

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**UTILIZACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL PARA ESTIMAR LA  
CALIDAD DEL AIRE A NIVEL DE SUPERFICIE**

**Evaluación de los datos satelitales de material particulado en  
contraste con la información de superficie de la Red  
Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**ASHLEY MERCEDES CAMINO JÁCOME**

**ashley.camino@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: CARLOS LUIS PÁEZ PÉREZ**

**carlos.paez@epn.edu.ec**

**DMQ, Febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, **Ashley Mercedes Camino Jácome**, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

**ASHLEY CAMINO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por **Ashley Mercedes Camino Jácome**, bajo mi supervisión.

**CARLOS PÁEZ PÉREZ**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ASHLEY MERCEDES CAMINO JÁCOME

CARLOS PÁEZ PÉREZ

## DEDICATORIA

A mi madre Flor de las Mercedes, la mujer más fuerte, empática y hábil. Porque su pasión, amor, apoyo, preocupación y confianza en mí me han alentado a convertirme en una mujer buena, independiente y trabajadora.

A mi padre Jimmy, el hombre más sencillo y espontáneo. Porque su forma sencilla de ver la vida me ha enseñado a disfrutar de las pequeñas cosas que esta te ofrece.

A mi hermana Dayana, mi ejemplo a seguir. Porque sus consejos y sacrificios me han permitido culminar mi carrera universitaria y me han enseñado que siempre merezco lo mejor de la vida.

A mi hermano Jaher, mi compañero de vida. Por estar a mi lado desde que tengo memoria, por crecer junto a mí, por escucharme, por protegerme y alentarme siempre.

A mi hermana Naomy, la niña de mis ojos. Por ser mi razón de salir adelante y de mejorar continuamente.

A mi abuelito Manuel, el hombre más bueno y mi segundo papá. Porque su apoyo y sus oraciones me han permitido disfrutar de antojitos y gozar de salud.

A mi abuelita Nelly, el ángel que me cuida y mi segunda mamá. Porque su amor y su bendición continúan guiando mi camino.

A mi abuelito Luis, el hombre más dulce. Porque sus palabras de apoyo y su mirada llena de esperanza me han alentado a jamás rendirme.

A mi abuelita Blanca, la mujer más singular. Porque su comida me ha hecho sentir en casa.

A mi tío Patricio, el hombre más generoso. Porque su voluntad de compartir sin esperar nada a cambio, me ha permitido disfrutar de lugares hermosos y comida deliciosa.

A mi tío Paúl, el hombre más excepcional. Porque su cuidado y su apoyo fueron puntos clave para continuar con mis estudios y esforzarme arduamente para cumplir mis metas.

A mis mascotas, Galena y Polar. Por darme su amor incondicional, ser leales a mí y ser mi pedacito de felicidad.

Ashley Camino

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a todas las personas que han formado parte de mi vida y me han obsequiado enseñanzas y vivencias que me han convertido en la mujer que soy hoy por hoy. Aquellas que me han amado, apoyado y creído en mí.

A Dios, por darme la perseverancia, la capacidad y la inteligencia para culminar mi carrera universitaria y permitirme disfrutar del alcance de esta meta.

A mi familia, por su constante apoyo económico, amor incondicional y comprensión a lo largo de este emocionante viaje académico. Su aliento y sacrificio han sido mi inspiración para alcanzar mis metas.

Al MSc. Carlos Páez Pérez, el director del presente trabajo de titulación, quien ha sido un guía y mi ejemplo a seguir como profesional. Gracias por su estima, tiempo, apoyo y consideración para la realización y culminación del presente trabajo. Gracias querido profesor por permitirme formar parte de su proyecto de investigación sobre sensores de bajo costo, por confiar en mi potencial, por enseñarme desde su perspectiva que el fin de la ciencia es la resolución de problemas para salvaguardar el bienestar de la humanidad, encaminarme al ámbito de la investigación y por motivarme a ser la mejor ingeniera ambiental.

