un cuerpo se registrará en base a las características del sensor o instrumento óptico, es así, que la cantidad de bandas que pueda registrar en el espectro visible e infrarrojo y térmico va a definir la resolución espectral del sensor (Auccahuasi et al., 2020, p. 2546). Así mismo, la resolución espacial o el nivel de detalle de la imagen satelital derivada del sensor puede variar desde centímetros a kilómetros (Graw et al., 2019, p. 116), lo cual, permite capturar la variabilidad espacial de un área de estudio (Gatis et al., 2019, p. 78).

Figura 4: Esquema gráfico de una imagen satelital



Fuente: Ariza, Oviedo y De la Hoz, 2020

De esta manera, la información recolectada por los sensores depende de la reflectancia en la parte superior de la atmósfera (TOA), la cual interactúa con partículas diminutas en el aire antes de llegar al sensor (Mhawish *et al.*, 2018, p. 52). Es así, que en base a datos derivados del sensor generador de imágenes avanzado Himawari (AHI) a bordo del satélite Himawari 8 demuestran que la

reflectividad TOA tiene un gran poder predictivo para las concentraciones de PM_{2.5} a escala de tiempos diarios y mensuales con un coeficiente de determinación de 0.93 y 0.94 respectivamente (Liu, Weng y Li, 2019, p. 120), adicionalmente, se determinó un error cuadrático medio 26.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 25.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la recuperación de PM-2.5 a escala horaria y diaria (Yan *et al.*, 2020, p. 12).

Por otro lado, a partir de los datos del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) a bordo de los satélites TERRA y AQUA, se determinando que la reflectancia espectral de las observaciones satelitales contiene información relacionada con el tamaño de los aerosoles y que es posible extraer de forma más precisa la fracción modo fina (FMF) usado para estimar concentraciones de PM_{2.5} (Chen *et al.*, 2020, p. 13). Es importante precisar, que investigaciones aplican la profundidad óptica de aerosoles (AOD), es decir, una medición procedente de las bandas espectrales centradas en 0.47 μm , 0.66 μm y 2.1 μm (Guo *et al.*, 2017, p. 3), sin embargo, el AOD depende en gran medida de cómo se combinen las bandas espectrales (Fougnie *et al.*, 2020, p. 4). De esta manera, en Montreal (Canadá) mediante el AOD se estimó la concentración de PM-2.5 con un coeficiente de determinación que oscilan entre 0.86 y 0.93 (Wang y Chen, 2016, p. 1067). En Israel a partir del AOD derivado del sensor MODIS se estimó las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} de manera diaria e interdiaria con coeficientes de determinación de 0.81 y 0.92 (Shtein *et al.*, 2018, p. 151).

En China mediante el uso del sensor MODIS y el AOD se estimó las concentraciones de PM₁₀ con relaciones empíricas, obteniendo un coeficiente de determinación de 0.82, 0.68, 0.66 y 0.52 para temporada de invierno, otoño, primavera y verano respectivamente (You *et al.*, 2016, p. 27), de forma similar, en Emiratos Árabes se desarrolló un AOD a escala urbana basado en la reflectancia TOA del sensor generador de imágenes terrestres operativo (OLI) a bordo de Landsat 8 (Omari, Abuelgasim y Alhebsi, 2019, p. 1082). Mientras que, en la ciudad de Delhi (India) mediante el uso del sensor OLI se logró generar un modelo para calcular la concentración de PM₁₀ obteniendo mejores resultados con las bandas centradas en 0.45 μm y 0.51 μm (Saraswat, Mishra y Kumar, 2017, p. 256).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que, busca contribuir a la resolución de problemas ambientales, sociales y económicos (CONCYTEC, 2018), mediante el uso de descubrimientos científicos de diversos autores. Adicionalmente, este escrito tiene un enfoque cuantitativo, puesto que, la manipulación de los datos será de forma objetiva con la intención de analizarlos estadísticamente (Jiménez et al., 2019, p. 6), dicho de otro modo, se utilizarán solo valores numéricos.

Por otro lado, el diseño de la investigación será no experimental, puesto que, en este tipo de investigación no se manipulará deliberadamente las variables, es decir, se observarán las variables tal cual se da en su contexto natural para su posterior análisis (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 152). Adicionalmente, este escrito tendrá un alcance descriptivo, ya que, los datos de material particulado y los obtenidos del sensor MSI (Sentinel 2) se describirán estadísticamente.

3.2. Variables y operacionalización

Tabla 2: Operacionalización de Variables

Estimación de la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima, 2020													
PROBLEMA		DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN				
GENERAL	ESPECÍFICOS												
¿Cómo estimar la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima?	¿Cuáles son las bandas espectrales que mejor estiman la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto?	Tipo Aplicada – Enfoque Cuantitativo – Diseño No Experimental - Descriptivo	Variable 2	Sensoramiento remoto	Tecnología satelital que mediante sensores o instrumentos recopila una gran cantidad de información de la superficie terrestre, incluyendo el agua y la atmósfera (Huang et al., 2018, p. 1916).	Se adquirirán las imágenes derivadas del sensor MSI a bordo del satélite Sentinel 2 desde el año 2017 al 2020 con la intención de preprocesarlas mediante el programa Rstudio y obtener la reflectancia (TOA) de sus bandas espectrales.	Imágenes satelitales	Bandas espectrales	N° Bandas				
	¿Cuál es la ecuación que mejor estima la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto?							Reflectancia	µm				
	¿Cómo contrastar reflectancia de las imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) y la concentración de material particulado de las estaciones automáticas de SENAMHI ubicadas en la Provincia de Lima?			Variable 1				Material Particulado (PM)	Mezcla compleja de diferentes especies químicas que derivan de diversas fuentes y que son consideradas dañinas para la salud (Sun et al., 2018, p. 173).	Las concentraciones de material particulado para el periodo 2017 - 2020 serán adquiridos de SENAMHI, posteriormente se extraerán los valores horarios y diarios con la intención de compararlos con la reflectancia de los productos satelitales.	Concentración de material particulado (PM)	PM10	µg / m ³
												PM2.5	µg / m ³

3.3. Población, muestra y muestreo

Población:

La población de la presente investigación estuvo conformada por la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) de SENAMHI ubicada en la provincia de Lima. De esta manera, el área de estudio está conformado por 2641.89 Km², se encuentra cerca al Océano Pacífico, así mismo, tiene un rango de temperatura de 14°C a 27°C, además, muestra una humedad relativa de 70% a 100% y una probabilidad de precipitación del 1% durante todo el año, por otro lado, contiene una población aproximada de 8.9 millones de habitantes (Romero, *et al.*, 2020, p. 3).

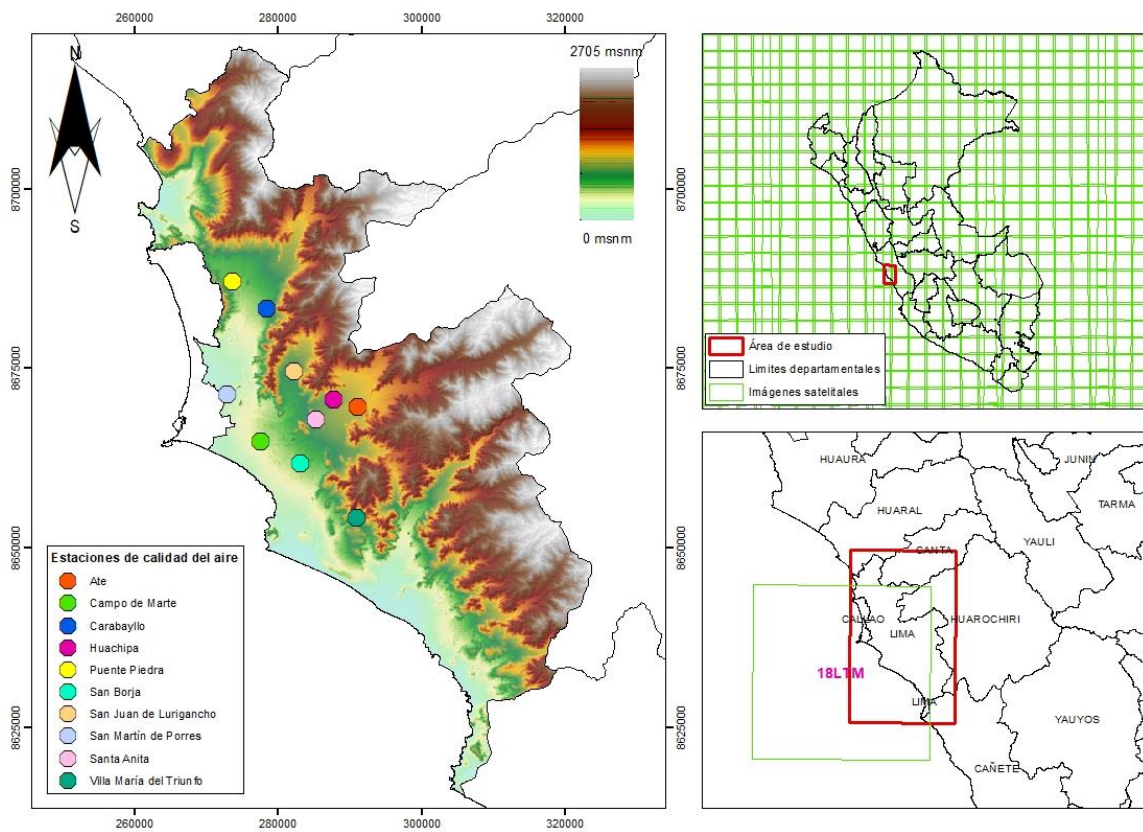


Figura 5: Área de estudio - Provincia de Lima

Muestra y Muestreo:

El tipo de muestreo es no probabilístico, puesto que, la muestra se seleccionó intencionalmente o de forma subjetiva, es decir, dependió exclusivamente del investigador (Arnab, 2017, p. 4), de esta manera, la muestra está comprendida

por las 10 estaciones de monitoreo de calidad del aire pertenecientes a SENAMHI y ubicadas en la provincia de Lima.

Tabla 3: Estaciones automáticas de calidad del aire - SENAMHI

Estación	Este (m)	Norte (m)	Ubicación
San Borja	8661900	283200	Polideportivo Limatambo del Distrito de San Borja
Campo de Marte	8664896	277601	Parque Campo de Marte en el Distrito de Jesús María
Carabaylo	8683451	278498	Piscina Municipal del Distrito de Carabaylo
San Martín de Porres	8671536	272998	Parque Ecológico del Distrito de San Martín de Porres
Puente Piedra	8687269	273704	Complejo Municipal "El gallo de oro" del Distrito de Puente Piedra
Ate	8669823	291097	Plaza de Armas del Distrito de Ate
Huachipa	8670779	287796	Plaza Cívica de Ceres del Distrito de Ate
San Juan de Lurigancho	8674718	282272	Universidad César Vallejo en el Distrito de San Juan de Lurigancho
Santa Anita	8667937	285325	Palacio Municipal del Distrito de Santa Anita
Villa María del Triunfo	8654306	291077	Parque Nueva Esperanza en el Distrito de Villa María del Triunfo

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como técnica se utilizó la observación o exploración visual, para analizar los datos satelitales, puesto que, se registraron y adquirieron las imágenes satelitales que presenten una mínima o aceptable nubosidad para el periodo del año 2017 al 2020, por ende, como instrumento para filtrar las imágenes satelitales aceptables se aplicó una ficha de recolección de datos (Anexo 2).

De esta manera, se adquirieron imágenes derivadas del sensor o instrumento multiespectral (MSI) a bordo de la constelación de satélites Sentinel 2 (Chastain et al., 2019, p. 278). Esta constelación es una misión de observación terrestre desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) dentro del programa Copérnico, la cual, actualmente cuenta con 2 satélites, Sentinel 2A y Sentinel 2B lanzados el 23 de junio del 2015 y 7 de marzo del 2017 respectivamente (Flood, 2017, p. 1). De esta manera, de forma conjunta ofrecen una resolución temporal

de 5 días (Bergsma y Almar, 2020, p. 2), adicionalmente, cuentan con una resolución radiométrica de 12bits, es decir, la imagen satelital tiene 4096 tonalidades de grises, por otro lado, contienen 13 bandas espectrales a una resolución espacial de 10m, 20m y 60m (Zhang *et al.*, 2018, p. 483).

Tabla 4: Características del Instrumento Multiespectral a bordo de Sentinel 2

Número de banda	S2A		S2B		Resolución espacial (m)	Nombre
	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)		
1	442.7	21	442.2	21	60	-
2	492.4	66	492.1	66	10	Azul
3	559.8	36	559	36	10	Verde
4	664.6	31	664.9	31	10	Roja
5	704.1	15	703.8	16	20	-
6	740.5	15	739.1	15	20	-
7	782.8	20	779.7	20	20	-
8	832.8	106	832.9	106	10	Infrarrojo cercano
8a	864.7	21	864	22	20	-
9	945.1	20	943.2	21	60	-
10	1373.5	31	1376.9	30	60	-
11	1613.7	91	1610.4	94	20	Infrarrojo de onda corta
12	2202.4	175	2185.7	185	20	Infrarrojo de onda corta

Fuente: Yue y Tian, 2020

3.5. Procedimientos

La presente investigación se pudo fraccionar en 4 etapas, la primera etapa consta de la adquisición de datos de las concentraciones de PM10 y PM2.5 para el periodo conformado por los años 2017 y 2020 de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de SENAMHI ubicadas en la provincia de Lima, la segunda etapa consta de la adquisición de imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) para el periodo conformado por los años 2017 y 2020 y que se superpongan en la provincia de Lima, la tercera etapa conlleva el preprocesamiento de las imágenes satelitales, finalmente la cuarta etapa consta del análisis estadístico.

Etapa 1:

Se solicitaron a SENAMHI (Anexo 3,4 y 5) datos validados del año 2017 al 2020 de las concentraciones de PM10 y PM2.5 a escala diaria y horaria de las estaciones automáticas de “San Borja”, “Campo de Marte”, “Carabayllo”, “San Martin de Porres”, “Puente Piedra”, “Ate”, “Huachipa”, “San Juan de Lurigancho”, “Santa Anita” y “Villa María del Triunfo” (Tabla 3), posteriormente, se extrajeron los datos más próximos a la hora (15:16 – 15:19) y día de adquisición de información del sensor MSI (Sentinel 2). Se debe precisar, que los valores “S/D” o valores nulos identificados en la data solicitada fueron eliminados para este caso de estudio.

Etapa 2:

Se adquirieron imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) de la ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), de esta manera, se descargaron los datos satelitales de Nivel 1C del año 2017 al 2020 de aquellas imágenes que se superpongan en la provincia de Lima y presenten una baja nubosidad, es por ello, que previamente mediante el programa Rstudio se registraron en el Anexo 2 la cantidad de imágenes satelitales cuyo nombre sea “LTM” (Figura 5), luego mediante un análisis visual se optaron por las imágenes que no presenten nubosidad excesiva sobre el área de estudio (Anexo 3) y las estaciones automáticas de SENMAHI.

Etapa 3:

En este punto se efectuó el preprocesamiento de las imágenes satelitales seleccionadas en la “Etapa 2”, cabe precisar, que los productos Nivel 1C derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) cuentan con los valores en la parte superior de la atmósfera escalados en un rango de 0 – 10 000 (Meraner *et al.*, 2020, p. 335), por ello, se debe realizar un cálculo con su valor de cuantificación de 0.0001 ubicada en los metadatos. Así mismo, se extrajeron los valores de reflectancia de cada pixel de la imagen satelital en función a las coordenadas de cada estación meteorológica, finalmente, estos valores se clasificaron en 2 grupos según el porcentaje de nubosidad de cada producto satelital.

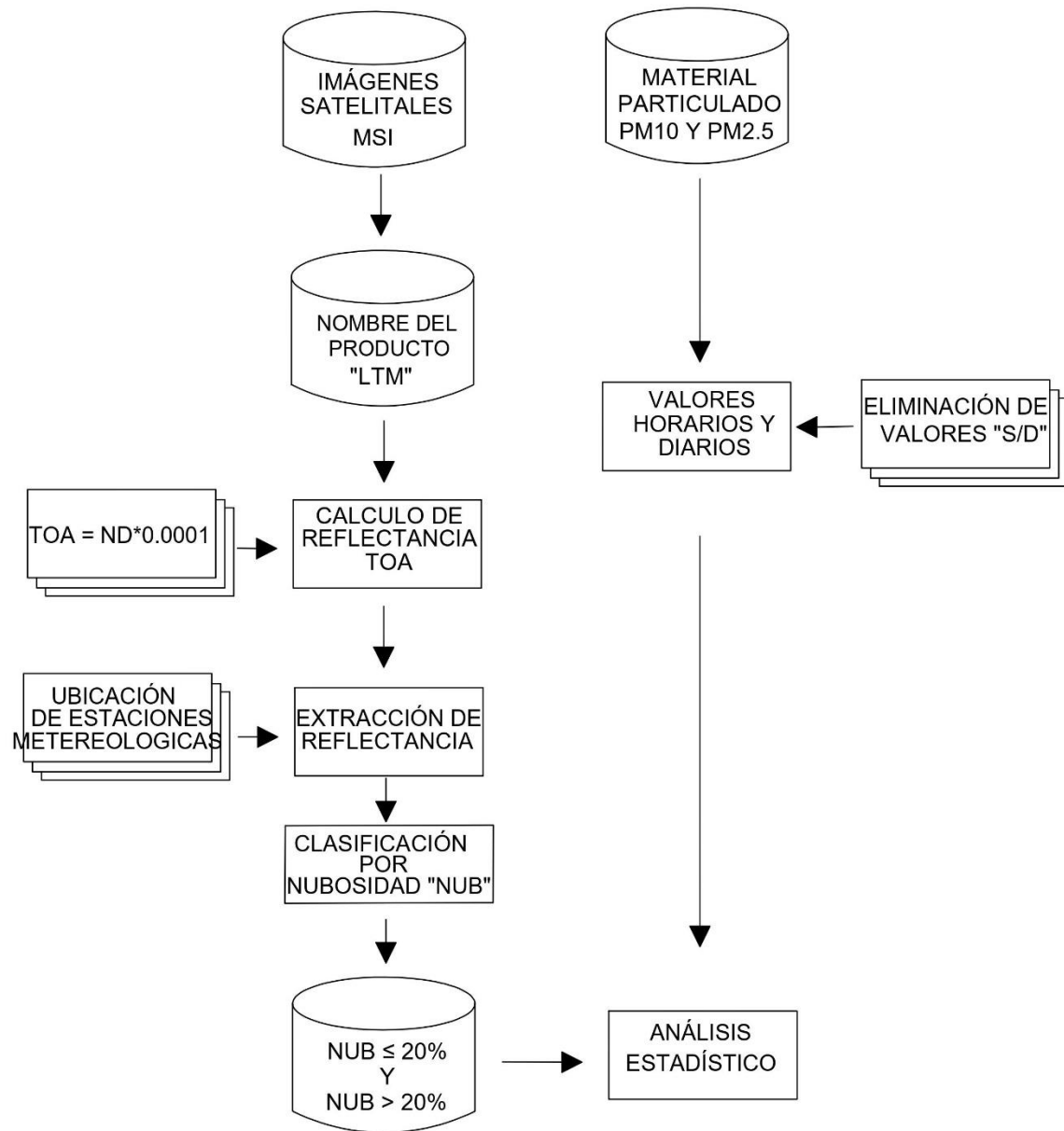


Figura 6: Diagrama de Procesos

Etapa 4:

En este último punto se realizó el análisis estadístico, por lo cual, los datos horarios y diarios de las concentraciones de PM10 y PM2.5 obtenidos en la “Etapa 1” se compararán con los valores de reflectancia en la parte superior de la atmósfera obtenidos de la “Etapa 3”, de esta manera, mediante el uso regresiones lineales simples y múltiples, el análisis del coeficiente de correlación y determinación me brindaron la información estadística necesaria para estimar los valores de las concentraciones de material particulado.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos de reflectancia (TOA) extraídas de las imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) y las concentraciones horarias y diarias de PM10 y PM2.5 solicitadas de las estaciones automáticas de SENAMHI para los años 2017 al 2020 serán analizados estadísticamente, por ello, se realizó la prueba t student para identificar las variables que sean significativas para los modelos, puesto que, es una prueba estadística la cual mide la intensidad de cada uno de los parámetros estimados (Profillidis & Botzoris, 2019, p. 176), así mismo, se aplicaron regresiones lineales simples y múltiples, las cuales permitieron contrastar los datos de las variables (Olive, 2017, p. 67). Adicionalmente, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si las ecuaciones generadas son estadísticamente significativas (Fávero & Belfiore, 2019, p. 456).

Posteriormente, para comparar los datos obtenidos de las imágenes satelitales y las concentraciones de material particulado se utilizará el coeficiente de correlación, la cual me permite medir la fuerza de relación entre las variables mediante valores de 1 y -1 (Profillidis y Botzoris, 2019, p. 188), del mismo modo, se utilizará el coeficiente de determinación, puesto que, esta es una medida que me indica la eficiencia de una variable para estimar otra.

Ante lo mencionado, para realizar el análisis estadístico y el preprocesamiento de las imágenes satelitales derivadas del sensor MSI se utilizará lenguaje de programación R y su interfaz gráfica Rstudio en su versión 4.0.2, puesto que, este lenguaje programación es de código abierto y gratuito con una gran diversidad de herramientas para el análisis estadístico de datos espaciales (R Core Team,

2020), del mismo modo, para la representación de los datos espaciales y satelitales se utilizará el programa Qgis en su versión 3.14.

3.7. Aspectos éticos

El presente escrito presentará información que complementará el monitoreo convencional de la calidad del aire, la conservación del ambiente y, por ende, a mejorar la salud de las personas a través de la estimación de la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima.

De esta manera, la información recolectada de diversas investigaciones tanto a nivel nacional e internacional será citada respetando las referencias en estilo ISO-690, por consiguiente, esta investigación se compromete a mostrar los resultados y datos reales sin alteraciones con fines de lucro u otro similar en base al código de ética de investigación de la Universidad César Vallejo resolución de consejo universitario N° 0126 - 2017, así mismo, esta investigación será de acceso libre, del mismo modo, los comandos y herramientas utilizadas en el programa Rstudio serán compartidos (<https://n9.cl/a2zdl>) con la intención de que puedan ser utilizados para futuras investigaciones.

IV. RESULTADOS

En este capítulo se describen los resultados obtenidos para la estimación de la concentración de material particulado en la provincia de Lima mediante sensoramiento remoto. Por lo cual, en la primera parte se usarán los datos de material particulado a escala diaria (Anexo 7 y 8) y en la segunda parte a escala horaria (Anexo 9 y 10). Así mismo, las ecuaciones o modelos se clasificaron según el porcentaje de nubosidad del producto satelital procesado.

De esta manera, se puede observar en la Tabla 5, que las variables con una nubosidad inferior e igual al 20% tienen una mayor influencia en la estimación de PM10 a escala diaria, ya que, luego de aplicado la prueba t-student, el nivel de significancia fue menor al 0.05, sin embargo, la banda espectral B6 fue mayor a 0.05.

Tabla 5: Coeficientes estimadores de las concentraciones diarias de PM10

NUBOSIDAD <= 20%				
Variables	Coefficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	4.220	0.240	17.320	0.000
B3	16.280	6.900	2.350	0.020
B4	-17.080	5.720	-2.985	0.003
B5	13.080	6.030	2.160	0.032
B6	-14.200	7.550	-1.880	0.062
B7	-15.590	5.170	-3.010	0.003
B8	9.860	2.730	3.600	0.000
B10	23.800	11.560	2.050	0.042
B12	11.270	2.140	5.250	0.000
NUBOSIDAD	0.016	0.006	2.720	0.007
20% < NUBOSIDAD				
Variables	Coefficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	9.500	1.187	8.005	0.000
B1	-10.909	7.346	-1.485	0.143
B2	-33.890	14.374	-2.358	0.022
B3	18.939	11.604	1.632	0.108
B5	18.830	8.074	2.332	0.023
B8a	-15.697	2.288	-6.862	0.000
B9	-42.924	10.616	-4.043	0.000
B10	55.350	25.403	2.179	0.033
B11	5.566	3.987	1.396	0.167

Por otro lado, para las variables con nubosidad mayor al 20% (Tabla 5) se muestra que solo las bandas espectrales B1, B3 y B11 tienen una significancia mayor al 0.05. No obstante, las variables y constantes presentadas fueron utilizadas para estimar las concentraciones de PM10 a escala diaria, ya que, influyeron positivamente en el coeficiente de determinación.

En la Tabla 6, se puede apreciar que las variables con nubosidad inferior e igual al 20% tienen una significancia menor del 0.05, indicándose que estadísticamente estas variables influyen en el modelo para estimar las concentraciones de PM2.5 a escala diaria, sin embargo, en las variables con una nubosidad mayor al 20% se muestra que la B5 y B10 tienen una significancia mayor al 0.05, sin embargo, como en el caso anterior estas variables fueron utilizadas, ya que, influyeron positivamente en el coeficiente de determinación.

Tabla 6: Coeficientes estimadores de las concentraciones diarias de PM2.5

NUBOSIDAD <= 20%				
Variables	Coefficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	1.910	0.511	3.736	0.000
B3	21.449	6.811	3.149	0.002
B4	-18.828	5.327	-3.535	0.001
B6	-14.013	1.883	-7.440	0.000
B10	50.281	11.978	4.198	0.000
√B12	8.351	1.685	4.957	0.000
20% < NUBOSIDAD				
Variables	Coefficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	6.414	0.983	6.527	0.000
B1	-26.471	7.266	-3.643	0.001
B2	32.434	13.741	2.360	0.022
B3	-23.483	10.733	-2.188	0.033
B5	7.193	5.142	1.399	0.168
B8a	-5.214	1.961	-2.659	0.010
B10	18.5343	9.9592	1.861	0.068

En función a la identificación de las variables y coeficientes que influyen o tienen mayor peso estadístico en la estimación de material particulado a escala diaria se conformaron 4 ecuaciones, los cuales se presentan en la Tabla 7. Cabe destacar, que las ecuaciones obtenidas están a escala logarítmica, es decir, no son lineales.

Adicionalmente, se realizó el análisis de varianza de los modelos obtenidos (Tabla 7), dando como resultado una significancia inferior al 0.05, por ende, los modelos obtenidos son significativos para la estimación de material particulado a escala diaria.

Tabla 7: Análisis de varianza de los modelos de regresión a escala diaria

N°	ECUACIÓN	NUBOSIDAD	F	p - valor
1	$\ln(\text{PM}_{10}) = B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + B_8 + B_{10} + B_{12} + \text{NUBOSIDAD}$	$\leq 20\%$	24.960	2.20E-16
2	$\ln(\text{PM}_{10}) = B_1 + B_2 + B_3 + B_5 + B_{8a} + B_9 + B_{10} + B_{11}$	$20\% <$	14.390	1.80E-11
3	$\ln(\text{PM}_{2.5}) = B_3 + B_4 + B_6 + B_{10} + \sqrt{B_{12}}$	$\leq 20\%$	16.430	2.78E-12
4	$\ln(\text{PM}_{2.5}) = B_1 + B_2 + B_3 + B_5 + B_{8a} + B_{10}$	$20\% <$	7.0720	1.73E-05

La gráfica Q-Q normal (Figura 7) muestra que los residuales de los modelos obtenidos para las concentraciones de material particulado a escala diaria cumplen el supuesto de normalidad, puesto que, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov modificada por Lilliefors brindando un p-valor mayor a 0.05.