Al Dr. Lenin Campozano Parra, quien me brindo su ayuda, tiempo e interés para la realización del presente trabajo de titulación.

A todos mis maestros, gracias por su guía, conocimiento y dedicación que han enriquecido mi aprendizaje y me han motivado a crecer académicamente, por haberme motivado a ser una mejor persona, por inspirarme a volverme una profesional con principios y valores y por estimarme y confiar en mis capacidades.

A mis amigos y amigas, quienes han compartido conmigo momentos de alegría y han sido un gran apoyo en los momentos difíciles. Su cariño, compañía, comprensión y aliento me han fortalecido y me ha hecho sentir parte de algo especial.

Ashley Camino

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Alcance.....	3
1.4 Marco teórico.....	4
2 METODOLOGÍA.....	12
2.1 Área de estudio.....	12
2.2 Recopilación de datos brutos.....	14
2.2.1 Estaciones de Monitoreo REMMAQ.....	14
2.2.2 Satélite MODIS.....	15
2.2.3 Satélite SENTINEL 2.....	20
2.3 Control de calidad y estadístico de la base de datos de la REMMAQ.....	23
2.3.1 Eliminación de valores negativos.....	23
2.3.2 Revisión de ceros y outliers.....	24
2.3.3 Validación porcentual de datos.....	26
2.3.4 Análisis estadístico diario.....	26
2.4 Procesamiento de las imágenes del satélite MODIS.....	28
2.5 Procesamiento de las imágenes del satélite Sentinel 2.....	29
2.6 Creación de Datasets.....	30
2.7 Contraste entre la información a nivel de superficie y la satelital.....	35
2.8 Creación de mapas.....	38
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
3.1 Base de datos de monitoreo de PM <sub>2.5</sub> depurada y procesada.....	43

3.2	Imágenes satelitales.....	44
3.3	Espesor Óptico de Aerosoles (AOT) .....	47
3.4	Contraste de la información a nivel de superficie y la satelital .....	54
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
4.1	Conclusiones.....	71
4.2	Recomendaciones.....	73
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
6	ANEXOS .....	i
	ANEXO I. Promedios diarios de PM <sub>2.5</sub> de la REMMAQ.....	i
	ANEXO II. Lista de imágenes satelitales del sensor MODIS descargadas. ....	xiii
	ANEXO III. Script de Matlab para extracción de AOT a partir de imágenes del satélite MODIS. ....	xxix
	ANEXO V. Script de Matlab para extracción de AOT a partir de imágenes del satélite Sentinel 2.....	xxxii
	ANEXO VI. Valores de AOT extraídos para las imágenes del satélite MODIS. ....	xxxiv
	ANEXO VII. Archivos GeoTIFF generados en RStudio.....	i
	ANEXO VIII. Valores de AOT extraídos para las imágenes del satélite Sentinel 2. .	i
	ANEXO IX. PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS en el DMQ. ....	lii
	ANEXO X. PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2 en el DMQ. ....	liii
	ANEXO XI. PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS en Ecuador. ....	lv
	ANEXO XII. PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2 en Ecuador. ....	lvi

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación geográfica de las Estaciones de la REMMAQ.....	15
Tabla 2 Ejemplo de formato de nombre y características temporales de las imágenes MOD04_3K para el mes de enero de 2022.....	44
Tabla 3 Resumen de formato de nombre y características temporales de las imágenes L2A para el año 2022.....	45
Tabla 4 Valores de AOT extraídos a partir de imágenes Sentinel 2 y PM <sub>2.5</sub> a nivel de superficie.....	50
Tabla 5 Valores de AOT extraídos a partir de imágenes MODIS y PM <sub>2.5</sub> a nivel de superficie.....	54
Tabla 6 Coeficientes de correlación determinados para los satélites MODIS y Sentinel 2 por estación.....	61
Tabla 7 Promedios anuales de PM <sub>2.5</sub> monitoreado y modelado en el Distrito Metropolitano de Quito.....	66
Tabla 8 Promedios anuales de PM <sub>2.5</sub> y modelado a partir de MODIS y Sentinel 2 en Ecuador.....	66



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Metodología aplicada.....	12
Figura 2 Distrito Metropolitano de Quito.....	13
Figura 3 Estaciones de la Red de Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). ....	14
Figura 4 Página de registro y acceso de MODIS de la NASA. ....	15
Figura 5 Página principal de selección de productos. ....	16
Figura 6 Selección del producto MOD04_3K. ....	17
Figura 7 Selección del rango temporal (año 2022).....	17
Figura 8 Selección de la ubicación geográfica (Ecuador).....	17
Figura 9 Selección del set de datos a descargar.....	18
Figura 10 Revisión y solicitud de los datos. ....	18
Figura 11 Notificación de aceptación y tiempo de espera para entrega de datos.....	19
Figura 12 Correo de la aceptación de la solicitud y entrega de datos. ....	19
Figura 13 Enlace de descarga de datos.....	19
Figura 14 Página de registro y acceso de Sentinel 2 de la Unión Europea. ....	20
Figura 15 Selección de la configuración para descarga de las imágenes Sentinel 2-L2A. ....	21
Figura 16 Resultados de las imágenes Sentinel 2-L2A. ....	21
Figura 17 Selección del dominio. ....	21
Figura 18 Visualización de la información de la imagen satelital. ....	22
Figura 19 Visualización de los archivos individuales a descargar. ....	22
Figura 20 Descarga de los archivos individuales en formato xml requeridos. ....	23
Figura 21 Libro de Excel para eliminación de valores negativos. ....	24
Figura 22 Filtrado de valores negativos. ....	24
Figura 23 Filtrado de ceros. ....	25
Figura 24 Filtrado de valores fuera de rango. ....	25
Figura 25 Resaltado de días con datos horarios menores al 75%.....	26
Figura 26 Descartado de días con valores horarios menor al 75%. ....	27
Figura 27 Elaboración de tabla dinámica agrupando los valores por día.....	27
Figura 28 Determinación del promedio diario.....	27
Figura 29 Promedio diario de PM <sub>2.5</sub> para el año 2022. ....	27
Figura 30 Visualización de un archivo HDF en el software Panoply.....	28
Figura 31 Visualización de un archivo XML con el Bloc de Notas. ....	29
Figura 32 Extracción del día juliano de cada archivo de salida. ....	31

Figura 33 Filtro de valores de AOT mayores o igual a cero y menores o iguales a 1. ....	32
Figura 34 Días julianos resultantes del filtro pegados en el libro de Excel “PM2.5 y AOT”. .....	32
Figura 35 Aplicación de formato condicional a los días julianos y pegado de valores de AOT. ....	33
Figura 36 Extracción de la fecha de cada archivo de salida. ....	33
Figura 37 Cambio del formato de la fecha. ....	34
Figura 38 Fechas extraídas de los archivos de salida pegadas en el libro de Excel “PM2.5 y AOT”. ....	34
Figura 39 Aplicación de formato condicional a las fechas y pegado de valores de AOT. ....	35
Figura 40 Dataset de PM <sub>2.5</sub> y AOT. ....	35
Figura 41 Organización de valores de PM <sub>2.5</sub> y AOT para contraste de la información satelital. ....	36
Figura 42 Líneas de tendencia para cada estación para los resultados del satélite MODIS. .....	37
Figura 43 Líneas de tendencia para cada estación para los resultados del satélite Sentinel 2. ....	37
Figura 44 PM <sub>2.5</sub> modelado a partir del AOT respectivo para el DMQ. ....	38
Figura 45 PM <sub>2.5</sub> modelado a partir del AOT respectivo para el Ecuador. ....	39
Figura 46 Filtrado de AOT vacío y vaciado de PM <sub>2.5</sub> modelado. ....	40
Figura 47 Configuración de la tabla dinámica para la estimación del promedio anual. ....	40
Figura 48 Estimación del promedio anual de PM <sub>2.5</sub> monitoreado y modelado. ....	41
Figura 49 Organización de variables para elaboración de mapas de calidad del aire en el DMQ. ....	41
Figura 50 Organización de variables para elaboración de mapas. ....	42
Figura 51 Especificaciones para la herramienta “XY Table to Point”.....	42
Figura 52 Interpolación IDW del promedio anual de PM <sub>2.5</sub> . ....	43
Figura 53 Layout del Mapa de Calidad del Aire en ArcGIS Pro. ....	43
Figura 54 Ejemplo de base de datos de PM <sub>2.5</sub> monitoreado para enero de 2022. ....	43
Figura 55 Comportamiento de PM <sub>2.5</sub> a nivel de superficie. ....	44
Figura 56 Variables obtenidas con el algoritmo Dark Target en RStudio.....	47
Figura 57 Variables de la extracción de AOT a partir de imágenes Sentinel 2. ....	48
Figura 58 Archivos GeoTIFF en la carpeta de salida. ....	49
Figura 59 Archivos de texto con el valor del AOT extraído de las imágenes Sentinel 2. ...	50
Figura 60 Variables de la extracción de AOT a partir de imágenes MODIS. ....	53
Figura 61 Archivos de texto con el valor del AOT extraído de las imágenes MODIS en la carpeta de salida. ....	53