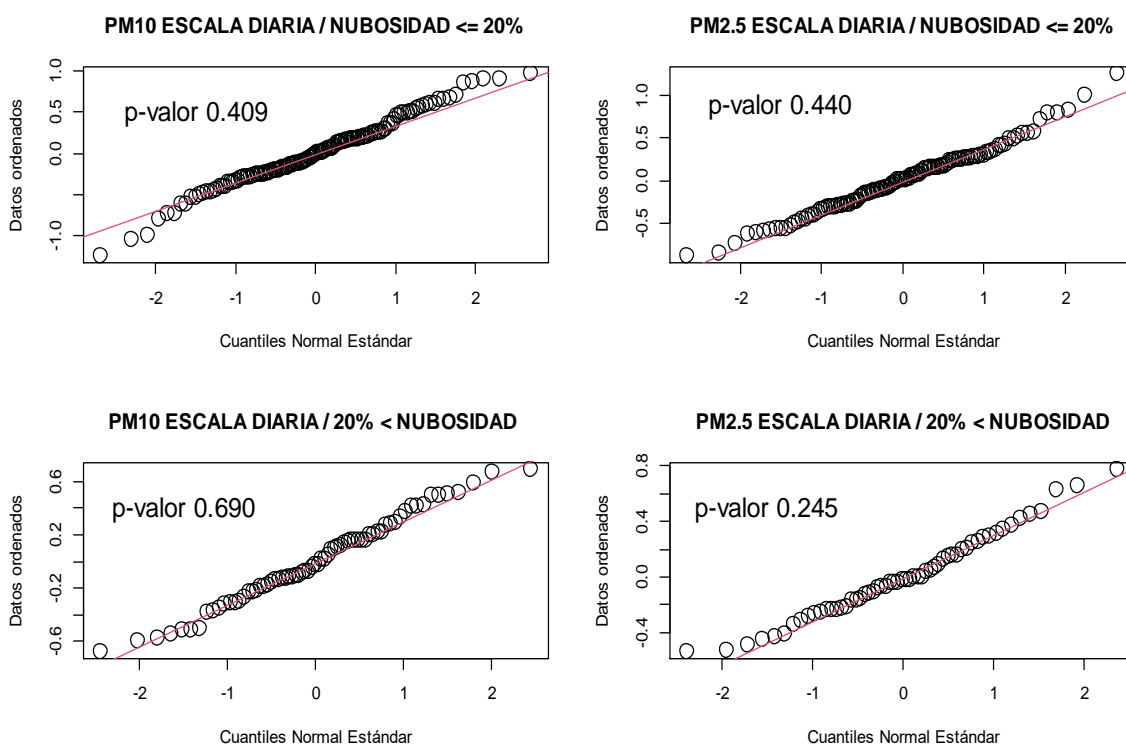


Figura 7: Gráfica Q-Q normal de residuos de los modelos significativos a escala diaria

Los resultados indicados en la Figura 8 muestran que se puede estimar las concentraciones de PM10 a escala diaria con más de un 60% de efectividad, sin embargo, para las concentraciones de PM2.5 se observa una efectividad inferior al 50%, por lo cual, estos últimos modelos no serían de utilidad para estimar este contaminante. Cabe destacar, que la cantidad de valores usados para cada caso varía, ya que, un porcentaje de estos eran valores “S/D”.

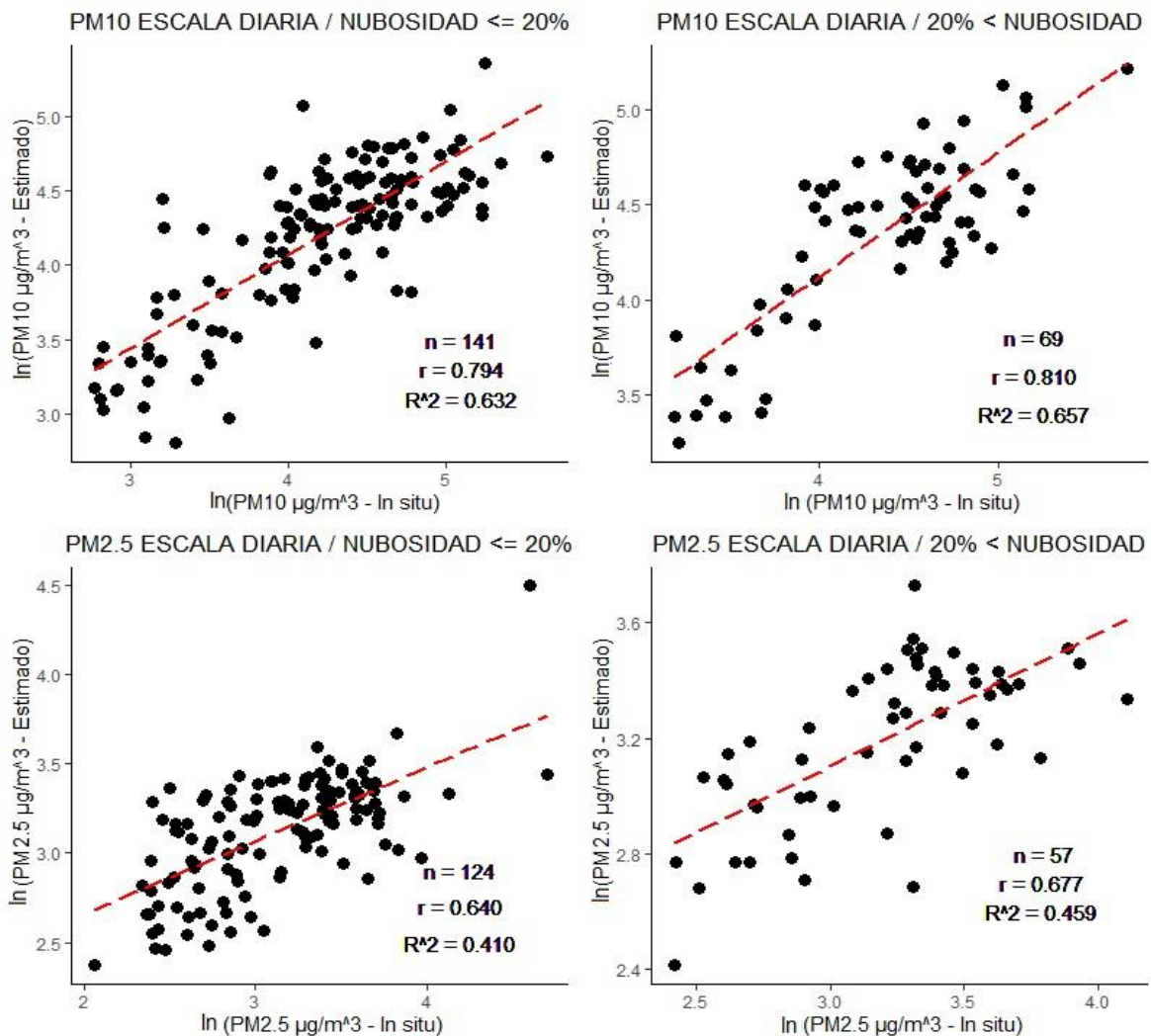


Figura 8: Comparación de valores *in situ* y estimados a escala diaria de las concentraciones de material particulado

Por otro lado, en el caso de las concentraciones de PM10 a escala horaria se obtuvo una significancia menor al 0.05 para todas las variables, por lo cual, me indica que estadísticamente todas las variables influyen en la estimación PM10 a escala horaria.

Tabla 8: Coeficientes estimadores de las concentraciones horarias de PM10

NUBOSIDAD <= 20%				
Variables	Coeficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	3.725	0.273	13.637	0.026
B1	-6.877	3.056	-2.250	0.000
B3	30.497	8.789	3.470	0.000
B4	-22.683	6.571	-3.452	0.000
B8a	-11.446	1.293	-8.849	0.000
B12	16.930	2.213	7.648	0.008
NUBOSIDAD	0.017	0.006	2.595	0.010

20% < NUBOSIDAD				
Variables	Coeficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	4.736	0.401	11.783	0.000
B8	-7.059	1.900	-3.714	0.000
B10	71.988	22.459	3.205	0.002
B12	8.347	2.231	3.741	0.000
B9	-23.391	11.028	-2.121	0.037

Así mismo, para las concentraciones horarias de PM2.5 se obtuvo una alta significancia, ya que, se obtuvo un p-valor inferior al 0.05, por ende, todas sus variables influyeron estadísticamente en la estimación de este contaminante.

Tabla 9: Coeficientes estimadores de las concentraciones horarias de PM2.5

NUBOSIDAD <= 20%				
Variables	Coeficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	4.564	0.597	7.646	0.000
B2	-19.113	9.068	-2.108	0.037
B3	25.432	11.144	2.282	0.024
B4	-13.902	6.043	-2.301	0.023
B7	-11.204	1.771	-6.326	0.000
B12	11.900	2.267	5.250	0.000

20% < NUBOSIDAD				
Variables	Coeficientes	Error estándar	t valor	p-valor
Intercepto	6.170	1.060	5.823	0.000
B1	-27.318	8.696	-3.141	0.002
B2	49.965	19.748	2.530	0.014
B3	-68.643	22.597	-3.038	0.003
B4	23.776	9.095	2.614	0.011
B8	11.876	5.123	2.318	0.024
B8a	-8.472	3.925	-2.159	0.035

En la Tabla 10 se obtuvo como resultado que los modelos generados a partir de las variables mencionadas en la Tabla 9 no fueron generados al azar, puesto que, luego de aplicado el análisis de varianza a los modelos dieron un p-valor inferior a 0.05.

Tabla 10: Análisis de varianza de los modelos de regresión a escala horaria

N°	ECUACIÓN	NUBOSIDAD	F	p - valor
1	$\ln(\text{PM10}) = B1 + B3 + B4 + B8a + B12 + \text{NUBOSIDAD}$	$\leq 20\%$	25.21	2.2e-16
2	$\ln(\text{PM10}) = B8 + B10 + B12 + B9$	$20\% <$	9.331	4.69e-06
3	$\ln(\text{PM2.5}) = B2 + B3 + B4 + B7 + B12$	$\leq 20\%$	10.18	4.062e-08
4	$\ln(\text{PM2.5}) = B1 + B2 + B3 + B4 + B8 + B8a$	$20\% <$	4.477	0.001

Así mismo, se obtuvo como resultado que los residuales (Figura 9) de los modelos generados para estimar la concentración de material particulado a escala horaria cumplen con el supuesto de normalidad, ya que, luego de aplicado la prueba de Kolmogorov-Smirnov modificada por Lilliefors brindo un p-valor mayor a 0.05.

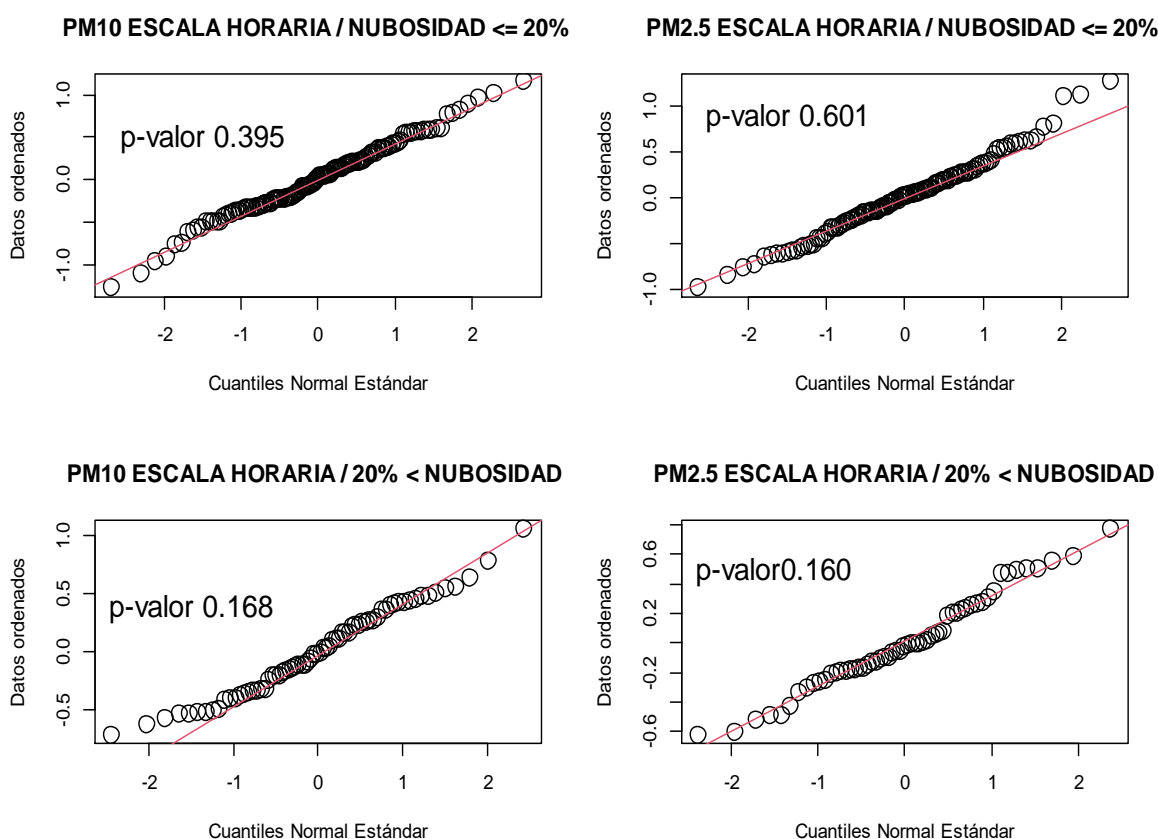


Figura 9: Gráfica Q-Q normal de residuos de los modelos significativos a escala horaria

De esta manera, al comparar los valores estimados y medidos in situ se obtuvo como resultado que a escala horaria se puede estimar las concentraciones de PM10 hasta en un 50% para las imágenes satelitales con una nubosidad igual e inferior al 20%, sin embargo, para los demás casos se muestra un bajo coeficiente de determinación, por ende, su eficiencia para estimar las concentraciones de material particulado es mínima.

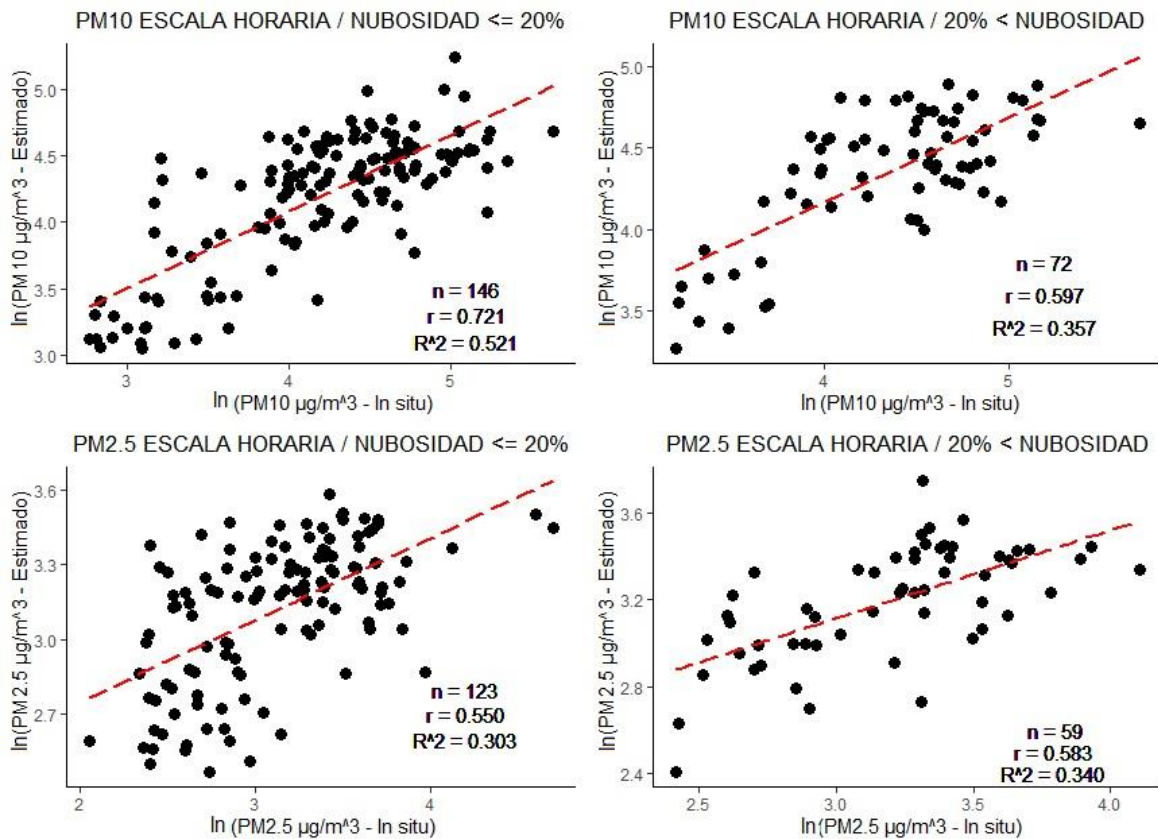


Figura 10: Comparación de valores in situ y estimados a escala horaria de las concentraciones de material particulado

V. DISCUSIÓN

En esta investigación se tuvo como propósito estimar las concentraciones de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima, para ello se utilizó la reflectancia TOA de las imágenes multiespectrales del sensor MSI a bordo de los satélites Sentinel 2A y 2B, y las concentraciones diarias y horarias de PM₁₀ y PM_{2.5} medidas por las estaciones automáticas de SENAMHI. De esta manera, en los resultados obtenidos se observa que la reflectancia TOA de las bandas espectrales del infrarrojo cercano (0.83 μm) y de onda corta (2.18 μm), así como, la del espectro visible (0.49 μm – 0.66 μm) son las más significativas para la estimación de material particulado, del mismo modo que lo proponen Zhang *et al.* (2021) que afirman que las bandas del espectro visible (0.40 μm – 0.70 μm) son las más significativas, adicionalmente, Fougne *et al.* (2020) enfatizan el uso de las bandas espectrales centradas en 0.47 μm , 0.66 μm y 2.1 μm para la generación del AOD, puesto que, tal como señala Wei *et al.* (2021) es un índice sustituto para la estimación de partículas en la atmósfera. Por lo cual, se pueden afirmar los escritos de Liu, Weng y Li (2019) y Mhawish *et al.* (2018) en la cual mencionan que la reflectancia TOA es la más útil por el gran poder predictivo para estimar los contaminantes atmosféricos como el material particulado, ya que, interactúan con pequeñas partículas en el aire los cuales son recepcionados por el sensor del satélite.

Por otro lado, en función a las bandas espectrales mencionadas se generaron 2 ecuaciones empíricas a escala diaria y validadas estadísticamente en base a regresiones múltiples para la estimación de PM₁₀ obteniendo más de un 50% de efectividad y 2 ecuaciones a escala horaria con un bajo poder estimador al comparar los datos estimados y medidos; sin embargo, estas difieren con las generadas por Saraswat, Mishra y Kumar (2017) en la cual generaron modelos empíricos para la estimación de PM₁₀ en base a las bandas espectrales del sensor OLI a bordo del satélite Landsat 8, así mismo, al comparar sus datos obtuvieron hasta un 90% de efectividad para estimar este contaminante, cabe destacar, que las resoluciones espaciales y radiométricas difieren entre la del sensor OLI y MSI registradas. Por otro lado, Ramirez (2017) en su investigación utilizó la radiancia espectral del sensor TM (Landsat 5) y OLI concluyendo que

estos no pueden explicar el comportamiento espacial de las concentraciones de PM10, en comparación con los resultados obtenidos por Shetein et al. (2018) en la cual utilizan el sensor MODIS (Terra y Aqua) para estimar las concentraciones de PM10 a escala diaria e interdiaria, así mismo, sus resultados se basaron en 37 estaciones de monitoreo de calidad del aire obteniendo entre 82% y 92% de poder de estimación.

Adicionalmente, existen investigaciones como las de Imani (2021) en la cual estiman PM10 en base a los productos MODIS con una resolución espacial de 1km aproximadamente y la aplicación de redes neuronales, así mismo, el escrito de Zhang *et al.* (2019) aplicó un algoritmo basado en redes neuronales e incluyó variables meteorológicas obteniendo una efectividad de estimación de concentración de PM10 mayor al 70%, por lo cual, difiere del presente estudio, puesto que, solo se aplicó un análisis paramétrico simple y de fácil aplicación, adicionalmente, se utilizó únicamente como variables de entrada el porcentaje de nubosidad y las bandas espectrales del sensor MSI.

Por otro lado, al generar y comparar las concentraciones diarias y horarias de PM2.5 se obtuvo una efectividad inferior al 50%, ya que, como menciona Sun *et al.* (2021) la estimación de este contaminante es compleja debido a diversos factores meteorológicos, en otras palabras, para la obtención de mejores resultados en la estimación de PM2.5 se debieron incluir otras variables tales como la humedad, temperatura, elevación entre otros. De esta manera, la investigación de Wang *et al.* (2021) muestra que para estimar la concentración de PM2.5 tuvo que combinar datos de imágenes satelitales, factores topográficos y meteorológicos para obtener un buen poder estimador, así mismo, Braggio *et al.* (2021) mencionan que diversas investigaciones utilizan el AOD derivado del sensor MODIS para la estimación de este contaminante en zonas urbanas, sin embargo, la desventaja de los productos MODIS a comparación del sensor MSI es la baja resolución espacial que registra, por ende, dificulta la obtención de un mejor detalle y distribución de este contaminante.

Ante la necesidad de registrar el PM2.5 a una escala menor Tang *et al.* (2021) generó un AOD para el sensor OLI en función a los datos del sensor MODIS con el cual obtuvo un alto poder de estimación en la provincia de Guangdong (China),

de forma similar, Lin *et al.* (2021) genero un AOD para la ciudad de Beijing y Wuhan obteniendo un 81% de efectividad, sin embargo, a la actualidad no se registró investigaciones en los cuales se genere un AOD en base a los datos multiespectrales del sensor MSI.

Con los resultados obtenidos y validados estadísticamente, así como, la comparación con otras investigaciones se demuestra la capacidad de las imágenes multiespectrales del sensor MSI para estimar las concentraciones de material particulado, sin embargo, y en concordancia con Soni, Payra y Verma (2018) la disminución o aumento de partículas en el aire depende de la influencia de parámetros meteorológicos, así mismo, Chelani (2019) destaca que para mejorar la precisión de las estimaciones de material particulado se deben tener en cuenta estas variables, por ende, para futuras investigaciones se deberían incluir datos meteorológicos.

Se debe destacar, la importancia del uso de imágenes multiespectrales derivadas del sensor MSI a bordo de los satelitales Sentinel 2A y 2B, ya que, este no ha sido aplicada para estudios concernientes a la estimación de material particulado, así mismo, destacar que este producto ofrece una alta resolución espacial en comparación los de los derivados de los sensores MODIS, OLI, TM y AHI, por ende, beneficiaria a la identificación de zonas con alta concentración de contaminación y la mejora de la gestión de la calidad del aire.

VI. CONCLUSIONES

La presente investigación se propuso estimar las concentraciones de material particulado mediante sensoramiento remoto, por lo cual, en función a los objetivos planteados se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Mediante las pruebas estadísticas se identificaron 8 bandas espectrales contenidas dentro del espectro visible e infrarrojo cercano y de onda corta (Tabla 5) que influyeron significativamente para la estimación de las concentraciones diarias de PM10 para aquellas imágenes satelitales con una nubosidad mayor y menor al 20%, para el caso de las concentraciones de PM2.5 (Tabla 6) se identificaron 5 bandas espectrales (NUBOSIDAD \leq 20%) contenidas dentro del espectro visible e infrarrojo de onda corta y 6 bandas espectrales ($20\% <$ NUBOSIDAD) contenidas dentro del espectro visible e infrarrojo cercano y de onda corta. Para las concentraciones horarias de PM10 (Tabla 8) se identificaron 4 bandas espectrales contenidas en el espectro visible e infrarrojo cercano (NUBOSIDAD \leq 20%) y 4 bandas espectrales contenidas en el infrarrojo cercano y de onda corta ($20\% <$ NUBOSIDAD), de forma similar, para las concentraciones horarias de PM2.5 (Tabla 9) se identificaron 5 bandas espectrales localizadas en el espectro visible e infrarrojo de onda corta (NUBOSIDAD \leq 20%) y 6 bandas espectrales localizadas en el espectro visible e infrarrojo cercano y de onda corta ($20\% <$ NUBOSIDAD).
2. Se determinaron 4 ecuaciones empíricas a escala logarítmica y clasificadas según el porcentaje de nubosidad ($20\% <$ NUBOSIDAD \leq 20%) para las concentraciones diarias (Tabla 7) y horarias (Tabla 10) de PM10 y PM2.5, así mismo, mediante la prueba de ANOVA se determinó que estas ecuaciones eran estadísticamente significativas (p -valor $<$ 0.05) para estimar las concentraciones de material particulado, adicionalmente, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov modificada por Lilliefors obtuvimos que los residuales de estas ecuaciones cumplen el supuesto de normalidad ($0.05 <$ p -valor).

3. Al comparar los valores estimados en función de la reflectancia TOA de las imágenes multiespectrales del sensor MSI y los datos in situ de las concentraciones de PM10 a escala diaria se evidenció una alta relación estadística entre estos valores, ya que, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0.79 (NUBOSIDAD \leq 20%) y 0.81 (20% < NUBOSIDAD), así mismo, mediante el coeficiente de determinación se demostró una eficiencia del 63% (NUBOSIDAD \leq 20%) y 65% (20% < NUBOSIDAD) para estimar este contaminante, para el caso de las concentraciones de PM2.5 se obtuvo una fuerte relación de 0.64 (NUBOSIDAD \leq 20%) y 0.67 (20% < NUBOSIDAD), sin embargo, el poder predictivo fue inferior al 50%. En el caso de las concentraciones horarias se evidencio (Figura 10) relaciones estadísticas de 0.72 (NUBOSIDAD \leq 20%) y 0.59 (20% < NUBOSIDAD) para el PM10, en el caso del PM2.5 de 0.55 (NUBOSIDAD \leq 20%) y 0.58 (20% < NUBOSIDAD), sin embargo, el poder estimador a escala horaria fue inferior al 50% principalmente en las concentraciones de PM2.5.

VII. RECOMENDACIONES

1. En este escrito se utilizaron solamente los datos de las imágenes multiespectrales del sensor MSI, sin embargo, se recomienda incorporar variables meteorológicas medidas in situ como la humedad, temperatura y precipitación, así mismo, incorporar variables topográficas como la altitud con la intención de obtener un mayor poder estimador, adicionalmente se recomienda incorporar datos meteorológicos derivados de sensores remotos en el caso no se cuente con mediciones en campo.
2. Se debe precisar que una de las desventajas presentadas es este escrito fue la cantidad de datos de material particulado, ya que, muchos de estos presentaban valores nulos, por lo cual, para llenar este vacío se recomienda adicionar datos de sensores de bajo costo de equipos debidamente validados o similares a las estaciones automáticas de SENAMHI, de esta manera, se podría analizar todas las posibles concentraciones que se pudiesen presentar en un área de estudio y adicionar datos para un mejor poder estimador en base a sensoramiento remoto.
3. Se utilizaron imágenes multiespectrales del sensor MSI a bordo de los satélites Sentinel 2A y 2B, sin embargo, se deberían aplicar otros sensores como el OLI a bordo de Landsat 8 y MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua con la intención de describir el comportamiento del material particulado en un área de estudio determinado, así mismo, complementar los datos de diferentes sensores para obtener una data más enriquecedora.
4. Para futuras investigaciones se recomienda profundizar sobre el uso y aplicación de las imágenes multiespectrales derivadas del sensor MSI para estimar las concentraciones de material particulado, ya que, como muestra esta investigación tiene el potencial para predecir estos contaminantes a resolución temporal menor y una resolución espacial alta a comparación de otros sensores.

REFERENCIAS

- ADHIKARI, A., 2020. *Introduction to spatiotemporal variations of ambient air pollutants and related public health impacts* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128158227. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815822-7.00001-7>.
- ANYAMBA, A., ESTES, J., KLINE, K. y COLLINS, E., 2015. Remote Sensing. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition* [en línea]. Second Edi. S.I.: Elsevier, pp. 419-424. ISBN 9780080970875. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-0970868.72046-0>.
- ARNAB, R., 2017. Preliminaries and Basics of Probability Sampling. *Survey Sampling Theory and Applications*, pp. 1-21. DOI 10.1016/b978-0-12-811848-1.00001-7.
- ARTEAGA-RAMÍREZ, R., CERVANTES-OSORNIO, R., ALBERTO, M., PEÑA, V. y BUSTAMANTE, O., 2017. Estación meteorológica convencional versus automática sus diferencias evaluadas con índices estadísticos Chapingo , México * Conventional versus automatic weather station evaluated differences with statistical indexes Chapingo , Mexico Resumen Introducció. , vol. 8, pp. 1301-1314.
- AUCCAHUASI, W., CASTRO, P., FLORES, E., SERNAQUE, F., GARZON, A. y ORÉ, E., 2020. Processing of fused optical satellite images through parallel processing techniques in multi GPU. *Procedia Computer Science* [en línea], vol. 167, no. 2019, pp. 2545-2553. ISSN 18770509. DOI 10.1016/j.procs.2020.03.307. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.307>.
- BERGSMA, E.W.J. y ALMAR, R., 2020. Coastal coverage of ESA' Sentinel 2 mission. *Advances in Space Research*, vol. 65, no. 11, pp. 2636-2644. ISSN 18791948. DOI 10.1016/j.asr.2020.03.001.