Figura 62 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Belisario.....	55
Figura 63 Curva de regresión polinómica de quinto grado para la estación Carapungo...55	55
Figura 64 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Centro.....55	55
Figura 65 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Cotocollao.....56	56
Figura 66 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación El Camal. ....56	56
Figura 67 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Guamaní.....56	56
Figura 68 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Los Chillos. ...57	57
Figura 69 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Tumbaco.....57	57
Figura 70 Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación San Antonio. .57	57
Figura 71 Curva de regresión lineal para la estación Belisario.....	58
Figura 72 Curva de regresión lineal para la estación Carapungo.....	58
Figura 73 Curva de regresión lineal para la estación Centro.....	59
Figura 74 Curva de regresión lineal para la estación Cotocollao.....	59
Figura 75 Curva de regresión lineal para la estación El Camal. ....	59
Figura 76 Curva de regresión lineal para la estación Guamaní.....	60
Figura 77 Curva de regresión lineal para la estación Los Chillos. ....	60
Figura 78 Curva de regresión lineal para la estación Tumbaco.....	60
Figura 79 Curva de regresión lineal para la estación San Antonio. ....	61
Figura 80 Ejemplo de base de datos de PM <sub>2.5</sub> monitoreado y modelado a partir del AOT del satélite MODIS para las estaciones Belisario y Carapungo.....	65
Figura 81 Ejemplo de base de datos de PM <sub>2.5</sub> monitoreado y modelado a partir del AOT del satélite Sentinel 2 para las estaciones Belisario y Carapungo.....	65
Figura 82 Mapa de calidad del aire en el DMQ en función de PM <sub>2.5</sub> monitoreado. ....	67
Figura 83 Mapa de calidad del aire en el DMQ en función de PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS.....	68
Figura 84 Mapa de calidad del aire en el DMQ en función de PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2.....	68
Figura 85 Mapa de calidad del aire en Ecuador en función de PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS.....	69
Figura 86 Mapa de calidad del aire en Ecuador en función de PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2.....	70

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Regresión polinómica de sexto grado para la estación Belisario. ....	62
Ecuación 2 Regresión polinómica de quinto grado para la estación Carapungo. ....	63
Ecuación 3 Regresión polinómica de sexto grado para la estación Centro. ....	63
Ecuación 4 Regresión polinómica de sexto grado para la estación Cotocollao. ....	63
Ecuación 5 Regresión polinómica de sexto grado para la estación El Camal. ....	63
Ecuación 6 Regresión polinómica de sexto grado para la estación Guamaní. ....	63
Ecuación 7 Regresión polinómica de sexto grado para la estación Los Chillos.....	63
Ecuación 8 Regresión polinómica de sexto grado para la estación Tumbaco. ....	63
Ecuación 9 Regresión polinómica de sexto grado para la estación San Antonio.....	64
Ecuación 10 Regresión lineal para la estación Belisario. ....	64
Ecuación 11 Regresión lineal para la estación Carapungo. ....	64
Ecuación 12 Regresión lineal para la estación Centro. ....	64
Ecuación 13 Regresión lineal para la estación Cotocollao. ....	64
Ecuación 14 Regresión lineal para la estación El Camal. ....	64
Ecuación 15 Regresión lineal para la estación Guamaní. ....	64
Ecuación 16 Regresión lineal para la estación Los Chillos.....	64
Ecuación 17 Regresión lineal para la estación Tumbaco. ....	64
Ecuación 18 Regresión lineal para la estación San Antonio.....	64