- BRAGGIO, J.T., HALL, E.S., WEBER, S.A. y HUFF, A.K., 2021. Contribution of AOD-PM2.5 surfaces to respiratory-cardiovascular hospital events in urban and rural areas in Baltimore, Maryland, USA: New analytical method correctly identified true positive cases and true negative controls. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 262, pp. 118629. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2021.118629. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118629>.
- BRIFFA, J., SINAGRA, E. y BLUNDELL, R., 2020. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon* [en línea], vol. 6, no. 9, pp. e04691. ISSN 24058440. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e04691. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
- CARUGNO, M., DENTALI, F., MATHIEU, G., FONTANELLA, A., MARIANI, J., BORDINI, L., MILANI, G.P., CONSONNI, D., BONZINI, M., BOLLATI, V. y PESATORI, A.C., 2018. PM10 exposure is associated with increased hospitalizations for respiratory syncytial virus bronchiolitis among infants in Lombardy, Italy. *Environmental Research* [en línea], vol. 166, no. March, pp. 452-457. ISSN 10960953. DOI 10.1016/j.envres.2018.06.016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.016>.
- CASTELL, N., DAUGE, F.R., SCHNEIDER, P., VOGT, M., LERNER, U., FISHBAIN, B., BRODAY, D. y BARTONOVA, A., 2017. Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environment International* [en línea], vol. 99, pp. 293-302. ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2016.12.007. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>.
- CEN, J., JIA, Z. li, ZHU, C. yue, WANG, X. fang, ZHANG, F., CHEN, W. yun, LIU, K. chun, LI, S. yu y ZHANG, Y., 2020. Particulate matter (PM10) induces cardiovascular developmental toxicity in zebrafish embryos and larvae via the ERS, Nrf2 and Wnt pathways. *Chemosphere* [en línea], vol. 250, pp. 126288. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.126288. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126288>.

CHASTAIN, R., HOUSMAN, I., GOLDSTEIN, J. y FINCO, M., 2019. Empirical cross sensor comparison of Sentinel-2A and 2B MSI, Landsat-8 OLI, and Landsat-7 ETM+ top of atmosphere spectral characteristics over the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment* [en línea], vol. 221, no. August 2017, pp. 274-285. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2018.11.012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.012>.

CHELANI, A.B., 2019. Estimating PM2.5 concentration from satellite derived aerosol optical depth and meteorological variables using a combination model. *Atmospheric Pollution Research* [en línea], vol. 10, no. 3, pp. 847-857. ISSN 13091042. DOI 10.1016/j.apr.2018.12.013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.12.013>.

CHEN, L., GAO, K., ZHANG, C. y LANG, W., 2019. *Alternative fuels for IC engines and jet engines and comparison of their gaseous and particulate matter emissions* [en línea]. S.l.: Elsevier Ltd. ISBN 9780081027912. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102791-2.00002-7>.

CHEN, X., DE LEEUW, G., AROLA, A., LIU, S., LIU, Y., LI, Z. y ZHANG, K., 2020. Joint retrieval of the aerosol fine mode fraction and optical depth using MODIS spectral reflectance over northern and eastern China: Artificial neural network method. *Remote Sensing of Environment* [en línea], vol. 249, no. July, pp. 112006. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2020.112006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112006>.

CORBANE, C., POLITIS, P., KEMPENEERS, P., SIMONETTI, D., SOILLE, P., BURGER, A., PESARESI, M., SABO, F., SYRRIS, V. y KEMPER, T., 2020. A global cloud free pixel- based image composite from Sentinel-2 data. *Data in Brief* [en línea], vol. 31, pp. 105737. ISSN 23523409. DOI 10.1016/j.dib.2020.105737. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105737>.

Decreto Legislativo N° 1013. Diario oficial el Peruano, Lima, Perú, 14 de mayo de 2008.

- DU, P., WANG, J., HAO, Y., NIU, T. y YANG, W., 2020. A novel hybrid model based on multi-objective Harris hawks optimization algorithm for daily PM2.5 and PM10 forecasting. *Applied Soft Computing Journal* [en línea], vol. 96, pp. 106620. ISSN 15684946. DOI 10.1016/j.asoc.2020.106620. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106620>.
- DUBOVIK, O., LI, Z., MISHCHENKO, M.I., TANRÉ, D., KAROL, Y., BOJKOV, B., CAIRNS, B., DINER, D.J., ESPINOSA, W.R., GOLOUB, P., GU, X., HASEKAMP, O., HONG, J., HOU, W., KNOBELSPIESSE, K.D., LANDGRAF, J., LI, L., LITVINOV, P., LIU, Y., LOPATIN, A., MARBACH, T., MARING, H., MARTINS, V., MEIJER, Y., MILINEVSKY, G., MUKAI, S., PAROL, F., QIAO, Y., REMER, L., RIETJENS, J., SANO, I., STAMMES, P., STAMNES, S., SUN, X., TABARY, P., TRAVIS, L.D., WAQUET, F., XU, F., YAN, C. y YIN, D., 2019. Polarimetric remote sensing of atmospheric aerosols: Instruments, methodologies, results, and perspectives. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 224, pp. 474-511. ISSN 00224073. DOI 10.1016/j.jqsrt.2018.11.024.
- FÁVERO, L.P. y BELFIORE, P., 2019. *Simple and Multiple Regression Models*. S.I.: s.n. ISBN 9780128112168.
- FLOOD, N., 2017. Comparing Sentinel-2A and Landsat 7 and 8 using surface reflectance over Australia. *Remote Sensing*, vol. 9, no. 7, pp. 1-14. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs9070659.
- FOUGNIE, B., CHIMOT, J., VÁZQUEZ-NAVARRO, M., MARBACH, T. y BOJKOV, B., 2020. Aerosol retrieval from space – how does geometry of acquisition impact our ability to characterize aerosol properties. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 256. ISSN 00224073. DOI 10.1016/j.jqsrt.2020.107304.
- GAO, D., RIPLEY, S., WEICHENTHAL, S. y GODRI POLLITT, K.J., 2020. Ambient particulate matter oxidative potential: Chemical determinants, associated health effects, and strategies for risk management. *Free Radical Biology and Medicine* [en línea], vol. 151, no. April, pp. 7-25. ISSN 18734596.

DOI 10.1016/j.freeradbiomed.2020.04.028. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.04.028>.

GATIS, N., LUSCOMBE, D.J., CARLESS, D., PARRY, L.E., FYFE, R.M., HARROD, T.R., BRAZIER, R.E. y ANDERSON, K., 2019. Mapping upland peat depth using airborne radiometric and lidar survey data. *Geoderma*, vol. 335, no. August 2018, pp. 78-87. ISSN 00167061. DOI 10.1016/j.geoderma.2018.07.041.

GONZALES, G.F., ZEVALLOS, A., GONZALES-CASTAÑEDA, C., NUÑEZ, D., GASTAÑAGA, C., CABEZAS, C., NAEHER, L., LEVY, K. y STEENLAND, K., 2014. Environmental pollution, climate variability and climate change: A review of health impacts on the peruvian population. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, vol. 31, no. 3, pp. 547-556. ISSN 17264642.

GOURDJI, S., 2018. Review of plants to mitigate particulate matter, ozone as well as nitrogen dioxide air pollutants and applicable recommendations for green roofs in Montreal, Quebec. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 241, no. 2, pp. 378-387. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2018.05.053. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.053>.

GRAW, V., DUBOVYK, O., DUGURU, M., HEID, P., GHAZARYAN, G., VILLAGRÁN DE LEÓN, J.C., POST, J., SZARZYNSKI, J., TSEGAI, D. y WALZ, Y., 2019. Assessment, monitoring, and early warning of droughts: the potential for satellite remote sensing and beyond. , pp. 115-131. DOI 10.1016/b978-0-12-814820-4.00009-2.

GUO, J., XIA, F., ZHANG, Y., LIU, H., LI, J., LOU, M., HE, J., YAN, Y., WANG, F., MIN, M. y ZHAI, P., 2017. Impact of diurnal variability and meteorological factors on the PM_{2.5} - AOD relationship: Implications for PM_{2.5} remote sensing. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 221, pp. 94-104. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2016.11.043. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.043>.

- HEIMHUBER, V., TULBURE, M.G. y BROICH, M., 2018. Addressing spatio-temporal resolution constraints in Landsat and MODIS-based mapping of large-scale floodplain inundation dynamics. *Remote Sensing of Environment* [en línea], vol. 211, no. August 2017, pp. 307-320. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2018.04.016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.016>.
- HERNANDEZ, [et al]. 2014. Metodología de la investigación, sexta edición. [En línea] McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014. [Citado el: 5 de octubre de 2020.] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcp/texson_a_gg/capitulo4.pdf. ISBN:978-1-4562-2396-0.
- HUANG, Y., CHEN, Z. xin, YU, T., HUANG, X. zhi y GU, X. fa, 2018. Agricultural remote sensing big data: Management and applications. *Journal of Integrative Agriculture* [en línea], vol. 17, no. 9, pp. 1915-1931. ISSN 20953119. DOI 10.1016/S2095-3119(17)61859-8. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61859-8](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61859-8).
- HUSSAIN, C.M. y KEÇILI, R., 2020. Future of environmental analysis. *Modern Environmental Analysis Techniques for Pollutants*, pp. 381-398. DOI 10.1016/b978-0-12-816934-6.00014-x.
- IMANI, M., 2021. Particulate matter (PM2.5 and PM10) generation map using MODIS Level-1 satellite images and deep neural network. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 281, no. December 2020, pp. 111888. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2020.111888. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111888>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. 2020. Estadísticas: Sociales. Lima, Perú. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/sociales/>
- JIMÉNEZ VILLALPANDO, A., GARZA KANAGUSIKO, A., MÉNDEZ FLORES, C., MENDOZA CARRILLO, J., ACEVEDO MENDOZA, J., ARREDONDO

- CONTRERAS, L.C. y QUIROZ RIVERA, S., 2019. Motivación hacia las matemáticas de estudiantes de bachillerato de modalidad mixta y presencial. *Revista Educación*, vol. 44, pp. 23. ISSN 0379-7082. DOI 10.15517/revedu.v44i1.35282.
- KIM, K.E., CHO, D. y PARK, H.J., 2016. Air pollution and skin diseases: Adverse effects of airborne particulate matter on various skin diseases. *Life Sciences* [en línea], vol. 152, pp. 126-134. ISSN 18790631. DOI 10.1016/j.lfs.2016.03.039. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lfs.2016.03.039>.
- KIM, K.H., KABIR, E. y KABIR, S., 2015. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International* [en línea], vol. 74, pp. 136-143. ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2014.10.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>.
- KIM, Y., CHOI, Y.H., KIM, M.K., PAIK, H.J. y KIM, D.H., 2020. Different adverse effects of air pollutants on dry eye disease: Ozone, PM2.5, and PM10. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 265, pp. 115039. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2020.115039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115039>.
- LEAL-IGA, J., 2019. Physical effects of atmospheric pollution unconsciously perceived by citizenship, in the metropolitan area of Monterrey city, Nuevo León, Mexico. *Revista de Salud Pública*, vol. 21, no. 4, pp. 1-7. ISSN 01240064. DOI 10.15446/RSAP.V21N4.74959.
- LI, Q., SONG, C. y MAO, H., 2019. *Particulate matter and public health* [en línea]. 2. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780444639523. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10988-1>.
- LIN, C., LABZOVSKII, L.D., MAK, H.W.L., FUNG, J.C.H., LAU, A.K.H., KENEA, S.T., BILAL, M., VANDE HEY, J.D., LU, X. y MA, J., 2020. Observation of PM2.5 using a combination of satellite remote sensing and low-cost sensor network in Siberian urban areas with limited reference monitoring.

- Atmospheric Environment* [en línea], vol. 227, no. March, pp. 117410. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2020.117410. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117410>.
- LIN, H., LI, S., XING, J., HE, T., YANG, J. y WANG, Q., 2021. High resolution aerosol optical depth retrieval over urban areas from Landsat-8 OLI images. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 261, no. 129, pp. 118591. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2021.118591. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118591>.
- LIU, B., FAN, D. y HUANG, F., 2020. Relationship of chronic kidney disease with major air pollutants - A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Environmental Toxicology and Pharmacology* [en línea], vol. 76, no. 198, pp. 103355. ISSN 18727077. DOI 10.1016/j.etap.2020.103355. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103355>.
- LIU, J., WENG, F. y LI, Z., 2019. Satellite-based PM2.5 estimation directly from reflectance at the top of the atmosphere using a machine learning algorithm. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 208, no. March, pp. 113-122. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2019.04.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.002>.
- LIU, J., ZHOU, Jiaxin, ZHOU, Jiazhen, LI, M., CHEN, E., JIANG, G., CHEN, Y., WU, J. y YANG, Q., 2020. Fine particulate matter exposure induces DNA damage by downregulating Rad51 expression in human bronchial epithelial Beas-2B cells in vitro. *Toxicology* [en línea], vol. 444, no. August, pp. 152581. ISSN 18793185. DOI 10.1016/j.tox.2020.152581. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2020.152581>.
- LIU, N., LIU, X., JAYARATNE, R. y MORAWSKA, L., 2020. A study on extending the use of air quality monitor data via deep learning techniques. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 274, pp. 122956. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.122956. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122956>.

- MERANER, A., EBEL, P., ZHU, X.X. y SCHMITT, M., 2020. Cloud removal in Sentinel-2 imagery using a deep residual neural network and SAR-optical data fusion. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [en línea], vol. 166, no. May, pp. 333-346. ISSN 09242716. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2020.05.013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.05.013>.
- MHAWISH, A., KUMAR, M., MISHRA, A.K., SRIVASTAVA, P.K. y BANERJEE, T., 2018. Remote Sensing of Aerosols From Space: Retrieval of Properties and Applications. *Remote Sensing of Aerosols, Clouds, and Precipitation* [en línea], pp. 45-83. DOI 10.1016/B978-0-12-810437-8.00003-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-810437-8.00003-7>.
- MILLER, M.R., 2020. Oxidative stress and the cardiovascular effects of air pollution. *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 151, no. January, pp. 69-87. ISSN 18734596. DOI 10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.004.
- MINISTERIO DE SALUD, 2019. ASIS-R: Análisis de Situación de Salud de los Gobiernos Regionales. ISBN: 9786124762697. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/1091065-analisis-de-situacion-de-salud-en-gobiernos-regionales-asis-r>
- MORANTES-QUINTANA, G.R., RINCÓN-POLO, G. y PÉREZ-SANTODOMINGO, N.A., 2019. Modelo de regresión lineal múltiple para estimar concentración de PM 1. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, vol. 35, no. 1, pp. 179-194. ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.2019.35.01.13.
- NZIHOU, A., 2020. *Handbook on characterization of biomass, biowaste and related by-products*. S.l.: s.n. ISBN 9783030350208.
- OLAGUER, E.P., 2017. Particulate Matter and Surface Deposition. *Atmospheric Impacts of the Oil and Gas Industry*, pp. 47-53. DOI 10.1016/b978-0-12-801883-5.00005-x.
- OLAYA-OCHOA, J., OVALLE MUNOZ, D.P. y URBANO LEÓN, C.L., 2017. Acerca de la estimación de la fracción PM2.5/PM10. *Dyna*, vol. 84, no. 203,

pp. 343-348. ISSN 0012-7353. DOI 10.15446/dyna.v84n203.65228.

OLIVE, D.J., 2017. Linear regression. *Linear Regression*, pp. 1-494. ISSN 0930-0325. DOI 10.1007/978-3-319-55252-1.

OLIVEIRA, M., SLEZAKOVA, K., DELERUE-MATOS, C., PEREIRA, M.C. y MORAIS, S., 2019. Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: A review on indoor and outdoor exposure levels, major sources and health impacts. *Environment International* [en línea], vol. 124, no. October 2018, pp. 180-204. ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2018.12.052. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.052>.

OMARI, K., ABUELGASIM, A. y ALHEBSI, K., 2019. Aerosol optical depth retrieval over the city of Abu Dhabi, United Arab Emirates (UAE) using Landsat-8 OLI images. *Atmospheric Pollution Research* [en línea], vol. 10, no. 4, pp. 1075-1083. ISSN 13091042. DOI 10.1016/j.apr.2019.01.015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.015>.

ORELLANO, P., REYNOSO, J., QUARANTA, N., BARDACH, A. y CIAPPONI, A., 2020. Short-term exposure to particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide (NO2), and ozone (O3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International* [en línea], vol. 142, no. June, pp. 105876. ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2020.105876. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>.

PACSI VALDIVIA, S.A., 2016. Analisis Temporal Y Espacial De La Calidad Del Aire Determinado Por Material Particulado Pm10 Y Pm2,5 En Lima Metropolitana. *Anales Científicos*, vol. 77, no. 2, pp. 273. ISSN 0255-0407. DOI 10.21704/ac.v77i2.699.

PAOLA PATRICIA, A.C., ANA ISABEL, O.C. y EMIRO, D.L.H.F., 2020. Discovering similarities in Landsat satellite images using the K-means method. *Procedia Computer Science* [en línea], vol. 170, pp. 129-136. ISSN

18770509. DOI 10.1016/j.procs.2020.03.017. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.017>.

PEIXOTO, M.S., DE OLIVEIRA GALVÃO, M.F. y BATISTUZZO DE MEDEIROS, S.R., 2017. Cell death pathways of particulate matter toxicity. *Chemosphere* [en línea], vol. 188, pp. 32-48. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.08.076. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.076>.

PENZA, M., 2020. *Low-cost sensors for outdoor air quality monitoring* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128148273. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814827-3.00012-8>.

PHINZI, K. y NGETAR, N.S., 2019. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 27-46. ISSN 20956339. DOI 10.1016/j.iswcr.2018.12.002. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>.

PINDER, R.W., KLOPP, J.M., KLEIMAN, G., HAGLER, G.S.W., AWE, Y. y TERRY, S., 2019. Opportunities and challenges for filling the air quality data gap in low- and middle-income countries. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 215, no. February, pp. 116794. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2019.06.032. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.06.032>.

PROFILLIDIS, V.A. y BOTZORIS, G.N., 2019. *Statistical Methods for Transport Demand Modeling*. S.I.: s.n. ISBN 9780128115138.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Australia. URL <https://www.R-project.org/>.

RAI, P.K., 2016. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 129, pp. 120-136. ISSN 10902414. DOI

10.1016/j.ecoenv.2016.03.012. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>.

RAMÍREZ GUTIÉRREZ, M.A., 2017. Uso de Modelos Lineales Generalizados (MLG) para la interpolación espacial de PM10 utilizando imágenes satelitales Landsat para la ciudad de Bogotá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, vol. 22, no. 2, pp. 105-121. ISSN 0123-3769. DOI 10.19053/01233769.5600.

Reglamento de Organización y Funciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Decreto Supremo N° 003 – 2016. Ministerio de Ambiente.

Resolución de Presidencia N° 214. Diario oficial el peruano, Lima, Perú, 16 de noviembre del 2018.

ROMERO, Y., CHICCHON, N., DUARTE, F., NOEL, J., RATTI, C. y NYHAN, M., 2020. Quantifying and spatial disaggregation of air pollution emissions from ground transportation in a developing country context: Case study for the Lima Metropolitan Area in Peru. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 698, pp. 134313. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.134313. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134313>.

ROMERO, Y., DIAZ, C., MELDRUM, I., ARIAS VELASQUEZ, R. y NOEL, J., 2020. Temporal and spatial analysis of traffic – Related pollutant under the influence of the seasonality and meteorological variables over an urban city in Peru. *Heliyon*, vol. 6, no. 6. ISSN 24058440. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e04029.

SALVADOR, P., 2017. *Ozone, SOx and NOx, particulate matter, and urban air* [en línea]. S.l.: Elsevier Inc. ISBN 9780128096659. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09975-4>.

SAMAD, A. y VOGT, U., 2020. Investigation of urban air quality by performing mobile measurements using a bicycle (MOBAIR). *Urban Climate* [en línea], vol. 33, no. April 2019, pp. 100650. ISSN 22120955. DOI 10.1016/j.uclim.2020.100650. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100650>.

SARASWAT, I., MISHRA, R.K. y KUMAR, A., 2017. Estimation of PM10 concentration from Landsat 8 OLI satellite imagery over Delhi, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* [en línea], vol. 8, no. September, pp. 251-257. ISSN 23529385. DOI 10.1016/j.rsase.2017.10.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.10.006>.

SCHIKOWSKI, T. y ALTUĞ, H., 2020. The role of air pollution in cognitive impairment and decline. *Neurochemistry International* [en línea], vol. 136, no. February, pp. 104708. ISSN 18729754. DOI 10.1016/j.neuint.2020.104708. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2020.104708>.

SCHNEIDER, P., CASTELL, N., VOGT, M., DAUGE, F.R., LAHOZ, W.A. y BARTONOVA, A., 2017. Mapping urban air quality in near real-time using observations from low-cost sensors and model information. *Environment International* [en línea], vol. 106, no. June, pp. 234-247. ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2017.05.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2017.05.005>.

SCHWEITZER, L. y NOBLET, J., 2018. Water Contamination and Pollution. *Green Chemistry: An Inclusive Approach*, pp. 261-290. DOI 10.1016/B978-0-12-809270-5.00011-X.

SERVICIONAL NACIONAL DE METEREOLOGIA E HIDROLOGIA (SENAMHI). 01 – 31 de Octubre del 2020. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=calidad-del-aire>

SHAO, Z., CAI, J., FU, P., HU, L. y LIU, T., 2019. Deep learning-based fusion of Landsat-8 and Sentinel-2 images for a harmonized surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment* [en línea], vol. 235, no. June, pp. 111425. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2019.111425. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111425>.

SHTEIN, A., KARNIELI, A., KATRA, I., RAZ, R., LEVY, I., LYAPUSTIN, A., DORMAN, M., BRODAY, D.M. y KLOOG, I., 2018. Estimating daily and intra-

- daily PM10 and PM2.5 in Israel using a spatio-temporal hybrid modeling approach. *Atmospheric Environment* [en línea], vol. 191, no. June, pp. 142-152. ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2018.08.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.002>.
- SONI, M., PAYRA, S. y VERMA, S., 2018. Particulate matter estimation over a semi arid region Jaipur, India using satellite AOD and meteorological parameters. *Atmospheric Pollution Research* [en línea], vol. 9, no. 5, pp. 949-958. ISSN 13091042. DOI 10.1016/j.apr.2018.03.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.03.001>.
- STANEK, L.W. y BROWN, J.S., 2019. *Air Pollution: Sources, Regulation, and Health Effects* [en línea]. S.I.: Elsevier Inc. ISBN 9780128012383. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.11384-4>.
- SUN, B., SHI, Y., YANG, X., ZHAO, T., DUAN, J. y SUN, Z., 2018. DNA methylation: A critical epigenetic mechanism underlying the detrimental effects of airborne particulate matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 161, no. May, pp. 173-183. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2018.05.083.
- SUN, Y., XUE, Y., JIANG, X., JIN, C., WU, S. y ZHOU, X., 2021. Estimation of the PM2.5 and PM10 Mass Concentration over Land from FY-4A Aerosol Optical Depth Data. *Remote Sensing*, vol. 13, no. 21, pp. 4276. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs13214276.
- TANG, Y., DENG, R., LI, J., LIANG, Y., XIONG, L., LIU, Y., ZHANG, R. y HUA, Z., 2021. Estimation of ultrahigh resolution pm2.5 mass concentrations based on mie scattering theory by using landsat8 oli images over pearl river delta. *Remote Sensing*, vol. 13, no. 13. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs13132463.
- TAPIA, V., CARVAJAL, L., VANESSA, V., ESPINOZA, R., VÁSQUEZ, V.C., STEENLAND, K. y GONZALES, G.F., 2018. Reordenamiento Vehicular Y Contaminación Dióxido De Azufre Y Dióxido De Nitrógeno En Lima Nitrogen Dioxide in Metropolitan Lima , Peru. *Revista Peruana de Medicina*

Experimental y Salud Publica, vol. 35, no. 2, pp. 190-198. DOI 10.17843/rpmesp.2018.352.3250.190.

THURSTON, G.D., 2016. *Outdoor Air Pollution: Sources, Atmospheric Transport, and Human Health Effects* [en línea]. Second Edi. S.I.: Elsevier. ISBN 9780128037089. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00320-9>.

VOGEL, C.F.A., VAN WINKLE, L.S., ESSER, C. y HAARMANN-STEMMANN, T., 2020. The aryl hydrocarbon receptor as a target of environmental stressors – Implications for pollution mediated stress and inflammatory responses. *Redox Biology* [en línea], vol. 34, no. April, pp. 101530. ISSN 22132317. DOI 10.1016/j.redox.2020.101530. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101530>.

WANG, B. y CHEN, Z., 2016. High-resolution satellite-based analysis of ground-level PM_{2.5} for the city of Montreal. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 541, pp. 1059-1069. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.10.024. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.024>.

WANG, F., LIU, J. y ZENG, H., 2020. Interactions of particulate matter and pulmonary surfactant: Implications for human health. *Advances in Colloid and Interface Science* [en línea], vol. 284, pp. 102244. ISSN 00018686. DOI 10.1016/j.cis.2020.102244. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102244>.

WANG, N., MENGERSEN, K., KIMLIN, M., ZHOU, M., TONG, S., FANG, L., WANG, B. y HU, W., 2018. Lung cancer and particulate pollution: A critical review of spatial and temporal analysis evidence. *Environmental Research* [en línea], vol. 164, no. December 2017, pp. 585-596. ISSN 10960953. DOI 10.1016/j.envres.2018.03.034. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.034>.

WANG, W., DING, X., TURAP, Y., TURSUN, Y., ABULIZI, A., WANG, X., SHAO,

- L., TALIFU, D., AN, J., ZHANG, X., ZHANG, Y. y LIU, H., 2020. Distribution, sources, risks, and vitro DNA oxidative damage of PM2.5-bound atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Urumqi, NW China. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 739, pp. 139518. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.139518. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139518>.
- WANG, Y., WANG, M., HUANG, B., LI, S. y LIN, Y., 2021. Estimation and analysis of the nighttime pm2.5 concentration based on l1-01 images: A case study in the pearl river delta urban agglomeration of china. *Remote Sensing*, vol. 13, no. 17. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs13173405.
- WEI, X., BAI, K., CHANG, N.-B. y GAO, W., 2021. Multi-source hierarchical data fusion for high-resolution AOD mapping in a forest fire event. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [en línea], vol. 102, no. May, pp. 102366. ISSN 03032434. DOI 10.1016/j.jag.2021.102366. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102366>.
- WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. ISBN: 9789241511353. Disponible en: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>
- XU, X., XIA, J., GAO, Y. y ZHENG, W., 2020. Additional focus on particulate matter wash-off events from leaves is required: A review of studies of urban plants used to reduce airborne particulate matter pollution. *Urban Forestry and Urban Greening* [en línea], vol. 48, no. June 2019, pp. 126559. ISSN 16108167. DOI 10.1016/j.ufug.2019.126559. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126559>.
- YAN, X., ZANG, Z., LUO, N., JIANG, Y. y LI, Z., 2020. New interpretable deep learning model to monitor real-time PM2.5 concentrations from satellite data. *Environmental International* [en línea], vol. 144, no. August, pp. 106060. ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2020.106060. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106060>.

- YOU, W., ZANG, Z., ZHANG, L., ZHANG, M., PAN, X. y LI, Y., 2016. A nonlinear model for estimating ground-level PM10 concentration in Xi'an using MODIS aerosol optical depth retrieval. *Atmospheric Research*, vol. 168, pp. 169-179. ISSN 01698095. DOI 10.1016/j.atmosres.2015.09.008.
- YUE, J. y TIAN, Q., 2020. Estimating fractional cover of crop, crop residue, and soil in cropland using broadband remote sensing data and machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [en línea], vol. 89, no. September 2019, pp. 102089. ISSN 03032434. DOI 10.1016/j.jag.2020.102089. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102089>.
- ZHANG, B., ZHANG, M., KANG, J., HONG, D., XU, J. y ZHU, X., 2019. Estimation of PMx Concentrations from Landsat 8 OLI Images Based on a Multilayer Perceptron Neural Network. *Remote Sensing*, vol. 11, no. 6, pp. 646. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs11060646.
- ZHANG, H.K., ROY, D.P., YAN, L., LI, Z., HUANG, H., VERMOTE, E., SKAKUN, S. y ROGER, J.C., 2018. Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences. *Remote Sensing of Environment* [en línea], vol. 215, no. October 2017, pp. 482-494. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2018.04.031. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.031>.
- ZHANG, Ying, LI, Z., BAI, K., WEI, Y., XIE, Y., ZHANG, Yuanxun, OU, Y., COHEN, J., ZHANG, Yuhuan, PENG, Z., ZHANG, X., CHEN, C., HONG, J., XU, H., GUANG, J., LV, Y., LI, K. y LI, D., 2021. Satellite remote sensing of atmospheric particulate matter mass concentration: Advances, challenges, and perspectives. *Fundamental Research* [en línea], vol. 1, no. 3, pp. 240-258. ISSN 26673258. DOI 10.1016/j.fmre.2021.04.007. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.04.007>.
- ZHU, C., PRZYBYSZ, A., CHEN, Yiru, GUO, H., CHEN, Yuyang y ZENG, Y., 2019. Effect of spatial heterogeneity of plant communities on air PM10 and PM2.5 in an urban forest park in Wuhan, China. *Urban Forestry and Urban*

Greening [en línea], vol. 46, pp. 126487. ISSN 16108167. DOI 10.1016/j.ufug.2019.126487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126487>.

ZORAN, M.A., SAVASTRU, R.S., SAVASTRU, D.M. y TAUTAN, M.N., 2020. Assessing the relationship between surface levels of PM2.5 and PM10 particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 738, pp. 139825. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.139825. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139825>.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Estimación de la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima, 2020									
OBJETIVOS		DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
GENERAL	ESPECÍFICOS								
Estimar la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima	Identificar las bandas espectrales que mejor estimen la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto	Tipo Aplicada – Enfoque Cuantitativo – Diseño No Experimental - Descriptivo	Variable 2	Sensoramiento remoto	Tecnología satelital que mediante sensores o instrumentos recopila una gran cantidad de información de la superficie terrestre, incluyendo el agua y la atmósfera (Huang et al., 2018, p. 1916)	Se adquirirán las imágenes derivadas del sensor MSI a bordo del satélite Sentinel 2 desde el año 2017 al 2020 con la intención de preprocesarlas mediante el programa Rstudio y obtener la reflectancia (TOA) de sus bandas espectrales	Imágenes satelitales	Bandas espectrales	Nº Bandas
	Determinar la ecuación que mejor estime la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto							Reflectancia	µm
	Comparar la reflectancia de las imágenes satelitales derivadas del sensor MSI (Sentinel 2) y la concentración de material particulado de las estaciones automáticas de SENAMHI ubicadas en la Provincia de Lima		Variable 1	Material Particulado (PM)				Las concentraciones de material particulado para el periodo 2017 - 2020 serán adquiridos de SENAMHI, posteriormente se extraerán los valores horarios y diarios con la intención de compararlos con la reflectancia de los productos satelitales.	Concentración de material particulado (PM)
								PM-2.5	µg / m ³

Anexo 2: Ficha de Recolección de Datos Satelitales

Ficha de Observación de Imágenes Satelitales								
Datos del Investigador:								
Nombre:	Hugo							
Apellido:	Pecho Chipa							
Correo:	pechochipahugo1995@gmail.com							
Universidad:	César Vallejo							
Escuela Profesional:	Ingeniería Ambiental							
Datos de generales de la Investigación:								
Título:	Estimación de la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto en la provincia de Lima, 2020							
Área de estudio:	Provincia de Lima							
Ubicación:	Departamento de Lima (Perú)							
Satélite:	Sentinel 2A y 2B							
Sensor:	MSI							
Cantidad de imágenes satelitales								
Año	2017		2018		2019		2020	
Mes	Área de estudio (LTM)	Nubosidad aceptable	Área de estudio (LTM)	Nubosidad aceptable	Área de estudio (LTM)	Nubosidad aceptable	Área de estudio (LTM)	Nubosidad aceptable
Enero	3	2	7	2	7	1	6	1
Febrero	2	2	5	1	5	1	5	1
Marzo	3	1	6	2	6	2	7	2
Abril	2	0	6	4	6	3	7	4
Mayo	4	0	7	2	7	1	6	1
Junio	3	0	6	0	6	0	6	0
Julio	5	0	8	0	6	0	7	0
Agosto	6	0	6	0	6	0	6	0
Setiembre	4	0	6	0	6	0	6	1
Octubre	6	1	6	0	6	1	6	1
Noviembre	6	1	6	1	6	1	5	0
Diciembre	5	1	6	2	6	1	6	0
Total	49	8	83	14	73	11	73	11

Anexo 3: Productos satelitales adquiridos para el periodo del 2017 al 2020

N°	Producto	Fecha de Adquisición	URL - Imagen Satelital	Tamaño	Nubosidad (%)
1	Sentinel-2	11/01/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('4f742fff-34af-4aee-afd3-d8da83ea6a25')/Products('Quicklook')/\$value	433.77 MB	54.9147
2	Sentinel-2	31/01/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('bbad80e0-b7f8-451b-91b2-823240cfaabc')/Products('Quicklook')/\$value	402.40 MB	16.1587
3	Sentinel-2	10/02/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('4aad6eac-ec28-45d5-aa48-eceb8e31a5a1')/Products('Quicklook')/\$value	440.44 MB	38.0753
4	Sentinel-2	20/02/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('47ca123d-b5ed-48bd-ba4b-4e24f9fa705e')/Products('Quicklook')/\$value	363.96 MB	36.8119
5	Sentinel-2	12/03/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('a04b694c-a398-41a9-999f-4ab02c0e7453')/Products('Quicklook')/\$value	369.92 MB	1.9839
6	Sentinel-2	13/10/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('5f21bd33-5af0-44f0-a57f-08f263a6a526')/Products('Quicklook')/\$value	289.17 MB	1.1632
7	Sentinel-2	27/11/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('583d6832-f13e-4ef7-aaff-db504edf2391')/Products('Quicklook')/\$value	401.81 MB	39.4275
8	Sentinel-2	12/12/2017	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('0d7c2a2a-0a0a-4d43-b5e9-de4929efc0b1')/Products('Quicklook')/\$value	410.29 MB	15.0214
9	Sentinel-2	16/01/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('1d12b664-155a-4966-9fdc-a2c85f943a74')/Products('Quicklook')/\$value	287.62 MB	0.6453
10	Sentinel-2	21/01/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('c627a98d-9626-4c30-a3fa-f67845a03c2e')/Products('Quicklook')/\$value	368.41 MB	32.9987
11	Sentinel-2	26/01/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('bf3b3377-37ec-4ef1-a5b7-68c65f1125f0')/Products('Quicklook')/\$value	425.32 MB	14.6727
12	Sentinel-2	20/02/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('1a59ab24-be65-4824-aabf-441c9ed13e7a')/Products('Quicklook')/\$value	359.26 MB	5.0624
13	Sentinel-2	02/03/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('7bedf7bc-128f-4222-9abac5c3f96f9c7b')/Products('Quicklook')/\$value	434.40 MB	29.8471
14	Sentinel-2	27/03/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('2be62bc8-6036-4c3e-b215-4f8a7f7b6c7f')/Products('Quicklook')/\$value	408.36 MB	2.7801
15	Sentinel-2	06/04/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('9ef7a17e93cf06')/Products('Quicklook')/\$value	398.26 MB	37.5971
16	Sentinel-2	11/04/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('3c7da7b1-c542-4c6d-9017-6f4b2d904234')/Products('Quicklook')/\$value	373.64 MB	0
17	Sentinel-2	16/04/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('affdc131-3198-43f9-9701-415ab5c9a2d6')/Products('Quicklook')/\$value	453.07 MB	24.1509
18	Sentinel-2	21/04/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('7714e4ac-a0f2-4d23-b464-0298af9226e1')/Products('Quicklook')/\$value	416.77 MB	9.834
19	Sentinel-2	16/05/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('3884e01d-a4f9-4e00-82b0-0243bb613d5e')/Products('Quicklook')/\$value	385.43 MB	13.6941
20	Sentinel-2	21/05/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('04c62550-ea59-4034-b464-8c46eebf7090')/Products('Quicklook')/\$value	464.46 MB	36.6149
21	Sentinel-2	27/11/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('d971d85b-e2d2-437b-b061-b0841d3f457f')/Products('Quicklook')/\$value	388.71 MB	0.0963
22	Sentinel-2	17/12/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('632c3ecc-a3dc-4503-9c87-5ee7dd52e4af')/Products('Quicklook')/\$value	442.95 MB	19.5425
23	Sentinel-2	27/12/2018	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('a0de0763-6447-45fb-87fb-	406.45 MB	3.327

			e7a1079a3a14)/Products('Quicklook')/\$value		
24	Sentinel-2	31/01/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('68edc354-6111-4370-b3f1-d6f452154048)/Products('Quicklook')/\$value	401.43 MB	5.4465
25	Sentinel-2	05/02/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('0f534252-d8f4-4109-87ce-e3f4ade8f4e7)/Products('Quicklook')/\$value	375.15 MB	0.1179
26	Sentinel-2	02/03/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('0b75e0de-d941-4574-8be7-f2541dd65b4a)/Products('Quicklook')/\$value	366.00 MB	0.0183
27	Sentinel-2	17/03/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('ef66e94f-65d6-428a-a0f9-6ca02559812b)/Products('Quicklook')/\$value	386.72 MB	0.428
28	Sentinel-2	11/04/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('31964758-dd34-4881-84c6-92f55a7d178e)/Products('Quicklook')/\$value	368.17 MB	0
29	Sentinel-2	16/04/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('ce3a2022-d2ad-4117-80eb-20a5159df3d0)/Products('Quicklook')/\$value	377.16 MB	5.3929
30	Sentinel-2	21/04/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('62a95f56-28d6-4afa-b622-98ca6637bd35)/Products('Quicklook')/\$value	385.92 MB	0.4281
31	Sentinel-2	01/05/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('f05ae7aa-f9a6-46f7-a5b2-877554b072ee)/Products('Quicklook')/\$value	434.91 MB	5.503
32	Sentinel-2	28/10/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('c52e0a17-edf1-404c-ab6e-aec0c4049b7d)/Products('Quicklook')/\$value	404.14 MB	10.3003
33	Sentinel-2	02/11/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('a8485985-c3ed-4c1f-bc71-ad8d4bb76642)/Products('Quicklook')/\$value	456.22 MB	42.7428
34	Sentinel-2	27/12/2019	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('0d770ca7-f34a-4db3-845a-23ab4a7bc7c5)/Products('Quicklook')/\$value	437.45 MB	45.3169
35	Sentinel-2	25/02/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('4054d09b-d4a8-4be8-a602-549fb93a02e1)/Products('Quicklook')/\$value	449.75 MB	31.8504
36	Sentinel-2	11/03/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('d0a51de8-b3f4-4fbc-8a7a-dcdb2661f0c8)/Products('Quicklook')/\$value	392.52 MB	0.6895
37	Sentinel-2	21/03/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('5b52c36f-b847-4900-be48-87cd6b4e9d78)/Products('Quicklook')/\$value	364.88 MB	0.4724
38	Sentinel-2	15/04/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('6c524a3f-715a-48f5-9d37-d04126fa5148)/Products('Quicklook')/\$value	377.62 MB	4.69
39	Sentinel-2	20/04/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('29a83c01-d90d-4b81-a92b-feb228c44c3c)/Products('Quicklook')/\$value	389.32 MB	0.0988
40	Sentinel-2	25/04/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('77152044-56ad-4852-ac44-562c165b2a07)/Products('Quicklook')/\$value	388.14 MB	3.3577
41	Sentinel-2	30/04/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('a8682c13-eeefc-4edd-83e2-ad6a0faa82cf)/Products('Quicklook')/\$value	395.45 MB	2.8272
42	Sentinel-2	10/05/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('6ac686e2-a690-44ee-82d6-790c7dd4aed6)/Products('Quicklook')/\$value	438.24 MB	15.3371
43	Sentinel-2	22/09/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('7dc15cc0-8c3c-4a63-9ef0-3e520203e745)/Products('Quicklook')/\$value	433.15 MB	60.8006
44	Sentinel-2	22/10/2020	https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('f3b2879e-a849-4d2f-954a-1163c57fde32)/Products('Quicklook')/\$value	452.86 MB	11.6808

Anexo 4: Carta de presentación para solicitud de datos de material particulado



Lima, 20 de febrero del 2021

CARTA N°

Señor Ingeniero:

José Percy Barrón López

(Gerente General del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)

Presente:

De mi mayor consideración:

El que suscribe, Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfán, Coordinador de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo - Lima Este, tiene el agrado de presentar al investigador, Hugo Pecho Chipa, identificado con DNI N°77174299, alumno del décimo ciclo de la escuela académica profesional de Ingeniería Ambiental, a fin de solicitar que, otorgue las facilidades necesarias de la solicitud de datos para el desarrollo de su proyecto de investigación (tesis) titulado: "Estimación de la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto, Provincia de Lima, 2020".

Sin otro particular, y agradeciendo de ante mano la atención brindada, me despido.

Atentamente.


.....
Dr. Eduardo Ronald Espinoza Farfán
Director Nacional
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
Universidad César Vallejo – Campus SJL

Anexo 5: Declaración jurada para la solicitud de datos de material particulado

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

ANEXO 03: FORMATO DE DECLARACIÓN JURADA

DECLARACION JURADA

Yo, Hugo Pecho Chipa identificado (a) con DNI
N° 77174299 con domicilio en Paul Poblet Lind 1441 Lt 6 en el Distrito de
Pachacamac Provincia de Lima, Departamento
Lima

DECLARO BAJO JURAMENTO, QUE

La información hidrometeorológica proporcionada por SENAMHI, será de uso exclusivo de mi trabajo/proyecto/tesis titulado (a) Estimación de la concentración de material particulado mediante sensoramiento remoto, Provincia de Lima 2020 de la Universidad/Instituto Universidad César Vallejo

Lima, 19 de febrero del 2024.

Pecho

Firma del Usuario

Anexo 6: Recepción de datos mediante el N° de expediente 1185

TESISTA HUGO PECHO CHIPA Recibidos x



Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD) <lgamarra@senamhi.gob.pe>
para mí, Manuel, Milagros ▾

lun, 1 mar. 21:28 ☆ ↶ ⋮

Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD) ha compartido un archivo de OneDrive para la Empresa con usted. Para verlo, haga clic en el vínculo siguiente.


 N EXP. 1185-HUGO PECHO CHIPA.xlsx

TESISTA HUGO PECHO CHIPA:

Reciba el cordial saludo del SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGIA DEL PERU - **SENAMHI**, a fin de remitirle los datos disponibles de la red de estaciones de calidad de aire de Lima Metropolitana, solicitada con el EXPEDIENTE N° 1185, escala HORARIA y DIARIA, periodo (2017 - 2020); cabe indicar que **bajo la modalidad de servicio gratuito es por una sola vez**. A la espera de su confirmación en cuanto a la recepción del presente y hacerle recordar que una vez concluida y aprobada su TESIS hacer llegar un ejemplar para nuestra biblioteca especializada, saludos.

Expediente: 1185

--

	Luis Felipe Gamarra Chavarry DIRECTOR DE PLANEAMIENTO, COORDINACION Y CONTROL GERENCIA GENERAL SENAMHI - PERÚ	D: Jr. Cahuiúe 785, Jesús María - Lima T:01 6141414 Anexo - C: - E: lgamarra@senamhi.gob.pe W: www.senamhi.gob.pe
---	---	--

SENAMHI es una institución responsable con el medio ambiente. Le pedimos no imprimir este correo a menos que sea absolutamente necesario. Reduzca - Reuse - Recicle

Anexo 7: Datos a escala diaria de las concentraciones de PM10 y reflectancia de las imágenes del sensor MSI

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BANDAS ESPECTRALES (μm)												NUBOSIDAD (%)	
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a	B9	B10	B11		B12
92.501	0.193	0.178	0.166	0.176	0.168	0.183	0.206	0.183	0.217	0.027	0.001	0.246	0.197	54.915
68.080	0.194	0.170	0.161	0.167	0.170	0.197	0.217	0.197	0.225	0.028	0.001	0.227	0.187	54.915
80.118	0.187	0.162	0.147	0.151	0.141	0.163	0.163	0.152	0.175	0.023	0.001	0.181	0.151	54.915
302.000	0.188	0.165	0.164	0.184	0.188	0.209	0.228	0.219	0.236	0.028	0.001	0.273	0.225	54.915
98.632	0.188	0.167	0.161	0.164	0.163	0.186	0.210	0.181	0.223	0.024	0.001	0.228	0.180	54.915
68.665	0.204	0.160	0.150	0.152	0.148	0.183	0.206	0.215	0.207	0.026	0.001	0.214	0.155	54.915
175.300	0.195	0.181	0.167	0.181	0.175	0.186	0.202	0.179	0.208	0.027	0.001	0.219	0.180	54.915
142.009	0.188	0.158	0.150	0.145	0.143	0.178	0.196	0.201	0.210	0.025	0.001	0.176	0.131	54.915
86.248	0.197	0.179	0.177	0.190	0.179	0.198	0.226	0.201	0.245	0.026	0.002	0.253	0.192	16.159
62.944	0.193	0.172	0.167	0.172	0.165	0.194	0.212	0.190	0.228	0.025	0.002	0.217	0.175	16.159
73.187	0.184	0.165	0.151	0.145	0.136	0.154	0.157	0.144	0.168	0.020	0.002	0.160	0.120	16.159
33.260	0.183	0.144	0.142	0.110	0.177	0.267	0.304	0.281	0.343	0.030	0.002	0.270	0.161	16.159
162.289	0.189	0.166	0.159	0.169	0.179	0.196	0.218	0.195	0.228	0.026	0.002	0.265	0.223	16.159
81.439	0.195	0.187	0.173	0.170	0.168	0.196	0.213	0.173	0.228	0.023	0.002	0.229	0.176	16.159
128.437	0.198	0.168	0.152	0.148	0.151	0.173	0.198	0.225	0.219	0.023	0.002	0.207	0.154	16.159
118.550	0.195	0.184	0.175	0.186	0.162	0.173	0.194	0.184	0.203	0.025	0.002	0.206	0.170	16.159
131.986	0.192	0.158	0.150	0.137	0.151	0.179	0.209	0.197	0.213	0.024	0.002	0.183	0.138	16.159
103.680	0.194	0.188	0.179	0.198	0.180	0.201	0.227	0.203	0.237	0.028	0.003	0.255	0.197	38.075
67.690	0.188	0.175	0.165	0.169	0.155	0.162	0.183	0.171	0.189	0.026	0.004	0.182	0.157	38.075
33.474	0.193	0.144	0.136	0.113	0.189	0.278	0.306	0.274	0.337	0.036	0.003	0.288	0.175	38.075
151.855	0.183	0.155	0.144	0.146	0.145	0.158	0.169	0.150	0.171	0.025	0.004	0.172	0.133	38.075
86.104	0.198	0.198	0.188	0.179	0.171	0.193	0.214	0.178	0.227	0.026	0.002	0.231	0.183	38.075
39.197	0.199	0.168	0.159	0.156	0.153	0.191	0.221	0.234	0.238	0.026	0.002	0.212	0.159	38.075
122.171	0.179	0.148	0.126	0.111	0.093	0.098	0.102	0.094	0.098	0.017	0.002	0.075	0.053	38.075
110.829	0.191	0.161	0.152	0.142	0.147	0.183	0.207	0.209	0.219	0.027	0.004	0.178	0.134	38.075
112.480	0.192	0.180	0.177	0.198	0.190	0.196	0.221	0.211	0.239	0.034	0.006	0.259	0.213	36.812
50.560	0.189	0.168	0.168	0.182	0.172	0.199	0.219	0.196	0.230	0.036	0.007	0.216	0.175	36.812
38.675	0.173	0.135	0.133	0.112	0.169	0.248	0.298	0.263	0.316	0.041	0.006	0.258	0.165	36.812
172.565	0.182	0.168	0.165	0.177	0.187	0.202	0.218	0.202	0.231	0.039	0.008	0.258	0.221	36.812
107.205	0.188	0.186	0.179	0.172	0.174	0.195	0.212	0.170	0.226	0.030	0.005	0.231	0.178	36.812
56.650	0.196	0.160	0.157	0.150	0.158	0.195	0.197	0.240	0.223	0.032	0.005	0.204	0.160	36.812
160.103	0.194	0.183	0.177	0.191	0.172	0.181	0.194	0.185	0.204	0.037	0.009	0.210	0.175	36.812
119.883	0.182	0.154	0.147	0.134	0.141	0.177	0.200	0.192	0.207	0.032	0.006	0.177	0.135	36.812
70.275	0.185	0.160	0.147	0.151	0.147	0.159	0.181	0.154	0.183	0.021	0.001	0.186	0.158	1.984
30.760	0.189	0.139	0.136	0.116	0.171	0.255	0.289	0.284	0.317	0.029	0.001	0.265	0.158	1.984
155.650	0.181	0.157	0.153	0.158	0.169	0.192	0.210	0.193	0.224	0.025	0.001	0.248	0.201	1.984
51.753	0.193	0.160	0.147	0.144	0.148	0.182	0.198	0.226	0.213	0.023	0.001	0.204	0.149	1.984
95.898	0.188	0.174	0.164	0.177	0.163	0.177	0.188	0.176	0.203	0.026	0.001	0.206	0.170	1.984
119.306	0.184	0.156	0.144	0.141	0.138	0.172	0.204	0.200	0.207	0.024	0.001	0.177	0.128	1.984
88.253	0.193	0.199	0.196	0.213	0.188	0.189	0.217	0.206	0.219	0.033	0.001	0.232	0.210	39.428
56.030	0.186	0.165	0.153	0.154	0.144	0.159	0.170	0.153	0.171	0.030	0.001	0.178	0.152	39.428

40.505	0.187	0.158	0.150	0.139	0.174	0.243	0.266	0.254	0.283	0.042	0.001	0.256	0.178	39.428
124.748	0.190	0.168	0.160	0.171	0.182	0.202	0.219	0.200	0.238	0.037	0.001	0.263	0.214	39.428
89.163	0.190	0.172	0.165	0.174	0.174	0.189	0.209	0.185	0.220	0.033	0.001	0.239	0.205	39.428
53.284	0.202	0.176	0.166	0.173	0.179	0.208	0.229	0.217	0.250	0.036	0.001	0.248	0.219	39.428
114.907	0.199	0.185	0.178	0.191	0.173	0.186	0.201	0.191	0.209	0.034	0.001	0.223	0.190	39.428
90.680	0.186	0.159	0.144	0.135	0.147	0.171	0.188	0.176	0.185	0.032	0.001	0.180	0.147	39.428
142.463	0.180	0.180	0.178	0.193	0.173	0.192	0.210	0.198	0.217	0.036	0.001	0.232	0.214	15.021
85.115	0.185	0.164	0.161	0.167	0.166	0.183	0.204	0.194	0.210	0.038	0.001	0.211	0.182	1.163
144.017	0.174	0.157	0.144	0.148	0.147	0.155	0.176	0.156	0.181	0.032	0.001	0.181	0.156	1.163
64.984	0.176	0.138	0.137	0.126	0.186	0.252	0.284	0.272	0.307	0.049	0.001	0.269	0.179	1.163
280.288	0.176	0.154	0.150	0.158	0.175	0.194	0.214	0.209	0.224	0.039	0.001	0.249	0.218	1.163
149.184	0.177	0.171	0.160	0.173	0.180	0.193	0.213	0.188	0.225	0.037	0.001	0.239	0.206	1.163
86.804	0.191	0.163	0.156	0.167	0.181	0.198	0.230	0.215	0.250	0.039	0.001	0.245	0.209	1.163
171.108	0.189	0.178	0.173	0.187	0.171	0.176	0.192	0.189	0.199	0.037	0.001	0.211	0.188	1.163
186.229	0.174	0.151	0.141	0.137	0.141	0.163	0.183	0.189	0.197	0.034	0.001	0.175	0.138	1.163
102.855	0.187	0.200	0.197	0.213	0.180	0.190	0.197	0.210	0.208	0.032	0.001	0.227	0.204	1.163
57.424	0.195	0.178	0.165	0.174	0.170	0.186	0.211	0.195	0.217	0.034	0.001	0.216	0.183	15.021
117.621	0.181	0.167	0.153	0.158	0.150	0.158	0.174	0.159	0.183	0.028	0.001	0.179	0.151	15.021
49.014	0.188	0.151	0.141	0.128	0.183	0.252	0.293	0.287	0.318	0.043	0.001	0.268	0.185	15.021
88.835	0.183	0.170	0.162	0.169	0.168	0.185	0.209	0.182	0.217	0.032	0.001	0.244	0.211	15.021
59.753	0.204	0.177	0.165	0.175	0.175	0.179	0.198	0.216	0.203	0.034	0.001	0.228	0.185	15.021
155.778	0.194	0.183	0.177	0.196	0.173	0.180	0.195	0.195	0.206	0.036	0.001	0.225	0.192	15.021
165.150	0.180	0.157	0.140	0.131	0.139	0.166	0.185	0.183	0.190	0.031	0.001	0.172	0.142	15.021
90.249	0.189	0.218	0.228	0.243	0.183	0.194	0.234	0.254	0.247	0.030	0.001	0.259	0.215	5.062
54.505	0.187	0.169	0.167	0.170	0.165	0.199	0.220	0.200	0.229	0.033	0.001	0.219	0.177	5.062
67.206	0.183	0.170	0.161	0.164	0.163	0.181	0.200	0.177	0.217	0.028	0.001	0.222	0.187	5.062
49.097	0.193	0.170	0.158	0.144	0.145	0.179	0.193	0.218	0.209	0.031	0.001	0.203	0.148	5.062
119.597	0.191	0.184	0.178	0.194	0.167	0.178	0.194	0.197	0.206	0.030	0.001	0.216	0.183	5.062
140.698	0.178	0.149	0.138	0.123	0.142	0.168	0.185	0.179	0.194	0.029	0.001	0.178	0.147	5.062
118.507	0.174	0.158	0.150	0.151	0.144	0.165	0.185	0.179	0.199	0.032	0.001	0.204	0.161	5.062
89.997	0.188	0.229	0.242	0.268	0.204	0.219	0.249	0.269	0.230	0.027	0.002	0.235	0.192	29.847
25.151	0.175	0.141	0.131	0.118	0.154	0.245	0.299	0.256	0.316	0.035	0.002	0.251	0.153	29.847
59.407	0.184	0.177	0.170	0.169	0.158	0.183	0.204	0.175	0.215	0.025	0.002	0.226	0.179	29.847
53.851	0.196	0.172	0.155	0.148	0.146	0.179	0.194	0.197	0.205	0.026	0.002	0.199	0.150	29.847
130.055	0.196	0.181	0.176	0.191	0.169	0.173	0.197	0.192	0.208	0.027	0.002	0.213	0.182	29.847
106.320	0.176	0.150	0.136	0.130	0.142	0.156	0.189	0.171	0.197	0.025	0.002	0.178	0.143	29.847
97.068	0.194	0.210	0.220	0.245	0.190	0.203	0.216	0.242	0.240	0.025	0.001	0.232	0.189	2.780
185.991	0.182	0.163	0.157	0.163	0.168	0.192	0.211	0.198	0.223	0.025	0.001	0.243	0.193	2.780
89.582	0.196	0.174	0.169	0.175	0.174	0.188	0.206	0.181	0.223	0.025	0.001	0.232	0.185	2.780
62.485	0.197	0.170	0.155	0.145	0.139	0.174	0.188	0.192	0.203	0.023	0.001	0.186	0.141	2.780
109.020	0.191	0.161	0.149	0.146	0.143	0.174	0.194	0.175	0.203	0.023	0.001	0.179	0.133	2.780
93.780	0.183	0.212	0.218	0.239	0.177	0.193	0.227	0.251	0.226	0.030	0.001	0.231	0.182	37.597
32.534	0.165	0.134	0.126	0.110	0.152	0.237	0.288	0.259	0.305	0.040	0.002	0.252	0.148	37.597
105.028	0.186	0.178	0.179	0.188	0.189	0.218	0.237	0.208	0.243	0.036	0.002	0.248	0.200	37.597
121.842	0.177	0.149	0.136	0.130	0.140	0.160	0.176	0.166	0.182	0.031	0.005	0.161	0.135	37.597