## RESUMEN

En este estudio se presenta el control de calidad y procesamiento estadístico de la base de datos de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), el procesamiento de información satelital de los satélites MODIS y Sentinel 2 para la estimación de material particulado menor a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ) a partir del espesor óptico de aerosoles (AOT) y se contrasta estos dos tipos de información para conocer la factibilidad de utilizar la información satelital como una alternativa óptima de monitoreo de calidad del aire a nivel local y nacional.

Los resultados indican que el satélite MODIS dispone de datos brutos más confiables y factibles para el modelamiento y la estimación de  $PM_{2.5}$  a partir de AOT, puesto que, los coeficientes de correlación de las regresiones polinómicas se encuentran entre 0.79 y 0.96, lo que supone, una relación fuerte e íntima entre estas dos variables. Por otro lado, los resultados con el sensor Sentinel 2 indican que se requiere de un procesamiento más exhaustivo de las imágenes.

Adicionalmente, la calidad del aire estimada a partir de imágenes satelitales, tanto a nivel local como nacional, ha resultado en una sobreestimación o subestimación de la concentración de  $PM_{2.5}$  en el área de estudio que puede deberse a varios factores relacionados a la cantidad, calidad, nivel de procesamiento, características y estructura de la imagen satelital como exceso de nubosidad o iluminación o presencia de capas especializadas en variables atmosféricas, ausencia de datos en el área y periodo de estudio, entre otras.

**PALABRAS CLAVE:**  $PM_{2.5}$ , AOT, MODIS, Sentinel 2, calidad del aire.

## ABSTRACT

In this study, the quality control and statistical processing of the database of the Metropolitan Atmospheric Monitoring Network of Quito (REMMAQ) are presented, as well as the processing of satellite information from the MODIS and Sentinel 2 satellites for the estimation of particulate matter less than 2.5 microns ( $PM_{2.5}$ ) based on aerosol optical thickness (AOT). These two types of information are contrasted to determine the feasibility of using satellite information as an optimal alternative for air quality monitoring at the local and national levels.

The results indicate that the MODIS satellite provides more reliable and feasible raw data for modeling and estimating  $PM_{2.5}$  from AOT, as the correlation coefficients of the polynomial regressions range from 0.79 to 0.96, suggesting a strong and intimate relationship between these two variables. On the other hand, results with the Sentinel 2 sensor indicate that more exhaustive image processing is required.

Additionally, air quality estimated from satellite images, both at the local and national levels, has resulted in an overestimation or underestimation of  $PM_{2.5}$  concentration in the study area. This may be due to various factors related to the quantity, quality, level of processing, characteristics, and structure of the satellite image, such as excessive cloud cover or illumination, the presence of specialized layers in atmospheric variables, absence of data in the area and period of study, among others.

**KEYWORDS:**  $PM_{2.5}$ , AOT, MODIS, Sentinel 2, air quality.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La contaminación del aire, tanto en ambientes interiores como exteriores, se refiere a la alteración causada por diferentes agentes químicos, físicos o biológicos que modifican las características naturales de la atmósfera. Este problema resulta en diversas enfermedades, incluyendo trastornos respiratorios y cardiovasculares, y representa una significativa fuente de enfermedad y muerte. La evidencia indica que casi la totalidad de la población mundial (99%) está expuesta a niveles de contaminación del aire que exceden las pautas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), siendo los países de bajos y medianos ingresos los más afectados. La calidad del aire está íntimamente ligada al clima y a los ecosistemas terrestres en todo el mundo (Organización Mundial de la Salud, 2019).