113.080	0.177	0.153	0.144	0.149	0.141	0.163	0.179	0.163	0.188	0.040	0.004	0.182	0.145	37.597
84.001	0.178	0.201	0.203	0.226	0.175	0.180	0.205	0.231	0.213	0.026	0.001	0.225	0.186	0.000
26.865	0.160	0.119	0.112	0.096	0.131	0.219	0.268	0.241	0.284	0.036	0.001	0.231	0.140	0.000
185.860	0.169	0.154	0.156	0.168	0.164	0.178	0.201	0.188	0.208	0.028	0.001	0.240	0.202	0.000
83.873	0.179	0.165	0.160	0.173	0.169	0.184	0.207	0.190	0.222	0.028	0.001	0.229	0.186	0.000
48.865	0.179	0.169	0.158	0.156	0.183	0.223	0.246	0.232	0.261	0.029	0.001	0.223	0.210	0.000
112.445	0.180	0.177	0.177	0.189	0.166	0.171	0.194	0.192	0.200	0.031	0.001	0.222	0.182	0.000
108.328	0.172	0.143	0.132	0.121	0.142	0.158	0.167	0.163	0.175	0.026	0.001	0.172	0.139	0.000
99.243	0.166	0.147	0.139	0.142	0.132	0.156	0.178	0.161	0.184	0.029	0.001	0.182	0.147	0.000
86.775	0.183	0.198	0.205	0.230	0.170	0.181	0.192	0.229	0.221	0.033	0.001	0.216	0.177	24.151
49.543	0.190	0.170	0.167	0.178	0.171	0.202	0.210	0.206	0.228	0.035	0.001	0.214	0.176	24.151
24.416	0.172	0.134	0.124	0.105	0.162	0.237	0.280	0.260	0.294	0.043	0.001	0.236	0.151	24.151
99.131	0.188	0.171	0.165	0.177	0.184	0.204	0.218	0.200	0.234	0.035	0.002	0.237	0.200	24.151
45.398	0.192	0.169	0.162	0.153	0.183	0.213	0.250	0.231	0.267	0.034	0.001	0.231	0.207	24.151
95.588	0.188	0.177	0.170	0.185	0.165	0.184	0.191	0.181	0.203	0.035	0.002	0.215	0.182	24.151
128.913	0.176	0.146	0.130	0.131	0.134	0.169	0.185	0.169	0.185	0.032	0.001	0.169	0.133	24.151
99.742	0.168	0.152	0.140	0.145	0.140	0.158	0.170	0.156	0.180	0.035	0.001	0.183	0.153	24.151
105.300	0.177	0.189	0.194	0.217	0.173	0.169	0.193	0.218	0.196	0.027	0.001	0.222	0.171	9.834
69.481	0.179	0.160	0.156	0.171	0.159	0.187	0.205	0.188	0.222	0.028	0.001	0.207	0.172	9.834
70.096	0.171	0.148	0.140	0.149	0.141	0.149	0.157	0.141	0.166	0.024	0.001	0.180	0.157	9.834
37.494	0.155	0.127	0.117	0.097	0.136	0.221	0.273	0.241	0.298	0.035	0.001	0.231	0.137	9.834
68.783	0.181	0.180	0.170	0.175	0.194	0.223	0.244	0.234	0.270	0.030	0.001	0.232	0.208	9.834
144.665	0.175	0.170	0.173	0.194	0.165	0.180	0.189	0.190	0.198	0.031	0.001	0.218	0.181	9.834
149.775	0.171	0.144	0.132	0.129	0.133	0.153	0.161	0.156	0.173	0.025	0.001	0.171	0.139	9.834
108.730	0.162	0.144	0.133	0.135	0.130	0.147	0.169	0.151	0.176	0.028	0.001	0.171	0.140	9.834
111.553	0.157	0.142	0.126	0.124	0.101	0.100	0.111	0.105	0.107	0.025	0.009	0.084	0.070	13.694
81.495	0.156	0.132	0.121	0.116	0.111	0.122	0.133	0.116	0.132	0.024	0.007	0.110	0.090	13.694
93.684	0.182	0.159	0.134	0.132	0.127	0.134	0.142	0.132	0.149	0.033	0.010	0.139	0.118	13.694
35.909	0.169	0.134	0.122	0.107	0.148	0.213	0.247	0.227	0.267	0.042	0.007	0.215	0.131	13.694
210.350	0.160	0.145	0.118	0.112	0.110	0.118	0.125	0.121	0.130	0.026	0.007	0.123	0.097	13.694
113.496	0.192	0.171	0.162	0.166	0.164	0.184	0.197	0.180	0.204	0.044	0.016	0.203	0.171	13.694
167.754	0.183	0.167	0.155	0.162	0.149	0.163	0.180	0.161	0.184	0.035	0.009	0.188	0.156	13.694
189.050	0.353	0.227	0.249	0.271	0.282	0.298	0.325	0.258	0.350	0.216	0.034	0.313	0.331	13.694
97.317	0.191	0.184	0.180	0.190	0.176	0.170	0.196	0.194	0.195	0.028	0.001	0.218	0.174	36.615
67.113	0.192	0.168	0.159	0.168	0.159	0.176	0.199	0.189	0.204	0.030	0.001	0.193	0.159	36.615
29.134	0.190	0.155	0.139	0.125	0.159	0.209	0.238	0.236	0.259	0.036	0.001	0.223	0.155	36.615
173.149	0.180	0.153	0.144	0.142	0.155	0.168	0.189	0.174	0.198	0.027	0.001	0.224	0.183	36.615
90.418	0.179	0.160	0.147	0.156	0.162	0.174	0.198	0.172	0.210	0.029	0.001	0.224	0.187	36.615
169.428	0.187	0.167	0.153	0.157	0.152	0.159	0.180	0.161	0.191	0.029	0.001	0.191	0.160	36.615
133.625	0.181	0.150	0.136	0.128	0.133	0.156	0.179	0.158	0.176	0.027	0.001	0.158	0.125	36.615
68.964	0.179	0.179	0.168	0.173	0.159	0.166	0.176	0.179	0.186	0.049	0.001	0.189	0.171	0.096
59.429	0.185	0.176	0.174	0.187	0.180	0.200	0.214	0.211	0.222	0.061	0.001	0.223	0.194	0.096
67.455	0.178	0.165	0.156	0.161	0.154	0.165	0.181	0.176	0.184	0.050	0.001	0.190	0.173	0.096
22.552	0.163	0.123	0.118	0.100	0.178	0.260	0.295	0.293	0.324	0.082	0.001	0.256	0.177	0.096
99.475	0.178	0.173	0.165	0.181	0.186	0.200	0.213	0.201	0.229	0.057	0.001	0.256	0.230	0.096

39.435	0.202	0.190	0.188	0.209	0.302	0.320	0.313	0.251	0.346	0.071	0.001	0.319	0.245	0.096
82.139	0.186	0.171	0.163	0.173	0.163	0.170	0.182	0.182	0.191	0.058	0.001	0.204	0.191	0.096
85.446	0.186	0.166	0.153	0.146	0.157	0.176	0.204	0.199	0.217	0.051	0.001	0.218	0.174	0.096
98.918	0.172	0.162	0.153	0.158	0.151	0.176	0.193	0.191	0.200	0.062	0.001	0.202	0.172	0.096
80.219	0.181	0.184	0.169	0.179	0.157	0.169	0.189	0.179	0.186	0.026	0.001	0.192	0.163	19.543
54.077	0.190	0.178	0.171	0.182	0.171	0.193	0.220	0.197	0.229	0.031	0.001	0.220	0.179	19.543
73.801	0.181	0.164	0.147	0.154	0.146	0.160	0.177	0.159	0.179	0.025	0.001	0.183	0.153	19.543
22.409	0.190	0.136	0.123	0.104	0.141	0.204	0.240	0.221	0.254	0.033	0.001	0.179	0.111	19.543
151.978	0.185	0.170	0.164	0.177	0.179	0.192	0.215	0.192	0.224	0.031	0.001	0.273	0.238	19.543
64.353	0.186	0.187	0.171	0.182	0.160	0.162	0.184	0.179	0.182	0.025	0.001	0.190	0.157	3.327
35.868	0.197	0.174	0.155	0.150	0.136	0.154	0.172	0.151	0.173	0.023	0.001	0.133	0.101	3.327
54.936	0.185	0.162	0.145	0.150	0.143	0.152	0.174	0.147	0.177	0.024	0.001	0.173	0.144	3.327
16.427	0.183	0.147	0.131	0.114	0.159	0.231	0.279	0.247	0.316	0.037	0.001	0.265	0.174	3.327
32.798	0.218	0.194	0.183	0.195	0.200	0.226	0.246	0.195	0.274	0.029	0.001	0.246	0.173	3.327
106.448	0.183	0.170	0.148	0.142	0.145	0.168	0.210	0.195	0.225	0.026	0.001	0.212	0.160	3.327
54.278	0.190	0.187	0.182	0.189	0.159	0.177	0.187	0.185	0.185	0.023	0.002	0.194	0.161	5.447
54.008	0.194	0.173	0.166	0.169	0.161	0.192	0.215	0.191	0.223	0.027	0.003	0.215	0.169	5.447
40.693	0.189	0.165	0.148	0.147	0.141	0.156	0.175	0.147	0.178	0.025	0.003	0.169	0.137	5.447
16.992	0.180	0.143	0.129	0.110	0.163	0.251	0.284	0.262	0.316	0.035	0.003	0.253	0.151	5.447
67.722	0.188	0.160	0.149	0.141	0.147	0.171	0.208	0.189	0.224	0.025	0.003	0.194	0.145	5.447
66.409	0.186	0.178	0.169	0.173	0.154	0.157	0.171	0.169	0.182	0.019	0.001	0.183	0.159	0.118
64.306	0.184	0.163	0.157	0.169	0.159	0.182	0.208	0.192	0.218	0.021	0.001	0.213	0.168	0.118
56.788	0.177	0.151	0.135	0.135	0.131	0.147	0.156	0.138	0.161	0.018	0.001	0.162	0.137	0.118
15.980	0.173	0.133	0.134	0.106	0.157	0.245	0.302	0.300	0.323	0.028	0.001	0.260	0.152	0.118
80.836	0.177	0.152	0.142	0.135	0.135	0.162	0.198	0.173	0.210	0.020	0.001	0.198	0.142	0.118
56.429	0.184	0.162	0.160	0.176	0.169	0.197	0.218	0.196	0.232	0.028	0.001	0.222	0.176	0.018
54.861	0.174	0.148	0.139	0.140	0.133	0.147	0.161	0.141	0.170	0.023	0.001	0.168	0.144	0.018
16.681	0.178	0.129	0.129	0.105	0.169	0.268	0.301	0.303	0.327	0.043	0.001	0.257	0.164	0.018
45.327	0.185	0.169	0.164	0.180	0.163	0.190	0.215	0.191	0.220	0.025	0.002	0.215	0.174	0.428
66.138	0.179	0.161	0.144	0.149	0.140	0.149	0.172	0.142	0.179	0.023	0.003	0.177	0.151	0.428
18.322	0.173	0.127	0.129	0.106	0.158	0.241	0.280	0.259	0.316	0.031	0.002	0.245	0.155	0.428
108.062	0.180	0.170	0.163	0.172	0.169	0.186	0.211	0.185	0.224	0.025	0.003	0.241	0.195	0.428
53.474	0.184	0.163	0.159	0.179	0.165	0.189	0.213	0.201	0.216	0.029	0.001	0.212	0.171	0.000
21.812	0.173	0.128	0.122	0.106	0.155	0.232	0.272	0.249	0.295	0.035	0.001	0.246	0.148	0.000
56.852	0.183	0.166	0.160	0.184	0.167	0.197	0.215	0.204	0.225	0.030	0.001	0.210	0.174	5.393
105.948	0.176	0.153	0.141	0.142	0.137	0.151	0.158	0.138	0.168	0.025	0.001	0.173	0.149	5.393
24.348	0.168	0.130	0.118	0.099	0.158	0.230	0.270	0.245	0.292	0.037	0.001	0.240	0.156	5.393
47.185	0.185	0.165	0.166	0.180	0.166	0.192	0.210	0.204	0.221	0.029	0.001	0.208	0.169	0.428
65.613	0.177	0.152	0.142	0.139	0.143	0.154	0.160	0.137	0.169	0.024	0.001	0.174	0.150	0.428
22.413	0.168	0.126	0.119	0.097	0.151	0.227	0.268	0.254	0.290	0.035	0.001	0.240	0.143	0.428
48.660	0.191	0.170	0.163	0.174	0.165	0.184	0.206	0.189	0.215	0.029	0.001	0.199	0.165	5.503
91.623	0.185	0.159	0.146	0.144	0.140	0.153	0.162	0.144	0.169	0.024	0.001	0.166	0.140	5.503
24.209	0.176	0.138	0.124	0.108	0.152	0.216	0.253	0.224	0.276	0.034	0.001	0.233	0.147	5.503
48.469	0.180	0.177	0.171	0.181	0.154	0.162	0.177	0.176	0.181	0.034	0.001	0.178	0.161	10.300
104.415	0.178	0.162	0.146	0.149	0.146	0.159	0.167	0.149	0.171	0.033	0.001	0.178	0.151	10.300

33.636	0.169	0.130	0.124	0.107	0.174	0.254	0.287	0.281	0.310	0.051	0.001	0.258	0.177	10.300
53.281	0.184	0.183	0.179	0.187	0.152	0.160	0.183	0.178	0.188	0.029	0.001	0.189	0.164	42.743
110.167	0.185	0.164	0.147	0.149	0.145	0.155	0.174	0.151	0.177	0.027	0.001	0.175	0.151	42.743
39.597	0.183	0.141	0.133	0.118	0.164	0.227	0.269	0.259	0.297	0.041	0.001	0.256	0.174	42.743
55.293	0.182	0.179	0.167	0.172	0.143	0.156	0.175	0.168	0.170	0.026	0.002	0.173	0.143	45.317
93.678	0.184	0.157	0.142	0.142	0.138	0.152	0.161	0.142	0.172	0.025	0.002	0.165	0.136	45.317
27.676	0.184	0.137	0.125	0.107	0.171	0.252	0.288	0.265	0.308	0.040	0.002	0.257	0.163	45.317
45.956	0.209	0.203	0.187	0.197	0.168	0.178	0.190	0.191	0.189	0.027	0.001	0.191	0.153	31.850
28.380	0.184	0.149	0.133	0.125	0.180	0.239	0.277	0.242	0.305	0.036	0.001	0.282	0.184	31.850
23.868	0.241	0.211	0.209	0.225	0.227	0.260	0.284	0.239	0.294	0.063	0.001	0.272	0.236	4.690
22.072	0.505	0.481	0.477	0.510	0.512	0.532	0.554	0.487	0.566	0.239	0.003	0.457	0.363	4.690
18.513	0.172	0.124	0.122	0.122	0.160	0.226	0.265	0.230	0.284	0.036	0.001	0.269	0.169	4.690
87.997	0.181	0.160	0.159	0.168	0.183	0.202	0.218	0.196	0.235	0.032	0.001	0.263	0.218	4.690
52.474	0.161	0.129	0.105	0.093	0.092	0.104	0.111	0.088	0.110	0.017	0.001	0.089	0.068	4.690
26.408	0.178	0.162	0.160	0.176	0.158	0.190	0.213	0.205	0.228	0.032	0.001	0.203	0.166	0.099
24.924	0.176	0.148	0.138	0.145	0.142	0.152	0.169	0.143	0.174	0.025	0.001	0.173	0.156	0.099
20.110	0.170	0.125	0.111	0.112	0.173	0.224	0.263	0.222	0.290	0.040	0.001	0.277	0.180	0.099
100.629	0.176	0.158	0.154	0.171	0.181	0.195	0.220	0.204	0.232	0.034	0.001	0.261	0.224	0.099
58.895	0.174	0.173	0.163	0.170	0.179	0.202	0.230	0.223	0.244	0.032	0.001	0.248	0.201	0.099
23.800	0.182	0.164	0.163	0.179	0.160	0.194	0.220	0.200	0.223	0.034	0.001	0.209	0.169	3.358
24.706	0.177	0.150	0.139	0.140	0.145	0.150	0.171	0.143	0.176	0.028	0.001	0.175	0.155	3.358
17.006	0.173	0.128	0.118	0.115	0.173	0.218	0.258	0.216	0.276	0.042	0.001	0.264	0.169	3.358
104.465	0.179	0.158	0.157	0.170	0.179	0.197	0.213	0.196	0.224	0.034	0.001	0.259	0.219	3.358
66.732	0.176	0.181	0.163	0.176	0.181	0.208	0.223	0.212	0.247	0.033	0.001	0.238	0.195	3.358
32.936	0.181	0.168	0.160	0.171	0.162	0.182	0.209	0.189	0.223	0.025	0.001	0.200	0.156	2.827
31.814	0.173	0.151	0.138	0.145	0.140	0.157	0.162	0.142	0.171	0.021	0.001	0.176	0.151	2.827
29.919	0.169	0.134	0.122	0.115	0.159	0.202	0.245	0.200	0.258	0.029	0.001	0.259	0.170	2.827
118.890	0.180	0.163	0.164	0.180	0.181	0.192	0.218	0.199	0.233	0.027	0.001	0.271	0.233	2.827
78.418	0.175	0.174	0.163	0.182	0.173	0.200	0.226	0.225	0.240	0.024	0.001	0.240	0.190	2.827
63.998	0.187	0.154	0.139	0.135	0.142	0.156	0.167	0.140	0.167	0.036	0.001	0.178	0.155	60.801
24.723	0.185	0.160	0.150	0.156	0.191	0.225	0.243	0.231	0.257	0.053	0.001	0.275	0.204	60.801
75.158	0.187	0.167	0.156	0.167	0.169	0.187	0.201	0.184	0.207	0.037	0.001	0.230	0.204	60.801
64.841	0.186	0.164	0.152	0.158	0.153	0.164	0.183	0.154	0.186	0.035	0.002	0.187	0.163	11.681
91.456	0.188	0.182	0.177	0.193	0.191	0.209	0.230	0.213	0.238	0.039	0.003	0.260	0.222	11.681

Anexo 8: Datos a escala diaria de las concentraciones de PM2.5 y reflectancia de las imágenes del sensor MSI

PM2.5 ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Bandas Espectrales (μm)												NUBOSIDAD (%)	
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a	B9	B10	B11		B12
26.704	0.193	0.178	0.166	0.176	0.168	0.183	0.206	0.183	0.217	0.027	0.001	0.246	0.197	54.915
13.505	0.194	0.170	0.161	0.167	0.170	0.197	0.217	0.197	0.225	0.028	0.001	0.227	0.187	54.915
30.700	0.187	0.162	0.147	0.151	0.141	0.163	0.163	0.152	0.175	0.023	0.001	0.181	0.151	54.915
32.971	0.188	0.165	0.164	0.184	0.188	0.209	0.228	0.219	0.236	0.028	0.001	0.273	0.225	54.915
12.313	0.204	0.160	0.150	0.152	0.148	0.183	0.206	0.215	0.207	0.026	0.001	0.214	0.155	54.915
38.908	0.195	0.181	0.167	0.181	0.175	0.186	0.202	0.179	0.208	0.027	0.001	0.219	0.180	54.915
28.825	0.197	0.179	0.177	0.190	0.179	0.198	0.226	0.201	0.245	0.026	0.002	0.253	0.192	16.159
12.567	0.193	0.172	0.167	0.172	0.165	0.194	0.212	0.190	0.228	0.025	0.002	0.217	0.175	16.159
30.029	0.184	0.165	0.151	0.145	0.136	0.154	0.157	0.144	0.168	0.020	0.002	0.160	0.120	16.159
11.388	0.183	0.144	0.142	0.110	0.177	0.267	0.304	0.281	0.343	0.030	0.002	0.270	0.161	16.159
26.938	0.189	0.166	0.159	0.169	0.179	0.196	0.218	0.195	0.228	0.026	0.002	0.265	0.223	16.159
15.063	0.198	0.168	0.152	0.148	0.151	0.173	0.198	0.225	0.219	0.023	0.002	0.207	0.154	16.159
26.429	0.195	0.184	0.175	0.186	0.162	0.173	0.194	0.184	0.203	0.025	0.002	0.206	0.170	16.159
30.367	0.194	0.188	0.179	0.198	0.180	0.201	0.227	0.203	0.237	0.028	0.003	0.255	0.197	38.075
27.779	0.188	0.175	0.165	0.169	0.155	0.162	0.183	0.171	0.189	0.026	0.004	0.182	0.157	38.075
11.196	0.193	0.144	0.136	0.113	0.189	0.278	0.306	0.274	0.337	0.036	0.003	0.288	0.175	38.075
23.096	0.183	0.155	0.144	0.146	0.145	0.158	0.169	0.150	0.171	0.025	0.004	0.172	0.133	38.075
14.108	0.199	0.168	0.159	0.156	0.153	0.191	0.221	0.234	0.238	0.026	0.002	0.212	0.159	38.075
27.529	0.179	0.148	0.126	0.111	0.093	0.098	0.102	0.094	0.098	0.017	0.002	0.075	0.053	38.075
34.175	0.192	0.180	0.177	0.198	0.190	0.196	0.221	0.211	0.239	0.034	0.006	0.259	0.213	36.812
12.525	0.189	0.168	0.168	0.182	0.172	0.199	0.219	0.196	0.230	0.036	0.007	0.216	0.175	36.812
29.738	0.185	0.164	0.156	0.154	0.145	0.164	0.173	0.155	0.181	0.033	0.008	0.188	0.156	36.812
11.288	0.173	0.135	0.133	0.112	0.169	0.248	0.298	0.263	0.316	0.041	0.006	0.258	0.165	36.812
27.713	0.182	0.168	0.165	0.177	0.187	0.202	0.218	0.202	0.231	0.039	0.008	0.258	0.221	36.812
17.342	0.196	0.160	0.157	0.150	0.158	0.195	0.197	0.240	0.223	0.032	0.005	0.204	0.160	36.812
34.483	0.194	0.183	0.177	0.191	0.172	0.181	0.194	0.185	0.204	0.037	0.009	0.210	0.175	36.812
37.521	0.182	0.154	0.147	0.134	0.141	0.177	0.200	0.192	0.207	0.032	0.006	0.177	0.135	36.812
26.754	0.180	0.168	0.160	0.164	0.153	0.182	0.194	0.186	0.203	0.038	0.008	0.206	0.165	36.812
29.425	0.195	0.194	0.191	0.214	0.196	0.210	0.230	0.217	0.250	0.025	0.001	0.266	0.218	1.984
26.613	0.185	0.160	0.147	0.151	0.147	0.159	0.181	0.154	0.183	0.021	0.001	0.186	0.158	1.984
11.804	0.189	0.139	0.136	0.116	0.171	0.255	0.289	0.284	0.317	0.029	0.001	0.265	0.158	1.984
30.779	0.181	0.157	0.153	0.158	0.169	0.192	0.210	0.193	0.224	0.025	0.001	0.248	0.201	1.984
27.008	0.193	0.160	0.147	0.144	0.148	0.182	0.198	0.226	0.213	0.023	0.001	0.204	0.149	1.984
26.517	0.188	0.174	0.164	0.177	0.163	0.177	0.188	0.176	0.203	0.026	0.001	0.206	0.170	1.984
53.108	0.184	0.156	0.144	0.141	0.138	0.172	0.204	0.200	0.207	0.024	0.001	0.177	0.128	1.984
40.954	0.176	0.160	0.148	0.152	0.140	0.166	0.180	0.162	0.194	0.025	0.001	0.190	0.149	1.984
29.329	0.193	0.199	0.196	0.213	0.188	0.189	0.217	0.206	0.219	0.033	0.001	0.232	0.210	39.428
29.788	0.186	0.165	0.153	0.154	0.144	0.159	0.170	0.153	0.171	0.030	0.001	0.178	0.152	39.428
24.833	0.187	0.158	0.150	0.139	0.174	0.243	0.266	0.254	0.283	0.042	0.001	0.256	0.178	39.428

22.988	0.190	0.168	0.160	0.171	0.182	0.202	0.219	0.200	0.238	0.037	0.001	0.263	0.214	39.428
17.171	0.202	0.176	0.166	0.173	0.179	0.208	0.229	0.217	0.250	0.036	0.001	0.248	0.219	39.428
26.663	0.199	0.185	0.178	0.191	0.173	0.186	0.201	0.191	0.209	0.034	0.001	0.223	0.190	39.428
38.004	0.186	0.159	0.144	0.135	0.147	0.171	0.188	0.176	0.185	0.032	0.001	0.180	0.147	39.428
36.008	0.180	0.180	0.178	0.193	0.173	0.192	0.210	0.198	0.217	0.036	0.001	0.232	0.214	15.021
17.067	0.185	0.164	0.161	0.167	0.166	0.183	0.204	0.194	0.210	0.038	0.001	0.211	0.182	1.163
35.250	0.174	0.157	0.144	0.148	0.147	0.155	0.176	0.156	0.181	0.032	0.001	0.181	0.156	1.163
29.475	0.176	0.154	0.150	0.158	0.175	0.194	0.214	0.209	0.224	0.039	0.001	0.249	0.218	1.163
20.254	0.191	0.163	0.156	0.167	0.181	0.198	0.230	0.215	0.250	0.039	0.001	0.245	0.209	1.163
31.129	0.189	0.178	0.173	0.187	0.171	0.176	0.192	0.189	0.199	0.037	0.001	0.211	0.188	1.163
36.096	0.168	0.158	0.152	0.165	0.158	0.170	0.186	0.179	0.196	0.038	0.001	0.204	0.177	1.163
40.471	0.187	0.200	0.197	0.213	0.180	0.190	0.197	0.210	0.208	0.032	0.001	0.227	0.204	1.163
16.208	0.195	0.178	0.165	0.174	0.170	0.186	0.211	0.195	0.217	0.034	0.001	0.216	0.183	15.021
35.746	0.181	0.167	0.153	0.158	0.150	0.158	0.174	0.159	0.183	0.028	0.001	0.179	0.151	15.021
20.125	0.204	0.177	0.165	0.175	0.175	0.179	0.198	0.216	0.203	0.034	0.001	0.228	0.185	15.021
31.425	0.194	0.183	0.177	0.196	0.173	0.180	0.195	0.195	0.206	0.036	0.001	0.225	0.192	15.021
47.679	0.180	0.157	0.140	0.131	0.139	0.166	0.185	0.183	0.190	0.031	0.001	0.172	0.142	15.021
30.008	0.189	0.218	0.228	0.243	0.183	0.194	0.234	0.254	0.247	0.030	0.001	0.259	0.215	5.062
13.775	0.187	0.169	0.167	0.170	0.165	0.199	0.220	0.200	0.229	0.033	0.001	0.219	0.177	5.062
38.414	0.183	0.170	0.161	0.164	0.163	0.181	0.200	0.177	0.217	0.028	0.001	0.222	0.187	5.062
17.325	0.193	0.170	0.158	0.144	0.145	0.179	0.193	0.218	0.209	0.031	0.001	0.203	0.148	5.062
36.308	0.191	0.184	0.178	0.194	0.167	0.178	0.194	0.197	0.206	0.030	0.001	0.216	0.183	5.062
37.550	0.178	0.149	0.138	0.123	0.142	0.168	0.185	0.179	0.194	0.029	0.001	0.178	0.147	5.062
31.846	0.188	0.229	0.242	0.268	0.204	0.219	0.249	0.269	0.230	0.027	0.002	0.235	0.192	29.847
14.879	0.175	0.141	0.131	0.118	0.154	0.245	0.299	0.256	0.316	0.035	0.002	0.251	0.153	29.847
14.842	0.196	0.172	0.155	0.148	0.146	0.179	0.194	0.197	0.205	0.026	0.002	0.199	0.150	29.847
44.004	0.196	0.181	0.176	0.191	0.169	0.173	0.197	0.192	0.208	0.027	0.002	0.213	0.182	29.847
37.717	0.176	0.150	0.136	0.130	0.142	0.156	0.189	0.171	0.197	0.025	0.002	0.178	0.143	29.847
38.746	0.194	0.210	0.220	0.245	0.190	0.203	0.216	0.242	0.240	0.025	0.001	0.232	0.189	2.780
25.513	0.182	0.163	0.157	0.163	0.168	0.192	0.211	0.198	0.223	0.025	0.001	0.243	0.193	2.780
24.617	0.196	0.174	0.169	0.175	0.174	0.188	0.206	0.181	0.223	0.025	0.001	0.232	0.185	2.780
17.375	0.197	0.170	0.155	0.145	0.139	0.174	0.188	0.192	0.203	0.023	0.001	0.186	0.141	2.780
46.346	0.191	0.161	0.149	0.146	0.143	0.174	0.194	0.175	0.203	0.023	0.001	0.179	0.133	2.780
18.675	0.165	0.134	0.126	0.110	0.152	0.237	0.288	0.259	0.305	0.040	0.002	0.252	0.148	37.597
34.213	0.242	0.222	0.202	0.212	0.209	0.219	0.232	0.217	0.237	0.102	0.039	0.183	0.163	37.597
27.688	0.186	0.178	0.179	0.188	0.189	0.218	0.237	0.208	0.243	0.036	0.002	0.248	0.200	37.597
48.875	0.177	0.149	0.136	0.130	0.140	0.160	0.176	0.166	0.182	0.031	0.005	0.161	0.135	37.597
24.888	0.177	0.153	0.144	0.149	0.141	0.163	0.179	0.163	0.188	0.040	0.004	0.182	0.145	37.597
15.488	0.160	0.119	0.112	0.096	0.131	0.219	0.268	0.241	0.284	0.036	0.001	0.231	0.140	0.000
23.721	0.169	0.154	0.156	0.168	0.164	0.178	0.201	0.188	0.208	0.028	0.001	0.240	0.202	0.000
19.904	0.179	0.165	0.160	0.173	0.169	0.184	0.207	0.190	0.222	0.028	0.001	0.229	0.186	0.000
39.921	0.180	0.177	0.177	0.189	0.166	0.171	0.194	0.192	0.200	0.031	0.001	0.222	0.182	0.000
40.542	0.172	0.143	0.132	0.121	0.142	0.158	0.167	0.163	0.175	0.026	0.001	0.172	0.139	0.000
23.758	0.166	0.147	0.139	0.142	0.132	0.156	0.178	0.161	0.184	0.029	0.001	0.182	0.147	0.000

13.600	0.190	0.170	0.167	0.178	0.171	0.202	0.210	0.206	0.228	0.035	0.001	0.214	0.176	24.151
15.258	0.172	0.134	0.124	0.105	0.162	0.237	0.280	0.260	0.294	0.043	0.001	0.236	0.151	24.151
25.348	0.188	0.171	0.165	0.177	0.184	0.204	0.218	0.200	0.234	0.035	0.002	0.237	0.200	24.151
15.075	0.192	0.169	0.162	0.153	0.183	0.213	0.250	0.231	0.267	0.034	0.001	0.231	0.207	24.151
36.425	0.188	0.177	0.170	0.185	0.165	0.184	0.191	0.181	0.203	0.035	0.002	0.215	0.182	24.151
50.867	0.176	0.146	0.130	0.131	0.134	0.169	0.185	0.169	0.185	0.032	0.001	0.169	0.133	24.151
16.979	0.179	0.160	0.156	0.171	0.159	0.187	0.205	0.188	0.222	0.028	0.001	0.207	0.172	9.834
19.496	0.155	0.127	0.117	0.097	0.136	0.221	0.273	0.241	0.298	0.035	0.001	0.231	0.137	9.834
33.546	0.179	0.179	0.170	0.198	0.185	0.198	0.231	0.217	0.241	0.030	0.001	0.254	0.209	9.834
20.604	0.181	0.180	0.170	0.175	0.194	0.223	0.244	0.234	0.270	0.030	0.001	0.232	0.208	9.834
42.933	0.175	0.170	0.173	0.194	0.165	0.180	0.189	0.190	0.198	0.031	0.001	0.218	0.181	9.834
61.938	0.171	0.144	0.132	0.129	0.133	0.153	0.161	0.156	0.173	0.025	0.001	0.171	0.139	9.834
36.842	0.162	0.144	0.133	0.135	0.130	0.147	0.169	0.151	0.176	0.028	0.001	0.171	0.140	9.834
18.175	0.156	0.132	0.121	0.116	0.111	0.122	0.133	0.116	0.132	0.024	0.007	0.110	0.090	13.694
23.213	0.169	0.134	0.122	0.107	0.148	0.213	0.247	0.227	0.267	0.042	0.007	0.215	0.131	13.694
28.904	0.160	0.145	0.118	0.112	0.110	0.118	0.125	0.121	0.130	0.026	0.007	0.123	0.097	13.694
22.004	0.179	0.159	0.149	0.145	0.172	0.191	0.215	0.192	0.232	0.030	0.003	0.207	0.181	13.694
45.742	0.183	0.167	0.155	0.162	0.149	0.163	0.180	0.161	0.184	0.035	0.009	0.188	0.156	13.694
99.433	0.353	0.227	0.249	0.271	0.282	0.298	0.325	0.258	0.350	0.216	0.034	0.313	0.331	13.694
13.721	0.192	0.168	0.159	0.168	0.159	0.176	0.199	0.189	0.204	0.030	0.001	0.193	0.159	36.615
20.371	0.190	0.155	0.139	0.125	0.159	0.209	0.238	0.236	0.259	0.036	0.001	0.223	0.155	36.615
25.575	0.180	0.153	0.144	0.142	0.155	0.168	0.189	0.174	0.198	0.027	0.001	0.224	0.183	36.615
18.038	0.193	0.153	0.135	0.133	0.159	0.173	0.192	0.176	0.218	0.030	0.001	0.201	0.176	36.615
40.683	0.187	0.167	0.153	0.157	0.152	0.159	0.180	0.161	0.191	0.029	0.001	0.191	0.160	36.615
60.792	0.181	0.150	0.136	0.128	0.133	0.156	0.179	0.158	0.176	0.027	0.001	0.158	0.125	36.615
33.150	0.179	0.179	0.168	0.173	0.159	0.166	0.176	0.179	0.186	0.049	0.001	0.189	0.171	0.096
15.579	0.185	0.176	0.174	0.187	0.180	0.200	0.214	0.211	0.222	0.061	0.001	0.223	0.194	0.096
27.425	0.178	0.165	0.156	0.161	0.154	0.165	0.181	0.176	0.184	0.050	0.001	0.190	0.173	0.096
15.233	0.163	0.123	0.118	0.100	0.178	0.260	0.295	0.293	0.324	0.082	0.001	0.256	0.177	0.096
23.013	0.178	0.173	0.165	0.181	0.186	0.200	0.213	0.201	0.229	0.057	0.001	0.256	0.230	0.096
39.092	0.186	0.166	0.153	0.146	0.157	0.176	0.204	0.199	0.217	0.051	0.001	0.218	0.174	0.096
41.446	0.181	0.184	0.169	0.179	0.157	0.169	0.189	0.179	0.186	0.026	0.001	0.192	0.163	19.543
26.883	0.190	0.178	0.171	0.182	0.171	0.193	0.220	0.197	0.229	0.031	0.001	0.220	0.179	19.543
29.696	0.181	0.164	0.147	0.154	0.146	0.160	0.177	0.159	0.179	0.025	0.001	0.183	0.153	19.543
17.317	0.190	0.136	0.123	0.104	0.141	0.204	0.240	0.221	0.254	0.033	0.001	0.179	0.111	19.543
30.767	0.185	0.170	0.164	0.177	0.179	0.192	0.215	0.192	0.224	0.031	0.001	0.273	0.238	19.543
23.046	0.186	0.187	0.171	0.182	0.160	0.162	0.184	0.179	0.182	0.025	0.001	0.190	0.157	3.327
10.917	0.197	0.174	0.155	0.150	0.136	0.154	0.172	0.151	0.173	0.023	0.001	0.133	0.101	3.327
12.454	0.183	0.147	0.131	0.114	0.159	0.231	0.279	0.247	0.316	0.037	0.001	0.265	0.174	3.327
22.075	0.190	0.175	0.169	0.182	0.180	0.192	0.212	0.195	0.228	0.031	0.002	0.257	0.215	3.327
29.195	0.183	0.170	0.148	0.142	0.145	0.168	0.210	0.195	0.225	0.026	0.001	0.212	0.160	3.327
12.542	0.194	0.173	0.166	0.169	0.161	0.192	0.215	0.191	0.223	0.027	0.003	0.215	0.169	5.447
11.150	0.180	0.143	0.129	0.110	0.163	0.251	0.284	0.262	0.316	0.035	0.003	0.253	0.151	5.447
110.058	0.197	0.186	0.168	0.163	0.166	0.185	0.202	0.166	0.210	0.025	0.003	0.214	0.170	5.447

33.138	0.186	0.178	0.169	0.173	0.154	0.157	0.171	0.169	0.182	0.019	0.001	0.183	0.159	0.118
15.271	0.184	0.163	0.157	0.169	0.159	0.182	0.208	0.192	0.218	0.021	0.001	0.213	0.168	0.118
10.642	0.173	0.133	0.134	0.106	0.157	0.245	0.302	0.300	0.323	0.028	0.001	0.260	0.152	0.118
10.339	0.184	0.162	0.160	0.176	0.169	0.197	0.218	0.196	0.232	0.028	0.001	0.222	0.176	0.018
7.808	0.178	0.129	0.129	0.105	0.169	0.268	0.301	0.303	0.327	0.043	0.001	0.257	0.164	0.018
13.754	0.185	0.169	0.164	0.180	0.163	0.190	0.215	0.191	0.220	0.025	0.002	0.215	0.174	0.428
12.700	0.173	0.127	0.129	0.106	0.158	0.241	0.280	0.259	0.316	0.031	0.002	0.245	0.155	0.428
20.283	0.180	0.170	0.163	0.172	0.169	0.186	0.211	0.185	0.224	0.025	0.003	0.241	0.195	0.428
30.863	0.179	0.180	0.181	0.187	0.150	0.166	0.178	0.185	0.184	0.026	0.001	0.179	0.156	0.000
14.408	0.184	0.163	0.159	0.179	0.165	0.189	0.213	0.201	0.216	0.029	0.001	0.212	0.171	0.000
13.503	0.173	0.128	0.122	0.106	0.155	0.232	0.272	0.249	0.295	0.035	0.001	0.246	0.148	0.000
31.678	0.175	0.150	0.140	0.137	0.147	0.171	0.194	0.173	0.208	0.028	0.001	0.190	0.146	0.000
36.286	0.179	0.187	0.185	0.196	0.149	0.165	0.178	0.191	0.193	0.028	0.001	0.196	0.167	5.393
14.467	0.183	0.166	0.160	0.184	0.167	0.197	0.215	0.204	0.225	0.030	0.001	0.210	0.174	5.393
16.563	0.168	0.130	0.118	0.099	0.158	0.230	0.270	0.245	0.292	0.037	0.001	0.240	0.156	5.393
38.389	0.180	0.156	0.147	0.145	0.155	0.178	0.214	0.188	0.222	0.030	0.001	0.211	0.159	5.393
23.199	0.182	0.181	0.179	0.194	0.147	0.178	0.180	0.183	0.179	0.025	0.001	0.180	0.147	0.428
17.900	0.185	0.165	0.166	0.180	0.166	0.192	0.210	0.204	0.221	0.029	0.001	0.208	0.169	0.428
16.864	0.168	0.126	0.119	0.097	0.151	0.227	0.268	0.254	0.290	0.035	0.001	0.240	0.143	0.428
27.553	0.182	0.154	0.145	0.142	0.149	0.186	0.215	0.187	0.229	0.027	0.001	0.200	0.154	0.428
30.920	0.189	0.185	0.172	0.183	0.153	0.166	0.174	0.179	0.181	0.026	0.001	0.181	0.154	5.503
16.996	0.191	0.170	0.163	0.174	0.165	0.184	0.206	0.189	0.215	0.029	0.001	0.199	0.165	5.503
18.874	0.176	0.138	0.124	0.108	0.152	0.216	0.253	0.224	0.276	0.034	0.001	0.233	0.147	5.503
41.007	0.187	0.158	0.147	0.142	0.149	0.175	0.200	0.173	0.212	0.027	0.001	0.189	0.146	5.503
29.420	0.178	0.162	0.146	0.149	0.146	0.159	0.167	0.149	0.171	0.033	0.001	0.178	0.151	10.300
21.115	0.169	0.130	0.124	0.107	0.174	0.254	0.287	0.281	0.310	0.051	0.001	0.258	0.177	10.300
32.780	0.182	0.165	0.161	0.175	0.190	0.204	0.219	0.194	0.231	0.041	0.002	0.271	0.238	10.300
28.233	0.185	0.164	0.147	0.149	0.145	0.155	0.174	0.151	0.177	0.027	0.001	0.175	0.151	42.743
27.416	0.183	0.141	0.133	0.118	0.164	0.227	0.269	0.259	0.297	0.041	0.001	0.256	0.174	42.743
18.208	0.184	0.137	0.125	0.107	0.171	0.252	0.288	0.265	0.308	0.040	0.002	0.257	0.163	45.317
17.922	0.184	0.149	0.133	0.125	0.180	0.239	0.277	0.242	0.305	0.036	0.001	0.282	0.184	31.850
10.990	0.184	0.197	0.190	0.192	0.150	0.168	0.180	0.191	0.184	0.027	0.001	0.176	0.148	4.690
10.798	0.241	0.211	0.209	0.225	0.227	0.260	0.284	0.239	0.294	0.063	0.001	0.272	0.236	4.690
11.021	0.172	0.124	0.122	0.122	0.160	0.226	0.265	0.230	0.284	0.036	0.001	0.269	0.169	4.690
14.803	0.181	0.160	0.159	0.168	0.183	0.202	0.218	0.196	0.235	0.032	0.001	0.263	0.218	4.690
11.619	0.161	0.129	0.105	0.093	0.092	0.104	0.111	0.088	0.110	0.017	0.001	0.089	0.068	4.690
12.188	0.171	0.184	0.180	0.191	0.157	0.155	0.176	0.181	0.176	0.028	0.001	0.183	0.156	0.099
12.100	0.178	0.162	0.160	0.176	0.158	0.190	0.213	0.205	0.228	0.032	0.001	0.203	0.166	0.099
13.618	0.170	0.125	0.111	0.112	0.173	0.224	0.263	0.222	0.290	0.040	0.001	0.277	0.180	0.099
24.386	0.176	0.158	0.154	0.171	0.181	0.195	0.220	0.204	0.232	0.034	0.001	0.261	0.224	0.099
13.489	0.174	0.173	0.163	0.170	0.179	0.202	0.230	0.223	0.244	0.032	0.001	0.248	0.201	0.099
12.770	0.177	0.182	0.176	0.188	0.145	0.163	0.177	0.190	0.179	0.030	0.001	0.171	0.146	3.358
10.922	0.182	0.164	0.163	0.179	0.160	0.194	0.220	0.200	0.223	0.034	0.001	0.209	0.169	3.358
11.319	0.173	0.128	0.118	0.115	0.173	0.218	0.258	0.216	0.276	0.042	0.001	0.264	0.169	3.358

14.035	0.176	0.181	0.163	0.176	0.181	0.208	0.223	0.212	0.247	0.033	0.001	0.238	0.195	3.358
17.208	0.177	0.186	0.177	0.191	0.147	0.156	0.182	0.182	0.178	0.022	0.001	0.175	0.140	2.827
14.158	0.181	0.168	0.160	0.171	0.162	0.182	0.209	0.189	0.223	0.025	0.001	0.200	0.156	2.827
18.519	0.169	0.134	0.122	0.115	0.159	0.202	0.245	0.200	0.258	0.029	0.001	0.259	0.170	2.827
18.159	0.175	0.174	0.163	0.182	0.173	0.200	0.226	0.225	0.240	0.024	0.001	0.240	0.190	2.827
27.327	0.187	0.178	0.167	0.172	0.172	0.176	0.179	0.171	0.194	0.036	0.001	0.195	0.176	60.801
18.556	0.185	0.160	0.150	0.156	0.191	0.225	0.243	0.231	0.257	0.053	0.001	0.275	0.204	60.801
21.770	0.187	0.167	0.156	0.167	0.169	0.187	0.201	0.184	0.207	0.037	0.001	0.230	0.204	60.801
25.519	0.189	0.185	0.176	0.194	0.169	0.181	0.188	0.189	0.194	0.039	0.003	0.202	0.175	11.681
18.986	0.188	0.182	0.177	0.193	0.191	0.209	0.230	0.213	0.238	0.039	0.003	0.260	0.222	11.681

Anexo 9: Datos a escala horaria de las concentraciones de PM10 y reflectancia de las imágenes del sensor MSI

PM10 ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Bandas Espectrales (μm)												NUBOSIDAD (%)	
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a	B9	B10	B11		B12
92.501	0.193	0.178	0.166	0.176	0.168	0.183	0.206	0.183	0.217	0.027	0.001	0.246	0.197	54.915
68.080	0.194	0.170	0.161	0.167	0.170	0.197	0.217	0.197	0.225	0.028	0.001	0.227	0.187	54.915
80.118	0.187	0.162	0.147	0.151	0.141	0.163	0.163	0.152	0.175	0.023	0.001	0.181	0.151	54.915
302.000	0.188	0.165	0.164	0.184	0.188	0.209	0.228	0.219	0.236	0.028	0.001	0.273	0.225	54.915
98.632	0.188	0.167	0.161	0.164	0.163	0.186	0.210	0.181	0.223	0.024	0.001	0.228	0.180	54.915
68.665	0.204	0.160	0.150	0.152	0.148	0.183	0.206	0.215	0.207	0.026	0.001	0.214	0.155	54.915
175.300	0.195	0.181	0.167	0.181	0.175	0.186	0.202	0.179	0.208	0.027	0.001	0.219	0.180	54.915
142.009	0.188	0.158	0.150	0.145	0.143	0.178	0.196	0.201	0.210	0.025	0.001	0.176	0.131	54.915
86.248	0.197	0.179	0.177	0.190	0.179	0.198	0.226	0.201	0.245	0.026	0.002	0.253	0.192	16.159
62.944	0.193	0.172	0.167	0.172	0.165	0.194	0.212	0.190	0.228	0.025	0.002	0.217	0.175	16.159
73.187	0.184	0.165	0.151	0.145	0.136	0.154	0.157	0.144	0.168	0.020	0.002	0.160	0.120	16.159
33.260	0.183	0.144	0.142	0.110	0.177	0.267	0.304	0.281	0.343	0.030	0.002	0.270	0.161	16.159
162.289	0.189	0.166	0.159	0.169	0.179	0.196	0.218	0.195	0.228	0.026	0.002	0.265	0.223	16.159
81.439	0.195	0.187	0.173	0.170	0.168	0.196	0.213	0.173	0.228	0.023	0.002	0.229	0.176	16.159
128.437	0.198	0.168	0.152	0.148	0.151	0.173	0.198	0.225	0.219	0.023	0.002	0.207	0.154	16.159
118.550	0.195	0.184	0.175	0.186	0.162	0.173	0.194	0.184	0.203	0.025	0.002	0.206	0.170	16.159
131.986	0.192	0.158	0.150	0.137	0.151	0.179	0.209	0.197	0.213	0.024	0.002	0.183	0.138	16.159
103.680	0.194	0.188	0.179	0.198	0.180	0.201	0.227	0.203	0.237	0.028	0.003	0.255	0.197	38.075
67.690	0.188	0.175	0.165	0.169	0.155	0.162	0.183	0.171	0.189	0.026	0.004	0.182	0.157	38.075
33.474	0.193	0.144	0.136	0.113	0.189	0.278	0.306	0.274	0.337	0.036	0.003	0.288	0.175	38.075
151.855	0.183	0.155	0.144	0.146	0.145	0.158	0.169	0.150	0.171	0.025	0.004	0.172	0.133	38.075
86.104	0.198	0.198	0.188	0.179	0.171	0.193	0.214	0.178	0.227	0.026	0.002	0.231	0.183	38.075
39.197	0.199	0.168	0.159	0.156	0.153	0.191	0.221	0.234	0.238	0.026	0.002	0.212	0.159	38.075
122.171	0.179	0.148	0.126	0.111	0.093	0.098	0.102	0.094	0.098	0.017	0.002	0.075	0.053	38.075
110.829	0.191	0.161	0.152	0.142	0.147	0.183	0.207	0.209	0.219	0.027	0.004	0.178	0.134	38.075
112.480	0.192	0.180	0.177	0.198	0.190	0.196	0.221	0.211	0.239	0.034	0.006	0.259	0.213	36.812
50.560	0.189	0.168	0.168	0.182	0.172	0.199	0.219	0.196	0.230	0.036	0.007	0.216	0.175	36.812
38.675	0.173	0.135	0.133	0.112	0.169	0.248	0.298	0.263	0.316	0.041	0.006	0.258	0.165	36.812
172.565	0.182	0.168	0.165	0.177	0.187	0.202	0.218	0.202	0.231	0.039	0.008	0.258	0.221	36.812
107.205	0.188	0.186	0.179	0.172	0.174	0.195	0.212	0.170	0.226	0.030	0.005	0.231	0.178	36.812
56.650	0.196	0.160	0.157	0.150	0.158	0.195	0.197	0.240	0.223	0.032	0.005	0.204	0.160	36.812
160.103	0.194	0.183	0.177	0.191	0.172	0.181	0.194	0.185	0.204	0.037	0.009	0.210	0.175	36.812
119.883	0.182	0.154	0.147	0.134	0.141	0.177	0.200	0.192	0.207	0.032	0.006	0.177	0.135	36.812
70.275	0.185	0.160	0.147	0.151	0.147	0.159	0.181	0.154	0.183	0.021	0.001	0.186	0.158	1.984
30.760	0.189	0.139	0.136	0.116	0.171	0.255	0.289	0.284	0.317	0.029	0.001	0.265	0.158	1.984
155.650	0.181	0.157	0.153	0.158	0.169	0.192	0.210	0.193	0.224	0.025	0.001	0.248	0.201	1.984
51.753	0.193	0.160	0.147	0.144	0.148	0.182	0.198	0.226	0.213	0.023	0.001	0.204	0.149	1.984
95.898	0.188	0.174	0.164	0.177	0.163	0.177	0.188	0.176	0.203	0.026	0.001	0.206	0.170	1.984
119.306	0.184	0.156	0.144	0.141	0.138	0.172	0.204	0.200	0.207	0.024	0.001	0.177	0.128	1.984

88.253	0.193	0.199	0.196	0.213	0.188	0.189	0.217	0.206	0.219	0.033	0.001	0.232	0.210	39.428
56.030	0.186	0.165	0.153	0.154	0.144	0.159	0.170	0.153	0.171	0.030	0.001	0.178	0.152	39.428
40.505	0.187	0.158	0.150	0.139	0.174	0.243	0.266	0.254	0.283	0.042	0.001	0.256	0.178	39.428
124.748	0.190	0.168	0.160	0.171	0.182	0.202	0.219	0.200	0.238	0.037	0.001	0.263	0.214	39.428
89.163	0.190	0.172	0.165	0.174	0.174	0.189	0.209	0.185	0.220	0.033	0.001	0.239	0.205	39.428
53.284	0.202	0.176	0.166	0.173	0.179	0.208	0.229	0.217	0.250	0.036	0.001	0.248	0.219	39.428
114.907	0.199	0.185	0.178	0.191	0.173	0.186	0.201	0.191	0.209	0.034	0.001	0.223	0.190	39.428
90.680	0.186	0.159	0.144	0.135	0.147	0.171	0.188	0.176	0.185	0.032	0.001	0.180	0.147	39.428
142.463	0.180	0.180	0.178	0.193	0.173	0.192	0.210	0.198	0.217	0.036	0.001	0.232	0.214	15.021
85.115	0.185	0.164	0.161	0.167	0.166	0.183	0.204	0.194	0.210	0.038	0.001	0.211	0.182	1.163
144.017	0.174	0.157	0.144	0.148	0.147	0.155	0.176	0.156	0.181	0.032	0.001	0.181	0.156	1.163
64.984	0.176	0.138	0.137	0.126	0.186	0.252	0.284	0.272	0.307	0.049	0.001	0.269	0.179	1.163
280.288	0.176	0.154	0.150	0.158	0.175	0.194	0.214	0.209	0.224	0.039	0.001	0.249	0.218	1.163
149.184	0.177	0.171	0.160	0.173	0.180	0.193	0.213	0.188	0.225	0.037	0.001	0.239	0.206	1.163
86.804	0.191	0.163	0.156	0.167	0.181	0.198	0.230	0.215	0.250	0.039	0.001	0.245	0.209	1.163
171.108	0.189	0.178	0.173	0.187	0.171	0.176	0.192	0.189	0.199	0.037	0.001	0.211	0.188	1.163
186.229	0.174	0.151	0.141	0.137	0.141	0.163	0.183	0.189	0.197	0.034	0.001	0.175	0.138	1.163
102.855	0.187	0.200	0.197	0.213	0.180	0.190	0.197	0.210	0.208	0.032	0.001	0.227	0.204	1.163
57.424	0.195	0.178	0.165	0.174	0.170	0.186	0.211	0.195	0.217	0.034	0.001	0.216	0.183	15.021
117.621	0.181	0.167	0.153	0.158	0.150	0.158	0.174	0.159	0.183	0.028	0.001	0.179	0.151	15.021
49.014	0.188	0.151	0.141	0.128	0.183	0.252	0.293	0.287	0.318	0.043	0.001	0.268	0.185	15.021
88.835	0.183	0.170	0.162	0.169	0.168	0.185	0.209	0.182	0.217	0.032	0.001	0.244	0.211	15.021
59.753	0.204	0.177	0.165	0.175	0.175	0.179	0.198	0.216	0.203	0.034	0.001	0.228	0.185	15.021
155.778	0.194	0.183	0.177	0.196	0.173	0.180	0.195	0.195	0.206	0.036	0.001	0.225	0.192	15.021
165.150	0.180	0.157	0.140	0.131	0.139	0.166	0.185	0.183	0.190	0.031	0.001	0.172	0.142	15.021
90.249	0.189	0.218	0.228	0.243	0.183	0.194	0.234	0.254	0.247	0.030	0.001	0.259	0.215	5.062
54.505	0.187	0.169	0.167	0.170	0.165	0.199	0.220	0.200	0.229	0.033	0.001	0.219	0.177	5.062
67.206	0.183	0.170	0.161	0.164	0.163	0.181	0.200	0.177	0.217	0.028	0.001	0.222	0.187	5.062
49.097	0.193	0.170	0.158	0.144	0.145	0.179	0.193	0.218	0.209	0.031	0.001	0.203	0.148	5.062
119.597	0.191	0.184	0.178	0.194	0.167	0.178	0.194	0.197	0.206	0.030	0.001	0.216	0.183	5.062
140.698	0.178	0.149	0.138	0.123	0.142	0.168	0.185	0.179	0.194	0.029	0.001	0.178	0.147	5.062
118.507	0.174	0.158	0.150	0.151	0.144	0.165	0.185	0.179	0.199	0.032	0.001	0.204	0.161	5.062
89.997	0.188	0.229	0.242	0.268	0.204	0.219	0.249	0.269	0.230	0.027	0.002	0.235	0.192	29.847
25.151	0.175	0.141	0.131	0.118	0.154	0.245	0.299	0.256	0.316	0.035	0.002	0.251	0.153	29.847
59.407	0.184	0.177	0.170	0.169	0.158	0.183	0.204	0.175	0.215	0.025	0.002	0.226	0.179	29.847
53.851	0.196	0.172	0.155	0.148	0.146	0.179	0.194	0.197	0.205	0.026	0.002	0.199	0.150	29.847
130.055	0.196	0.181	0.176	0.191	0.169	0.173	0.197	0.192	0.208	0.027	0.002	0.213	0.182	29.847
106.320	0.176	0.150	0.136	0.130	0.142	0.156	0.189	0.171	0.197	0.025	0.002	0.178	0.143	29.847
97.068	0.194	0.210	0.220	0.245	0.190	0.203	0.216	0.242	0.240	0.025	0.001	0.232	0.189	2.780
185.991	0.182	0.163	0.157	0.163	0.168	0.192	0.211	0.198	0.223	0.025	0.001	0.243	0.193	2.780
89.582	0.196	0.174	0.169	0.175	0.174	0.188	0.206	0.181	0.223	0.025	0.001	0.232	0.185	2.780
62.485	0.197	0.170	0.155	0.145	0.139	0.174	0.188	0.192	0.203	0.023	0.001	0.186	0.141	2.780
109.020	0.191	0.161	0.149	0.146	0.143	0.174	0.194	0.175	0.203	0.023	0.001	0.179	0.133	2.780
93.780	0.183	0.212	0.218	0.239	0.177	0.193	0.227	0.251	0.226	0.030	0.001	0.231	0.182	37.597