La contaminación del aire en entornos urbanos comprende tanto componentes gaseosos como material particulado (PM). Entre los primeros se encuentran el ozono ( $O_3$ ), los compuestos orgánicos volátiles (COVs), el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), los cuales son conocidos por su capacidad inflamatoria en el tracto respiratorio, aunque se ha prestado mayor atención a los efectos inflamatorios del PM. (Glencross et al., 2020). La Organización Mundial de la Salud (2019) menciona que alrededor de 2.400 millones de personas están expuestas a niveles peligrosos de contaminación en sus hogares, especialmente al utilizar métodos de cocción contaminantes como fogatas abiertas o estufas simples alimentadas con queroseno, biomasa (madera, estiércol animal y desechos de cultivos) y carbón. Los efectos combinados de la contaminación del aire tanto en espacios interiores como exteriores se asocian con aproximadamente 7 millones de muertes prematuras al año. Las fuentes de contaminación son diversas y específicas según el contexto, e incluyen actividades como la cocción y calefacción residenciales, el transporte vehicular, la generación de energía, la agricultura y la incineración de desechos, así como la industria.

Uno de los contaminantes atmosféricos más perjudiciales para la salud pública es el material particulado. Este material, también conocido como PM, consiste en una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, que varían en tamaño, forma, origen y composición. El tamaño de las partículas es una característica crucial de este material en relación con sus efectos en la salud humana, y se presta especial atención a las partículas con un diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), debido a su capacidad para penetrar en los pulmones y, potencialmente, llegar a otras partes del cuerpo humano a través del sistema circulatorio (Chen et al., 2018).

De acuerdo con Glencross et al. (2020) a lo largo de la historia, se ha considerado que el componente de partículas en la contaminación del aire era el principal causante de enfermedades, y la mayoría de los estudios de inmunotoxicología sobre la contaminación del aire (incluyendo la mayoría de los mencionados a continuación) se han centrado en el material particulado urbano de referencia. Sin embargo, esta teoría ha sido desafiada recientemente; se demostró que incluso el escape diésel agotado de partículas sigue siendo capaz de provocar un efecto adyuvante inmunológico, a pesar de la ausencia de las propias partículas. De acuerdo con Xue et al. (2017) muchos estudios epidemiológicos han asociado el  $PM_{2.5}$  con resultados adversos para la salud como enfermedades cardiovasculares y respiratorias, defectos de nacimiento, daños en el ADN, mortalidad por cáncer y muchos otros, por lo que, es sumamente importante evitar la exposición a este contaminante a como dé lugar, lo que nos infiere, que es vital realizar un monitoreo de la calidad del aire para salvaguardar la salud de las personas.

En el Ecuador, aunque no existen datos oficiales sobre el impacto de la contaminación del aire en la salud pública, el tema de la calidad del aire está regulado en el Código Orgánico del Ambiente y específicamente en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, 2015); en ella, a más de establecer los límites máximos permisibles de los contaminantes de criterio y peligrosos y los niveles de alerta, alarma y emergencia por contaminación, establece la obligatoriedad del monitoreo y la difusión de la información, a cargo de los GAD municipales, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional. Pese a ello, salvo Quito y Cuenca, en el resto de las ciudades no existen esfuerzos sostenidos de monitoreo de la calidad del aire (Páez Pérez, 2022a).

De acuerdo con Páez Pérez (2022a), además de la falta de prioridad de este tema de salud pública, una de las razones para el incumplimiento señalado son los costos de implementación y mantenimiento de estos sistemas de información, que superan las capacidades económicas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Por otro lado, Franco et al. (2019) afirma que existen evidencias de que los costos de la contaminación del aire ambiente en el Ecuador pueden ser equivalente alrededor del 1% del producto interno bruto nacional y que, el Distrito Metropolitano de Quito, pese a que, ya ha establecido políticas públicas para la gestión de la calidad del aire, presenta limitaciones que están ligadas a la falta de integración institucional, operativa y legal con las autoridades, un problema del que adolecen las demás ciudades ecuatorianas, a excepción, de algunas ciudades como Cuenca, Guayaquil, Ambato y Loja.

Para aportar a suplir esta falta de información sobre la calidad del aire, en la investigación de Yuan et al. (2020) afirma que, en los últimos 50 años, la información espacial,



especialmente, la tecnología de detección remota por satélite ha proporcionado medios avanzados de detección e investigación para la investigación de los recursos de la tierra, el seguimiento de los cambios ambientales locales y regionales, e incluso el estudio de los cambios globales, con las ventajas de ser macro, integral, rápido, dinámico y preciso. Los datos de teledetección se utilizan principalmente para parámetros ambientales seguimiento basado en modelos físicos. Aunque los modelos físicos pueden expresar efectivamente el proceso de formación de parámetros ambientales a las observaciones de teledetección, estos dependen en gran medida del conocimiento previo de los parámetros modélicos. Tal conocimiento a menudo tiene una gran incertidumbre debido al alta complejidad del proceso físico y varía en diferentes períodos y regiones, lo que tiende a dar como resultado una precisión limitada de los sensores remotos, pero se espera, que en el presente trabajo pueda ser acogida como la solución alternativa más efectiva y factible para ser aplicado en ciudades del Ecuador.

## **1.1 Objetivo general**

Validar la utilización de sensores remotos en satélites para determinar la calidad del aire a nivel de superficie, en lo que se refiere a la concentración del material particulado menor a 2.5 micras en el aire como una alternativa factible y de bajo costo para implementarla a nivel nacional.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Verificar la factibilidad para acceder a la información satelital sobre calidad del aire, proveniente de dos fuentes distintas y desarrollar un protocolo para su descarga.
2. Desarrollar un protocolo para transformar la información satelital en datos a nivel de superficie y contrastarlos con la información de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).
3. Validar la información satelital como una alternativa confiable para el monitoreo de la calidad del aire para implementarla a nivel nacional.

## **1.3 Alcance**

La presente investigación espera aportar con la obtención y procesamiento de información satelital, de los sensores MODIS de la NASA y Sentinel 2 de la Unión Europea, en información sobre la concentración de material particulado.

Para verificar la utilidad de esta información se transformará los datos satelitales a información de calidad del aire en superficie de PM<sub>2.5</sub> y se realizará la comparación y análisis estadístico con los datos generados por la Red Metropolitana de Monitoreo

Atmosférico de Quito (REMMAQ), para el año 2022 con datos diarios u horarios de al menos 3 estaciones de monitoreo.

Finalmente, se busca evaluar la posibilidad de utilizar esta información con un alcance nacional como una alternativa factible y de bajo costo para mejorar de la gestión ambiental de la calidad del aire.

## **1.4 Marco teórico**

El aire, también denominado “aire ambiente”, es definido por la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire Ambiente (Acuerdo N°97/A) (Ministerio de Ambiente, 2015) como: “cualquier porción no confinada de la atmósfera y es una mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) nitrógeno y uno por ciento (1%) de dióxido de carbono, además de proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica”.

Por ende, la contaminación del aire es cualquier perturbación, cambio o alteración de dicha composición por factores antropogénicos o procesos naturales y que afecta adversamente a los seres humanos y al ambiente. Se debe considerar que dicha contaminación tiene diversas fuentes tanto de origen antropogénico como natural. Entre las fuentes de origen antropogénico tenemos el parque automotor, chimeneas industriales, actividades comerciales y/o económicas como la ganadería, generación de energía, rellenos sanitarios, entre otras. Por otro lado, entre las fuentes de origen natural tenemos erupciones, sismos, tormentas de arena, entre otros.