32.534	0.165	0.134	0.126	0.110	0.152	0.237	0.288	0.259	0.305	0.040	0.002	0.252	0.148	37.597
105.028	0.186	0.178	0.179	0.188	0.189	0.218	0.237	0.208	0.243	0.036	0.002	0.248	0.200	37.597
121.842	0.177	0.149	0.136	0.130	0.140	0.160	0.176	0.166	0.182	0.031	0.005	0.161	0.135	37.597
113.080	0.177	0.153	0.144	0.149	0.141	0.163	0.179	0.163	0.188	0.040	0.004	0.182	0.145	37.597
84.001	0.178	0.201	0.203	0.226	0.175	0.180	0.205	0.231	0.213	0.026	0.001	0.225	0.186	0.000
26.865	0.160	0.119	0.112	0.096	0.131	0.219	0.268	0.241	0.284	0.036	0.001	0.231	0.140	0.000
185.860	0.169	0.154	0.156	0.168	0.164	0.178	0.201	0.188	0.208	0.028	0.001	0.240	0.202	0.000
83.873	0.179	0.165	0.160	0.173	0.169	0.184	0.207	0.190	0.222	0.028	0.001	0.229	0.186	0.000
48.865	0.179	0.169	0.158	0.156	0.183	0.223	0.246	0.232	0.261	0.029	0.001	0.223	0.210	0.000
112.445	0.180	0.177	0.177	0.189	0.166	0.171	0.194	0.192	0.200	0.031	0.001	0.222	0.182	0.000
108.328	0.172	0.143	0.132	0.121	0.142	0.158	0.167	0.163	0.175	0.026	0.001	0.172	0.139	0.000
99.243	0.166	0.147	0.139	0.142	0.132	0.156	0.178	0.161	0.184	0.029	0.001	0.182	0.147	0.000
86.775	0.183	0.198	0.205	0.230	0.170	0.181	0.192	0.229	0.221	0.033	0.001	0.216	0.177	24.151
49.543	0.190	0.170	0.167	0.178	0.171	0.202	0.210	0.206	0.228	0.035	0.001	0.214	0.176	24.151
24.416	0.172	0.134	0.124	0.105	0.162	0.237	0.280	0.260	0.294	0.043	0.001	0.236	0.151	24.151
99.131	0.188	0.171	0.165	0.177	0.184	0.204	0.218	0.200	0.234	0.035	0.002	0.237	0.200	24.151
45.398	0.192	0.169	0.162	0.153	0.183	0.213	0.250	0.231	0.267	0.034	0.001	0.231	0.207	24.151
95.588	0.188	0.177	0.170	0.185	0.165	0.184	0.191	0.181	0.203	0.035	0.002	0.215	0.182	24.151
128.913	0.176	0.146	0.130	0.131	0.134	0.169	0.185	0.169	0.185	0.032	0.001	0.169	0.133	24.151
99.742	0.168	0.152	0.140	0.145	0.140	0.158	0.170	0.156	0.180	0.035	0.001	0.183	0.153	24.151
105.300	0.177	0.189	0.194	0.217	0.173	0.169	0.193	0.218	0.196	0.027	0.001	0.222	0.171	9.834
69.481	0.179	0.160	0.156	0.171	0.159	0.187	0.205	0.188	0.222	0.028	0.001	0.207	0.172	9.834
70.096	0.171	0.148	0.140	0.149	0.141	0.149	0.157	0.141	0.166	0.024	0.001	0.180	0.157	9.834
37.494	0.155	0.127	0.117	0.097	0.136	0.221	0.273	0.241	0.298	0.035	0.001	0.231	0.137	9.834
68.783	0.181	0.180	0.170	0.175	0.194	0.223	0.244	0.234	0.270	0.030	0.001	0.232	0.208	9.834
144.665	0.175	0.170	0.173	0.194	0.165	0.180	0.189	0.190	0.198	0.031	0.001	0.218	0.181	9.834
149.775	0.171	0.144	0.132	0.129	0.133	0.153	0.161	0.156	0.173	0.025	0.001	0.171	0.139	9.834
108.730	0.162	0.144	0.133	0.135	0.130	0.147	0.169	0.151	0.176	0.028	0.001	0.171	0.140	9.834
111.553	0.157	0.142	0.126	0.124	0.101	0.100	0.111	0.105	0.107	0.025	0.009	0.084	0.070	13.694
81.495	0.156	0.132	0.121	0.116	0.111	0.122	0.133	0.116	0.132	0.024	0.007	0.110	0.090	13.694
93.684	0.182	0.159	0.134	0.132	0.127	0.134	0.142	0.132	0.149	0.033	0.010	0.139	0.118	13.694
35.909	0.169	0.134	0.122	0.107	0.148	0.213	0.247	0.227	0.267	0.042	0.007	0.215	0.131	13.694
210.350	0.160	0.145	0.118	0.112	0.110	0.118	0.125	0.121	0.130	0.026	0.007	0.123	0.097	13.694
113.496	0.192	0.171	0.162	0.166	0.164	0.184	0.197	0.180	0.204	0.044	0.016	0.203	0.171	13.694
167.754	0.183	0.167	0.155	0.162	0.149	0.163	0.180	0.161	0.184	0.035	0.009	0.188	0.156	13.694
189.050	0.353	0.227	0.249	0.271	0.282	0.298	0.325	0.258	0.350	0.216	0.034	0.313	0.331	13.694
97.317	0.191	0.184	0.180	0.190	0.176	0.170	0.196	0.194	0.195	0.028	0.001	0.218	0.174	36.615
67.113	0.192	0.168	0.159	0.168	0.159	0.176	0.199	0.189	0.204	0.030	0.001	0.193	0.159	36.615
29.134	0.190	0.155	0.139	0.125	0.159	0.209	0.238	0.236	0.259	0.036	0.001	0.223	0.155	36.615
173.149	0.180	0.153	0.144	0.142	0.155	0.168	0.189	0.174	0.198	0.027	0.001	0.224	0.183	36.615
90.418	0.179	0.160	0.147	0.156	0.162	0.174	0.198	0.172	0.210	0.029	0.001	0.224	0.187	36.615
169.428	0.187	0.167	0.153	0.157	0.152	0.159	0.180	0.161	0.191	0.029	0.001	0.191	0.160	36.615
133.625	0.181	0.150	0.136	0.128	0.133	0.156	0.179	0.158	0.176	0.027	0.001	0.158	0.125	36.615
68.964	0.179	0.179	0.168	0.173	0.159	0.166	0.176	0.179	0.186	0.049	0.001	0.189	0.171	0.096

59.429	0.185	0.176	0.174	0.187	0.180	0.200	0.214	0.211	0.222	0.061	0.001	0.223	0.194	0.096
67.455	0.178	0.165	0.156	0.161	0.154	0.165	0.181	0.176	0.184	0.050	0.001	0.190	0.173	0.096
22.552	0.163	0.123	0.118	0.100	0.178	0.260	0.295	0.293	0.324	0.082	0.001	0.256	0.177	0.096
99.475	0.178	0.173	0.165	0.181	0.186	0.200	0.213	0.201	0.229	0.057	0.001	0.256	0.230	0.096
39.435	0.202	0.190	0.188	0.209	0.302	0.320	0.313	0.251	0.346	0.071	0.001	0.319	0.245	0.096
82.139	0.186	0.171	0.163	0.173	0.163	0.170	0.182	0.182	0.191	0.058	0.001	0.204	0.191	0.096
85.446	0.186	0.166	0.153	0.146	0.157	0.176	0.204	0.199	0.217	0.051	0.001	0.218	0.174	0.096
98.918	0.172	0.162	0.153	0.158	0.151	0.176	0.193	0.191	0.200	0.062	0.001	0.202	0.172	0.096
80.219	0.181	0.184	0.169	0.179	0.157	0.169	0.189	0.179	0.186	0.026	0.001	0.192	0.163	19.543
54.077	0.190	0.178	0.171	0.182	0.171	0.193	0.220	0.197	0.229	0.031	0.001	0.220	0.179	19.543
73.801	0.181	0.164	0.147	0.154	0.146	0.160	0.177	0.159	0.179	0.025	0.001	0.183	0.153	19.543
22.409	0.190	0.136	0.123	0.104	0.141	0.204	0.240	0.221	0.254	0.033	0.001	0.179	0.111	19.543
151.978	0.185	0.170	0.164	0.177	0.179	0.192	0.215	0.192	0.224	0.031	0.001	0.273	0.238	19.543
64.353	0.186	0.187	0.171	0.182	0.160	0.162	0.184	0.179	0.182	0.025	0.001	0.190	0.157	3.327
35.868	0.197	0.174	0.155	0.150	0.136	0.154	0.172	0.151	0.173	0.023	0.001	0.133	0.101	3.327
54.936	0.185	0.162	0.145	0.150	0.143	0.152	0.174	0.147	0.177	0.024	0.001	0.173	0.144	3.327
16.427	0.183	0.147	0.131	0.114	0.159	0.231	0.279	0.247	0.316	0.037	0.001	0.265	0.174	3.327
32.798	0.218	0.194	0.183	0.195	0.200	0.226	0.246	0.195	0.274	0.029	0.001	0.246	0.173	3.327
106.448	0.183	0.170	0.148	0.142	0.145	0.168	0.210	0.195	0.225	0.026	0.001	0.212	0.160	3.327
54.278	0.190	0.187	0.182	0.189	0.159	0.177	0.187	0.185	0.185	0.023	0.002	0.194	0.161	5.447
54.008	0.194	0.173	0.166	0.169	0.161	0.192	0.215	0.191	0.223	0.027	0.003	0.215	0.169	5.447
40.693	0.189	0.165	0.148	0.147	0.141	0.156	0.175	0.147	0.178	0.025	0.003	0.169	0.137	5.447
16.992	0.180	0.143	0.129	0.110	0.163	0.251	0.284	0.262	0.316	0.035	0.003	0.253	0.151	5.447
67.722	0.188	0.160	0.149	0.141	0.147	0.171	0.208	0.189	0.224	0.025	0.003	0.194	0.145	5.447
66.409	0.186	0.178	0.169	0.173	0.154	0.157	0.171	0.169	0.182	0.019	0.001	0.183	0.159	0.118
64.306	0.184	0.163	0.157	0.169	0.159	0.182	0.208	0.192	0.218	0.021	0.001	0.213	0.168	0.118
56.788	0.177	0.151	0.135	0.135	0.131	0.147	0.156	0.138	0.161	0.018	0.001	0.162	0.137	0.118
15.980	0.173	0.133	0.134	0.106	0.157	0.245	0.302	0.300	0.323	0.028	0.001	0.260	0.152	0.118
80.836	0.177	0.152	0.142	0.135	0.135	0.162	0.198	0.173	0.210	0.020	0.001	0.198	0.142	0.118
56.429	0.184	0.162	0.160	0.176	0.169	0.197	0.218	0.196	0.232	0.028	0.001	0.222	0.176	0.018
54.861	0.174	0.148	0.139	0.140	0.133	0.147	0.161	0.141	0.170	0.023	0.001	0.168	0.144	0.018
16.681	0.178	0.129	0.129	0.105	0.169	0.268	0.301	0.303	0.327	0.043	0.001	0.257	0.164	0.018
45.327	0.185	0.169	0.164	0.180	0.163	0.190	0.215	0.191	0.220	0.025	0.002	0.215	0.174	0.428
66.138	0.179	0.161	0.144	0.149	0.140	0.149	0.172	0.142	0.179	0.023	0.003	0.177	0.151	0.428
18.322	0.173	0.127	0.129	0.106	0.158	0.241	0.280	0.259	0.316	0.031	0.002	0.245	0.155	0.428
108.062	0.180	0.170	0.163	0.172	0.169	0.186	0.211	0.185	0.224	0.025	0.003	0.241	0.195	0.428
53.474	0.184	0.163	0.159	0.179	0.165	0.189	0.213	0.201	0.216	0.029	0.001	0.212	0.171	0.000
21.812	0.173	0.128	0.122	0.106	0.155	0.232	0.272	0.249	0.295	0.035	0.001	0.246	0.148	0.000
56.852	0.183	0.166	0.160	0.184	0.167	0.197	0.215	0.204	0.225	0.030	0.001	0.210	0.174	5.393
105.948	0.176	0.153	0.141	0.142	0.137	0.151	0.158	0.138	0.168	0.025	0.001	0.173	0.149	5.393
24.348	0.168	0.130	0.118	0.099	0.158	0.230	0.270	0.245	0.292	0.037	0.001	0.240	0.156	5.393
47.185	0.185	0.165	0.166	0.180	0.166	0.192	0.210	0.204	0.221	0.029	0.001	0.208	0.169	0.428
65.613	0.177	0.152	0.142	0.139	0.143	0.154	0.160	0.137	0.169	0.024	0.001	0.174	0.150	0.428
22.413	0.168	0.126	0.119	0.097	0.151	0.227	0.268	0.254	0.290	0.035	0.001	0.240	0.143	0.428

48.660	0.191	0.170	0.163	0.174	0.165	0.184	0.206	0.189	0.215	0.029	0.001	0.199	0.165	5.503
91.623	0.185	0.159	0.146	0.144	0.140	0.153	0.162	0.144	0.169	0.024	0.001	0.166	0.140	5.503
24.209	0.176	0.138	0.124	0.108	0.152	0.216	0.253	0.224	0.276	0.034	0.001	0.233	0.147	5.503
48.469	0.180	0.177	0.171	0.181	0.154	0.162	0.177	0.176	0.181	0.034	0.001	0.178	0.161	10.300
104.415	0.178	0.162	0.146	0.149	0.146	0.159	0.167	0.149	0.171	0.033	0.001	0.178	0.151	10.300
33.636	0.169	0.130	0.124	0.107	0.174	0.254	0.287	0.281	0.310	0.051	0.001	0.258	0.177	10.300
53.281	0.184	0.183	0.179	0.187	0.152	0.160	0.183	0.178	0.188	0.029	0.001	0.189	0.164	42.743
110.167	0.185	0.164	0.147	0.149	0.145	0.155	0.174	0.151	0.177	0.027	0.001	0.175	0.151	42.743
39.597	0.183	0.141	0.133	0.118	0.164	0.227	0.269	0.259	0.297	0.041	0.001	0.256	0.174	42.743
55.293	0.182	0.179	0.167	0.172	0.143	0.156	0.175	0.168	0.170	0.026	0.002	0.173	0.143	45.317
93.678	0.184	0.157	0.142	0.142	0.138	0.152	0.161	0.142	0.172	0.025	0.002	0.165	0.136	45.317
27.676	0.184	0.137	0.125	0.107	0.171	0.252	0.288	0.265	0.308	0.040	0.002	0.257	0.163	45.317
45.956	0.209	0.203	0.187	0.197	0.168	0.178	0.190	0.191	0.189	0.027	0.001	0.191	0.153	31.850
28.380	0.184	0.149	0.133	0.125	0.180	0.239	0.277	0.242	0.305	0.036	0.001	0.282	0.184	31.850
23.868	0.241	0.211	0.209	0.225	0.227	0.260	0.284	0.239	0.294	0.063	0.001	0.272	0.236	4.690
22.072	0.505	0.481	0.477	0.510	0.512	0.532	0.554	0.487	0.566	0.239	0.003	0.457	0.363	4.690
18.513	0.172	0.124	0.122	0.122	0.160	0.226	0.265	0.230	0.284	0.036	0.001	0.269	0.169	4.690
87.997	0.181	0.160	0.159	0.168	0.183	0.202	0.218	0.196	0.235	0.032	0.001	0.263	0.218	4.690
52.474	0.161	0.129	0.105	0.093	0.092	0.104	0.111	0.088	0.110	0.017	0.001	0.089	0.068	4.690
26.408	0.178	0.162	0.160	0.176	0.158	0.190	0.213	0.205	0.228	0.032	0.001	0.203	0.166	0.099
24.924	0.176	0.148	0.138	0.145	0.142	0.152	0.169	0.143	0.174	0.025	0.001	0.173	0.156	0.099
20.110	0.170	0.125	0.111	0.112	0.173	0.224	0.263	0.222	0.290	0.040	0.001	0.277	0.180	0.099
100.629	0.176	0.158	0.154	0.171	0.181	0.195	0.220	0.204	0.232	0.034	0.001	0.261	0.224	0.099
58.895	0.174	0.173	0.163	0.170	0.179	0.202	0.230	0.223	0.244	0.032	0.001	0.248	0.201	0.099
23.800	0.182	0.164	0.163	0.179	0.160	0.194	0.220	0.200	0.223	0.034	0.001	0.209	0.169	3.358
24.706	0.177	0.150	0.139	0.140	0.145	0.150	0.171	0.143	0.176	0.028	0.001	0.175	0.155	3.358
17.006	0.173	0.128	0.118	0.115	0.173	0.218	0.258	0.216	0.276	0.042	0.001	0.264	0.169	3.358
104.465	0.179	0.158	0.157	0.170	0.179	0.197	0.213	0.196	0.224	0.034	0.001	0.259	0.219	3.358
66.732	0.176	0.181	0.163	0.176	0.181	0.208	0.223	0.212	0.247	0.033	0.001	0.238	0.195	3.358
32.936	0.181	0.168	0.160	0.171	0.162	0.182	0.209	0.189	0.223	0.025	0.001	0.200	0.156	2.827
31.814	0.173	0.151	0.138	0.145	0.140	0.157	0.162	0.142	0.171	0.021	0.001	0.176	0.151	2.827
29.919	0.169	0.134	0.122	0.115	0.159	0.202	0.245	0.200	0.258	0.029	0.001	0.259	0.170	2.827
118.890	0.180	0.163	0.164	0.180	0.181	0.192	0.218	0.199	0.233	0.027	0.001	0.271	0.233	2.827
78.418	0.175	0.174	0.163	0.182	0.173	0.200	0.226	0.225	0.240	0.024	0.001	0.240	0.190	2.827
63.998	0.187	0.154	0.139	0.135	0.142	0.156	0.167	0.140	0.167	0.036	0.001	0.178	0.155	60.801
24.723	0.185	0.160	0.150	0.156	0.191	0.225	0.243	0.231	0.257	0.053	0.001	0.275	0.204	60.801
75.158	0.187	0.167	0.156	0.167	0.169	0.187	0.201	0.184	0.207	0.037	0.001	0.230	0.204	60.801
64.841	0.186	0.164	0.152	0.158	0.153	0.164	0.183	0.154	0.186	0.035	0.002	0.187	0.163	11.681
91.456	0.188	0.182	0.177	0.193	0.191	0.209	0.230	0.213	0.238	0.039	0.003	0.260	0.222	11.681

Anexo 10: Datos a escala horaria de las concentraciones de PM2.5 y reflectancia de las imágenes del sensor MSI

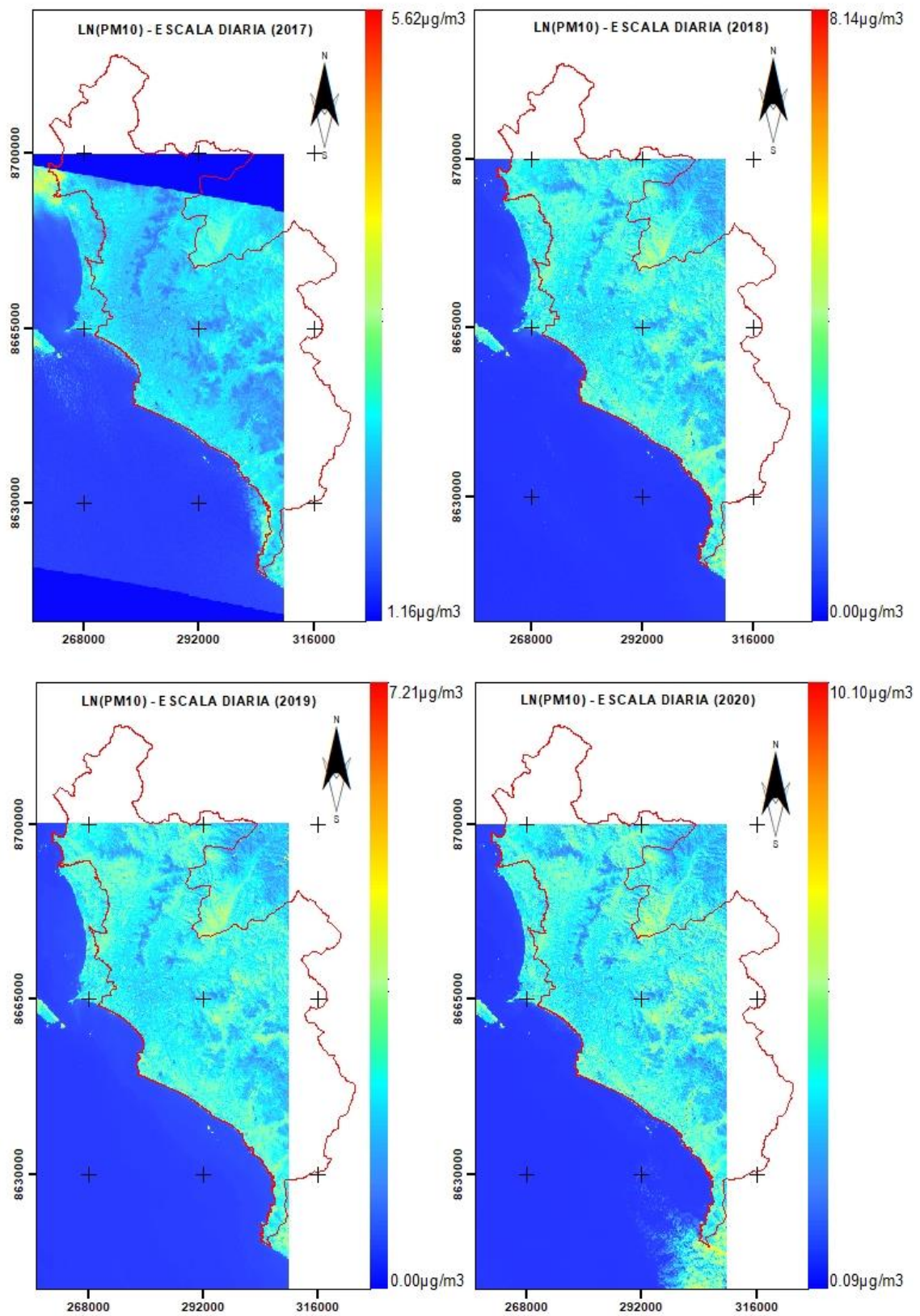
PM2.5 ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Bandas Espectrales (μm)													NUBOSIDAD (%)
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a	B9	B10	B11	B12	
26.704	0.193	0.178	0.166	0.176	0.168	0.183	0.206	0.183	0.217	0.027	0.001	0.246	0.197	54.915
13.505	0.194	0.170	0.161	0.167	0.170	0.197	0.217	0.197	0.225	0.028	0.001	0.227	0.187	54.915
30.700	0.187	0.162	0.147	0.151	0.141	0.163	0.163	0.152	0.175	0.023	0.001	0.181	0.151	54.915
32.971	0.188	0.165	0.164	0.184	0.188	0.209	0.228	0.219	0.236	0.028	0.001	0.273	0.225	54.915
12.313	0.204	0.160	0.150	0.152	0.148	0.183	0.206	0.215	0.207	0.026	0.001	0.214	0.155	54.915
38.908	0.195	0.181	0.167	0.181	0.175	0.186	0.202	0.179	0.208	0.027	0.001	0.219	0.180	54.915
28.825	0.197	0.179	0.177	0.190	0.179	0.198	0.226	0.201	0.245	0.026	0.002	0.253	0.192	16.159
12.567	0.193	0.172	0.167	0.172	0.165	0.194	0.212	0.190	0.228	0.025	0.002	0.217	0.175	16.159
30.029	0.184	0.165	0.151	0.145	0.136	0.154	0.157	0.144	0.168	0.020	0.002	0.160	0.120	16.159
11.388	0.183	0.144	0.142	0.110	0.177	0.267	0.304	0.281	0.343	0.030	0.002	0.270	0.161	16.159
26.938	0.189	0.166	0.159	0.169	0.179	0.196	0.218	0.195	0.228	0.026	0.002	0.265	0.223	16.159
15.063	0.198	0.168	0.152	0.148	0.151	0.173	0.198	0.225	0.219	0.023	0.002	0.207	0.154	16.159
26.429	0.195	0.184	0.175	0.186	0.162	0.173	0.194	0.184	0.203	0.025	0.002	0.206	0.170	16.159
30.367	0.194	0.188	0.179	0.198	0.180	0.201	0.227	0.203	0.237	0.028	0.003	0.255	0.197	38.075
27.779	0.188	0.175	0.165	0.169	0.155	0.162	0.183	0.171	0.189	0.026	0.004	0.182	0.157	38.075
11.196	0.193	0.144	0.136	0.113	0.189	0.278	0.306	0.274	0.337	0.036	0.003	0.288	0.175	38.075
23.096	0.183	0.155	0.144	0.146	0.145	0.158	0.169	0.150	0.171	0.025	0.004	0.172	0.133	38.075
14.108	0.199	0.168	0.159	0.156	0.153	0.191	0.221	0.234	0.238	0.026	0.002	0.212	0.159	38.075
27.529	0.179	0.148	0.126	0.111	0.093	0.098	0.102	0.094	0.098	0.017	0.002	0.075	0.053	38.075
34.175	0.192	0.180	0.177	0.198	0.190	0.196	0.221	0.211	0.239	0.034	0.006	0.259	0.213	36.812
12.525	0.189	0.168	0.168	0.182	0.172	0.199	0.219	0.196	0.230	0.036	0.007	0.216	0.175	36.812
29.738	0.185	0.164	0.156	0.154	0.145	0.164	0.173	0.155	0.181	0.033	0.008	0.188	0.156	36.812
11.288	0.173	0.135	0.133	0.112	0.169	0.248	0.298	0.263	0.316	0.041	0.006	0.258	0.165	36.812
27.713	0.182	0.168	0.165	0.177	0.187	0.202	0.218	0.202	0.231	0.039	0.008	0.258	0.221	36.812
17.342	0.196	0.160	0.157	0.150	0.158	0.195	0.197	0.240	0.223	0.032	0.005	0.204	0.160	36.812
34.483	0.194	0.183	0.177	0.191	0.172	0.181	0.194	0.185	0.204	0.037	0.009	0.210	0.175	36.812
37.521	0.182	0.154	0.147	0.134	0.141	0.177	0.200	0.192	0.207	0.032	0.006	0.177	0.135	36.812
26.754	0.180	0.168	0.160	0.164	0.153	0.182	0.194	0.186	0.203	0.038	0.008	0.206	0.165	36.812
29.425	0.195	0.194	0.191	0.214	0.196	0.210	0.230	0.217	0.250	0.025	0.001	0.266	0.218	1.984
26.613	0.185	0.160	0.147	0.151	0.147	0.159	0.181	0.154	0.183	0.021	0.001	0.186	0.158	1.984
11.804	0.189	0.139	0.136	0.116	0.171	0.255	0.289	0.284	0.317	0.029	0.001	0.265	0.158	1.984
30.779	0.181	0.157	0.153	0.158	0.169	0.192	0.210	0.193	0.224	0.025	0.001	0.248	0.201	1.984
27.008	0.193	0.160	0.147	0.144	0.148	0.182	0.198	0.226	0.213	0.023	0.001	0.204	0.149	1.984
26.517	0.188	0.174	0.164	0.177	0.163	0.177	0.188	0.176	0.203	0.026	0.001	0.206	0.170	1.984
53.108	0.184	0.156	0.144	0.141	0.138	0.172	0.204	0.200	0.207	0.024	0.001	0.177	0.128	1.984
40.954	0.176	0.160	0.148	0.152	0.140	0.166	0.180	0.162	0.194	0.025	0.001	0.190	0.149	1.984
29.329	0.193	0.199	0.196	0.213	0.188	0.189	0.217	0.206	0.219	0.033	0.001	0.232	0.210	39.428
29.788	0.186	0.165	0.153	0.154	0.144	0.159	0.170	0.153	0.171	0.030	0.001	0.178	0.152	39.428
24.833	0.187	0.158	0.150	0.139	0.174	0.243	0.266	0.254	0.283	0.042	0.001	0.256	0.178	39.428
22.988	0.190	0.168	0.160	0.171	0.182	0.202	0.219	0.200	0.238	0.037	0.001	0.263	0.214	39.428
17.171	0.202	0.176	0.166	0.173	0.179	0.208	0.229	0.217	0.250	0.036	0.001	0.248	0.219	39.428
26.663	0.199	0.185	0.178	0.191	0.173	0.186	0.201	0.191	0.209	0.034	0.001	0.223	0.190	39.428
38.004	0.186	0.159	0.144	0.135	0.147	0.171	0.188	0.176	0.185	0.032	0.001	0.180	0.147	39.428
36.008	0.180	0.180	0.178	0.193	0.173	0.192	0.210	0.198	0.217	0.036	0.001	0.232	0.214	15.021
17.067	0.185	0.164	0.161	0.167	0.166	0.183	0.204	0.194	0.210	0.038	0.001	0.211	0.182	1.163
35.250	0.174	0.157	0.144	0.148	0.147	0.155	0.176	0.156	0.181	0.032	0.001	0.181	0.156	1.163
29.475	0.176	0.154	0.150	0.158	0.175	0.194	0.214	0.209	0.224	0.039	0.001	0.249	0.218	1.163
20.254	0.191	0.163	0.156	0.167	0.181	0.198	0.230	0.215	0.250	0.039	0.001	0.245	0.209	1.163
31.129	0.189	0.178	0.173	0.187	0.171	0.176	0.192	0.189	0.199	0.037	0.001	0.211	0.188	1.163
36.096	0.168	0.158	0.152	0.165	0.158	0.170	0.186	0.179	0.196	0.038	0.001	0.204	0.177	1.163
40.471	0.187	0.200	0.197	0.213	0.180	0.190	0.197	0.210	0.208	0.032	0.001	0.227	0.204	1.163
16.208	0.195	0.178	0.165	0.174	0.170	0.186	0.211	0.195	0.217	0.034	0.001	0.216	0.183	15.021

35.746	0.181	0.167	0.153	0.158	0.150	0.158	0.174	0.159	0.183	0.028	0.001	0.179	0.151	15.021
20.125	0.204	0.177	0.165	0.175	0.175	0.179	0.198	0.216	0.203	0.034	0.001	0.228	0.185	15.021
31.425	0.194	0.183	0.177	0.196	0.173	0.180	0.195	0.195	0.206	0.036	0.001	0.225	0.192	15.021
47.679	0.180	0.157	0.140	0.131	0.139	0.166	0.185	0.183	0.190	0.031	0.001	0.172	0.142	15.021
30.008	0.189	0.218	0.228	0.243	0.183	0.194	0.234	0.254	0.247	0.030	0.001	0.259	0.215	5.062
13.775	0.187	0.169	0.167	0.170	0.165	0.199	0.220	0.200	0.229	0.033	0.001	0.219	0.177	5.062
38.414	0.183	0.170	0.161	0.164	0.163	0.181	0.200	0.177	0.217	0.028	0.001	0.222	0.187	5.062
17.325	0.193	0.170	0.158	0.144	0.145	0.179	0.193	0.218	0.209	0.031	0.001	0.203	0.148	5.062
36.308	0.191	0.184	0.178	0.194	0.167	0.178	0.194	0.197	0.206	0.030	0.001	0.216	0.183	5.062
37.550	0.178	0.149	0.138	0.123	0.142	0.168	0.185	0.179	0.194	0.029	0.001	0.178	0.147	5.062
31.846	0.188	0.229	0.242	0.268	0.204	0.219	0.249	0.269	0.230	0.027	0.002	0.235	0.192	29.847
14.879	0.175	0.141	0.131	0.118	0.154	0.245	0.299	0.256	0.316	0.035	0.002	0.251	0.153	29.847
14.842	0.196	0.172	0.155	0.148	0.146	0.179	0.194	0.197	0.205	0.026	0.002	0.199	0.150	29.847
44.004	0.196	0.181	0.176	0.191	0.169	0.173	0.197	0.192	0.208	0.027	0.002	0.213	0.182	29.847
37.717	0.176	0.150	0.136	0.130	0.142	0.156	0.189	0.171	0.197	0.025	0.002	0.178	0.143	29.847
38.746	0.194	0.210	0.220	0.245	0.190	0.203	0.216	0.242	0.240	0.025	0.001	0.232	0.189	2.780
25.513	0.182	0.163	0.157	0.163	0.168	0.192	0.211	0.198	0.223	0.025	0.001	0.243	0.193	2.780
24.617	0.196	0.174	0.169	0.175	0.174	0.188	0.206	0.181	0.223	0.025	0.001	0.232	0.185	2.780
17.375	0.197	0.170	0.155	0.145	0.139	0.174	0.188	0.192	0.203	0.023	0.001	0.186	0.141	2.780
46.346	0.191	0.161	0.149	0.146	0.143	0.174	0.194	0.175	0.203	0.023	0.001	0.179	0.133	2.780
18.675	0.165	0.134	0.126	0.110	0.152	0.237	0.288	0.259	0.305	0.040	0.002	0.252	0.148	37.597
34.213	0.242	0.222	0.202	0.212	0.209	0.219	0.232	0.217	0.237	0.102	0.039	0.183	0.163	37.597
27.688	0.186	0.178	0.179	0.188	0.189	0.218	0.237	0.208	0.243	0.036	0.002	0.248	0.200	37.597
48.875	0.177	0.149	0.136	0.130	0.140	0.160	0.176	0.166	0.182	0.031	0.005	0.161	0.135	37.597
24.888	0.177	0.153	0.144	0.149	0.141	0.163	0.179	0.163	0.188	0.040	0.004	0.182	0.145	37.597
15.488	0.160	0.119	0.112	0.096	0.131	0.219	0.268	0.241	0.284	0.036	0.001	0.231	0.140	0.000
23.721	0.169	0.154	0.156	0.168	0.164	0.178	0.201	0.188	0.208	0.028	0.001	0.240	0.202	0.000
19.904	0.179	0.165	0.160	0.173	0.169	0.184	0.207	0.190	0.222	0.028	0.001	0.229	0.186	0.000
39.921	0.180	0.177	0.177	0.189	0.166	0.171	0.194	0.192	0.200	0.031	0.001	0.222	0.182	0.000
40.542	0.172	0.143	0.132	0.121	0.142	0.158	0.167	0.163	0.175	0.026	0.001	0.172	0.139	0.000
23.758	0.166	0.147	0.139	0.142	0.132	0.156	0.178	0.161	0.184	0.029	0.001	0.182	0.147	0.000
13.600	0.190	0.170	0.167	0.178	0.171	0.202	0.210	0.206	0.228	0.035	0.001	0.214	0.176	24.151
15.258	0.172	0.134	0.124	0.105	0.162	0.237	0.280	0.260	0.294	0.043	0.001	0.236	0.151	24.151
25.348	0.188	0.171	0.165	0.177	0.184	0.204	0.218	0.200	0.234	0.035	0.002	0.237	0.200	24.151
15.075	0.192	0.169	0.162	0.153	0.183	0.213	0.250	0.231	0.267	0.034	0.001	0.231	0.207	24.151
36.425	0.188	0.177	0.170	0.185	0.165	0.184	0.191	0.181	0.203	0.035	0.002	0.215	0.182	24.151
50.867	0.176	0.146	0.130	0.131	0.134	0.169	0.185	0.169	0.185	0.032	0.001	0.169	0.133	24.151
16.979	0.179	0.160	0.156	0.171	0.159	0.187	0.205	0.188	0.222	0.028	0.001	0.207	0.172	9.834
19.496	0.155	0.127	0.117	0.097	0.136	0.221	0.273	0.241	0.298	0.035	0.001	0.231	0.137	9.834
33.546	0.179	0.179	0.170	0.198	0.185	0.198	0.231	0.217	0.241	0.030	0.001	0.254	0.209	9.834
20.604	0.181	0.180	0.170	0.175	0.194	0.223	0.244	0.234	0.270	0.030	0.001	0.232	0.208	9.834
42.933	0.175	0.170	0.173	0.194	0.165	0.180	0.189	0.190	0.198	0.031	0.001	0.218	0.181	9.834
61.938	0.171	0.144	0.132	0.129	0.133	0.153	0.161	0.156	0.173	0.025	0.001	0.171	0.139	9.834
36.842	0.162	0.144	0.133	0.135	0.130	0.147	0.169	0.151	0.176	0.028	0.001	0.171	0.140	9.834
18.175	0.156	0.132	0.121	0.116	0.111	0.122	0.133	0.116	0.132	0.024	0.007	0.110	0.090	13.694
23.213	0.169	0.134	0.122	0.107	0.148	0.213	0.247	0.227	0.267	0.042	0.007	0.215	0.131	13.694
28.904	0.160	0.145	0.118	0.112	0.110	0.118	0.125	0.121	0.130	0.026	0.007	0.123	0.097	13.694
22.004	0.179	0.159	0.149	0.145	0.172	0.191	0.215	0.192	0.232	0.030	0.003	0.207	0.181	13.694
45.742	0.183	0.167	0.155	0.162	0.149	0.163	0.180	0.161	0.184	0.035	0.009	0.188	0.156	13.694
99.433	0.353	0.227	0.249	0.271	0.282	0.298	0.325	0.258	0.350	0.216	0.034	0.313	0.331	13.694
13.721	0.192	0.168	0.159	0.168	0.159	0.176	0.199	0.189	0.204	0.030	0.001	0.193	0.159	36.615
20.371	0.190	0.155	0.139	0.125	0.159	0.209	0.238	0.236	0.259	0.036	0.001	0.223	0.155	36.615
25.575	0.180	0.153	0.144	0.142	0.155	0.168	0.189	0.174	0.198	0.027	0.001	0.224	0.183	36.615
18.038	0.193	0.153	0.135	0.133	0.159	0.173	0.192	0.176	0.218	0.030	0.001	0.201	0.176	36.615
40.683	0.187	0.167	0.153	0.157	0.152	0.159	0.180	0.161	0.191	0.029	0.001	0.191	0.160	36.615
60.792	0.181	0.150	0.136	0.128	0.133	0.156	0.179	0.158	0.176	0.027	0.001	0.158	0.125	36.615
33.150	0.179	0.179	0.168	0.173	0.159	0.166	0.176	0.179	0.186	0.049	0.001	0.189	0.171	0.096

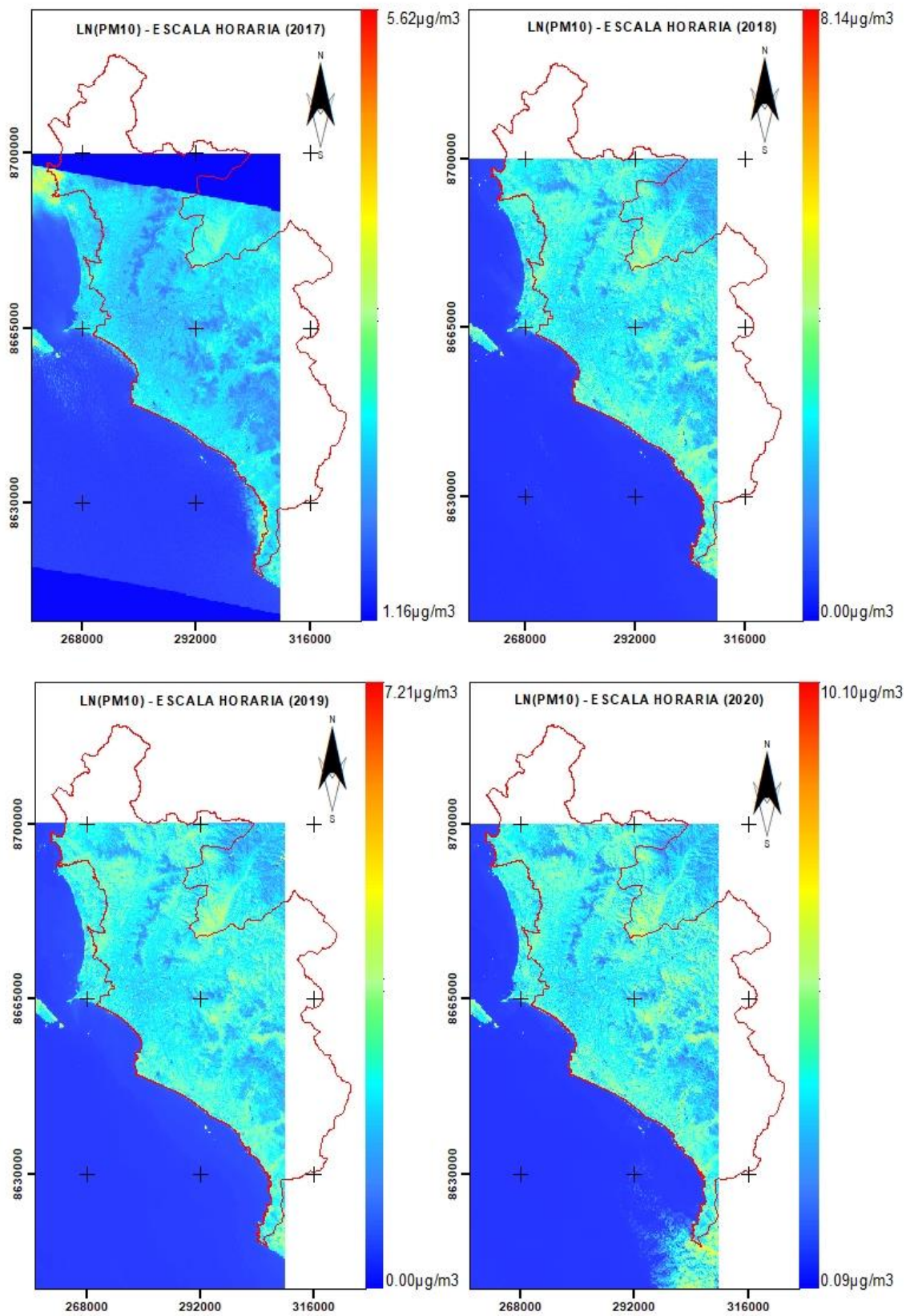
15.579	0.185	0.176	0.174	0.187	0.180	0.200	0.214	0.211	0.222	0.061	0.001	0.223	0.194	0.096
27.425	0.178	0.165	0.156	0.161	0.154	0.165	0.181	0.176	0.184	0.050	0.001	0.190	0.173	0.096
15.233	0.163	0.123	0.118	0.100	0.178	0.260	0.295	0.293	0.324	0.082	0.001	0.256	0.177	0.096
23.013	0.178	0.173	0.165	0.181	0.186	0.200	0.213	0.201	0.229	0.057	0.001	0.256	0.230	0.096
39.092	0.186	0.166	0.153	0.146	0.157	0.176	0.204	0.199	0.217	0.051	0.001	0.218	0.174	0.096
41.446	0.181	0.184	0.169	0.179	0.157	0.169	0.189	0.179	0.186	0.026	0.001	0.192	0.163	19.543
26.883	0.190	0.178	0.171	0.182	0.171	0.193	0.220	0.197	0.229	0.031	0.001	0.220	0.179	19.543
29.696	0.181	0.164	0.147	0.154	0.146	0.160	0.177	0.159	0.179	0.025	0.001	0.183	0.153	19.543
17.317	0.190	0.136	0.123	0.104	0.141	0.204	0.240	0.221	0.254	0.033	0.001	0.179	0.111	19.543
30.767	0.185	0.170	0.164	0.177	0.179	0.192	0.215	0.192	0.224	0.031	0.001	0.273	0.238	19.543
23.046	0.186	0.187	0.171	0.182	0.160	0.162	0.184	0.179	0.182	0.025	0.001	0.190	0.157	3.327
10.917	0.197	0.174	0.155	0.150	0.136	0.154	0.172	0.151	0.173	0.023	0.001	0.133	0.101	3.327
12.454	0.183	0.147	0.131	0.114	0.159	0.231	0.279	0.247	0.316	0.037	0.001	0.265	0.174	3.327
22.075	0.190	0.175	0.169	0.182	0.180	0.192	0.212	0.195	0.228	0.031	0.002	0.257	0.215	3.327
29.195	0.183	0.170	0.148	0.142	0.145	0.168	0.210	0.195	0.225	0.026	0.001	0.212	0.160	3.327
12.542	0.194	0.173	0.166	0.169	0.161	0.192	0.215	0.191	0.223	0.027	0.003	0.215	0.169	5.447
11.150	0.180	0.143	0.129	0.110	0.163	0.251	0.284	0.262	0.316	0.035	0.003	0.253	0.151	5.447
110.058	0.197	0.186	0.168	0.163	0.166	0.185	0.202	0.166	0.210	0.025	0.003	0.214	0.170	5.447
33.138	0.186	0.178	0.169	0.173	0.154	0.157	0.171	0.169	0.182	0.019	0.001	0.183	0.159	0.118
15.271	0.184	0.163	0.157	0.169	0.159	0.182	0.208	0.192	0.218	0.021	0.001	0.213	0.168	0.118
10.642	0.173	0.133	0.134	0.106	0.157	0.245	0.302	0.300	0.323	0.028	0.001	0.260	0.152	0.118
10.339	0.184	0.162	0.160	0.176	0.169	0.197	0.218	0.196	0.232	0.028	0.001	0.222	0.176	0.018
7.808	0.178	0.129	0.129	0.105	0.169	0.268	0.301	0.303	0.327	0.043	0.001	0.257	0.164	0.018
13.754	0.185	0.169	0.164	0.180	0.163	0.190	0.215	0.191	0.220	0.025	0.002	0.215	0.174	0.428
12.700	0.173	0.127	0.129	0.106	0.158	0.241	0.280	0.259	0.316	0.031	0.002	0.245	0.155	0.428
20.283	0.180	0.170	0.163	0.172	0.169	0.186	0.211	0.185	0.224	0.025	0.003	0.241	0.195	0.428
30.863	0.179	0.180	0.181	0.187	0.150	0.166	0.178	0.185	0.184	0.026	0.001	0.179	0.156	0.000
14.408	0.184	0.163	0.159	0.179	0.165	0.189	0.213	0.201	0.216	0.029	0.001	0.212	0.171	0.000
13.503	0.173	0.128	0.122	0.106	0.155	0.232	0.272	0.249	0.295	0.035	0.001	0.246	0.148	0.000
31.678	0.175	0.150	0.140	0.137	0.147	0.171	0.194	0.173	0.208	0.028	0.001	0.190	0.146	0.000
36.286	0.179	0.187	0.185	0.196	0.149	0.165	0.178	0.191	0.193	0.028	0.001	0.196	0.167	5.393
14.467	0.183	0.166	0.160	0.184	0.167	0.197	0.215	0.204	0.225	0.030	0.001	0.210	0.174	5.393
16.563	0.168	0.130	0.118	0.099	0.158	0.230	0.270	0.245	0.292	0.037	0.001	0.240	0.156	5.393
38.389	0.180	0.156	0.147	0.145	0.155	0.178	0.214	0.188	0.222	0.030	0.001	0.211	0.159	5.393
23.199	0.182	0.181	0.179	0.194	0.147	0.178	0.180	0.183	0.179	0.025	0.001	0.180	0.147	0.428
17.900	0.185	0.165	0.166	0.180	0.166	0.192	0.210	0.204	0.221	0.029	0.001	0.208	0.169	0.428
16.864	0.168	0.126	0.119	0.097	0.151	0.227	0.268	0.254	0.290	0.035	0.001	0.240	0.143	0.428
27.553	0.182	0.154	0.145	0.142	0.149	0.186	0.215	0.187	0.229	0.027	0.001	0.200	0.154	0.428
30.920	0.189	0.185	0.172	0.183	0.153	0.166	0.174	0.179	0.181	0.026	0.001	0.181	0.154	5.503
16.996	0.191	0.170	0.163	0.174	0.165	0.184	0.206	0.189	0.215	0.029	0.001	0.199	0.165	5.503
18.874	0.176	0.138	0.124	0.108	0.152	0.216	0.253	0.224	0.276	0.034	0.001	0.233	0.147	5.503
41.007	0.187	0.158	0.147	0.142	0.149	0.175	0.200	0.173	0.212	0.027	0.001	0.189	0.146	5.503
29.420	0.178	0.162	0.146	0.149	0.146	0.159	0.167	0.149	0.171	0.033	0.001	0.178	0.151	10.300
21.115	0.169	0.130	0.124	0.107	0.174	0.254	0.287	0.281	0.310	0.051	0.001	0.258	0.177	10.300
32.780	0.182	0.165	0.161	0.175	0.190	0.204	0.219	0.194	0.231	0.041	0.002	0.271	0.238	10.300
28.233	0.185	0.164	0.147	0.149	0.145	0.155	0.174	0.151	0.177	0.027	0.001	0.175	0.151	42.743
27.416	0.183	0.141	0.133	0.118	0.164	0.227	0.269	0.259	0.297	0.041	0.001	0.256	0.174	42.743
18.208	0.184	0.137	0.125	0.107	0.171	0.252	0.288	0.265	0.308	0.040	0.002	0.257	0.163	45.317
17.922	0.184	0.149	0.133	0.125	0.180	0.239	0.277	0.242	0.305	0.036	0.001	0.282	0.184	31.850
10.990	0.184	0.197	0.190	0.192	0.150	0.168	0.180	0.191	0.184	0.027	0.001	0.176	0.148	4.690
10.798	0.241	0.211	0.209	0.225	0.227	0.260	0.284	0.239	0.294	0.063	0.001	0.272	0.236	4.690
11.021	0.172	0.124	0.122	0.122	0.160	0.226	0.265	0.230	0.284	0.036	0.001	0.269	0.169	4.690
14.803	0.181	0.160	0.159	0.168	0.183	0.202	0.218	0.196	0.235	0.032	0.001	0.263	0.218	4.690
11.619	0.161	0.129	0.105	0.093	0.092	0.104	0.111	0.088	0.110	0.017	0.001	0.089	0.068	4.690
12.188	0.171	0.184	0.180	0.191	0.157	0.155	0.176	0.181	0.176	0.028	0.001	0.183	0.156	0.099
12.100	0.178	0.162	0.160	0.176	0.158	0.190	0.213	0.205	0.228	0.032	0.001	0.203	0.166	0.099
13.618	0.170	0.125	0.111	0.112	0.173	0.224	0.263	0.222	0.290	0.040	0.001	0.277	0.180	0.099

24.386	0.176	0.158	0.154	0.171	0.181	0.195	0.220	0.204	0.232	0.034	0.001	0.261	0.224	0.099
13.489	0.174	0.173	0.163	0.170	0.179	0.202	0.230	0.223	0.244	0.032	0.001	0.248	0.201	0.099
12.770	0.177	0.182	0.176	0.188	0.145	0.163	0.177	0.190	0.179	0.030	0.001	0.171	0.146	3.358
10.922	0.182	0.164	0.163	0.179	0.160	0.194	0.220	0.200	0.223	0.034	0.001	0.209	0.169	3.358
11.319	0.173	0.128	0.118	0.115	0.173	0.218	0.258	0.216	0.276	0.042	0.001	0.264	0.169	3.358
14.035	0.176	0.181	0.163	0.176	0.181	0.208	0.223	0.212	0.247	0.033	0.001	0.238	0.195	3.358
17.208	0.177	0.186	0.177	0.191	0.147	0.156	0.182	0.182	0.178	0.022	0.001	0.175	0.140	2.827
14.158	0.181	0.168	0.160	0.171	0.162	0.182	0.209	0.189	0.223	0.025	0.001	0.200	0.156	2.827
18.519	0.169	0.134	0.122	0.115	0.159	0.202	0.245	0.200	0.258	0.029	0.001	0.259	0.170	2.827
18.159	0.175	0.174	0.163	0.182	0.173	0.200	0.226	0.225	0.240	0.024	0.001	0.240	0.190	2.827
27.327	0.187	0.178	0.167	0.172	0.172	0.176	0.179	0.171	0.194	0.036	0.001	0.195	0.176	60.801
18.556	0.185	0.160	0.150	0.156	0.191	0.225	0.243	0.231	0.257	0.053	0.001	0.275	0.204	60.801
21.770	0.187	0.167	0.156	0.167	0.169	0.187	0.201	0.184	0.207	0.037	0.001	0.230	0.204	60.801
25.519	0.189	0.185	0.176	0.194	0.169	0.181	0.188	0.189	0.194	0.039	0.003	0.202	0.175	11.681
18.986	0.188	0.182	0.177	0.193	0.191	0.209	0.230	0.213	0.238	0.039	0.003	0.260	0.222	11.681

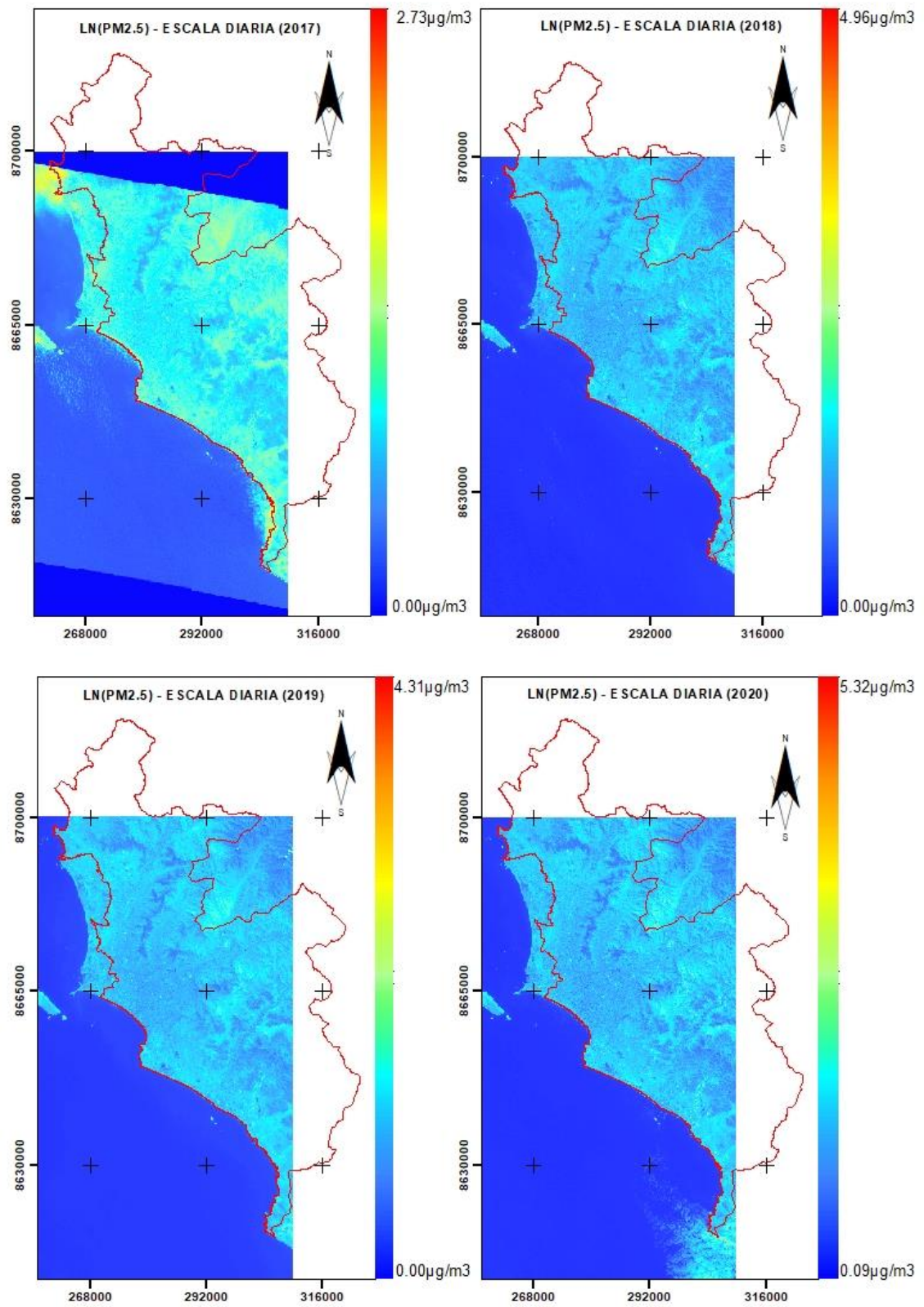
Anexo 11: Concentraciones de PM10 a escala diaria con nubosidad menor e igual al 20%



Anexo 12: Concentraciones de PM10 a escala horaria con nubosidad menor e igual al 20%



Anexo 13: Concentraciones de PM2.5 a escala diaria con nubosidad menor e igual al 20%



Anexo 14: Concentraciones de PM2.5 a escala horaria con nubosidad menor e igual al 20%