De acuerdo con Páez Pérez (2022b), las diferentes fuentes de contaminación emiten contaminantes de distintos tipos y proporciones. El grado en que las personas y el ambiente están expuestos a la contaminación atmosférica nociva es una cuestión compleja que depende de cómo se comportan, se propagan, se mezclan y reaccionan los contaminantes de la atmósfera en diferentes condiciones climáticas. La calidad deficiente del aire constituye un serio problema tanto para la salud pública como para el ambiente.

Algunos contaminantes perjudiciales son liberados directamente desde fuentes como vehículos, chimeneas industriales y otros procesos; entre ellos se encuentran partículas y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Otros contaminantes, como el ozono y partículas más pequeñas conocidas como "aerosoles secundarios", se generan en la atmósfera tras las emisiones de precursores contaminantes, como NO<sub>x</sub> y compuestos orgánicos volátiles. Diversas fuentes de contaminación, como la combustión industrial, el almacenamiento de sustancias volátiles, vehículos y canteras, emiten distintos tipos y proporciones de contaminantes. La exposición de la población y el entorno a niveles perjudiciales de contaminación del aire es

un tema complejo que depende de la dinámica atmosférica, los desplazamientos, mezclas y reacciones de los contaminantes en diversas condiciones meteorológicas (Páez Pérez, 2022b).

En el estudio de Cornejo-Vásquez et al. (2022), basándose en el informe de calidad del aire de la Secretaría de Medio Ambiente de Quito (SAQ) en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), identifica al transporte que utiliza combustible diésel y gasolina como la principal fuente de contaminación del aire en el DMQ, exacerbada por la congestión vehicular generada por los vehículos privados. Además, se observa un impacto significativo del uso de combustible pesado por parte de plantas termoeléctricas y otras industrias en áreas específicas del DMQ. Estas actividades son responsables de la acumulación de partículas contaminantes en el aire, como los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), las partículas en suspensión ( $\text{PM}_{10}$ ),  $\text{PM}_{2.5}$ , el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o el benceno, entre otros, según lo establecido por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (NECAA).

Históricamente, la contaminación del aire se considera una amenaza para la salud humana desde la época de Hipócrates, 400 años antes de Cristo. Se poseen registros escritos sobre la contaminación del aire en diferentes países a través de los dos últimos milenios. Desde el siglo XVIII en adelante, se muestra una decreciente calidad del aire en los centros urbanos y cerca de las industrias, y las características químicas de los gases y material particulado. La revolución industrial aceleró tanto la magnitud de las emisiones de contaminantes primarios como la distribución geográfica de los países contribuyentes. Las ciudades altamente contaminadas se convirtieron en el tema definitorio, que empezó con el gran smog de Londres en 1952. Europa y América del Norte dominaron las emisiones y sufrieron la mayoría de los efectos adversos hasta las últimas décadas del siglo XX, momento en el que las cuestiones transfronterizas de la lluvia ácida, la disminución de los bosques y el ozono a nivel del suelo se convirtieron en el principal problema ambiental y político. Al iniciarse los controles sobre las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno ( $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ ) para entrar en vigor en Europa y América del Norte, las emisiones en el este y el sur de Asia crecieron fuertemente y dominó las emisiones globales en los primeros años del siglo XXI (Fowler et al., 2020).

De acuerdo con Fowler et al. (2020) los efectos de La calidad del aire en la salud humana también habían vuelto a ocupar el primer lugar entre las prioridades en el año 2000, ya que, surgieron nuevas evidencias epidemiológicas. En este momento, extensas redes de mediciones en superficie y teledetección por satélite proporcionaban mediciones globales tanto de contaminantes primarios como secundarios. Las emisiones globales de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$

alcanzaron su punto máximo, respectivamente, alrededor de 1990 y 2018, y desde entonces han disminuido hasta 2020 como resultado de controles de emisiones generalizados. Por el contrario, con la falta de acciones para reducir las emisiones de amoníaco, estas han continuado aumentando.

Zalakeviciute et al. (2022) Indica que conforme el mundo avanza hacia una urbanización global, el 56% de las ciudades (con una población superior a 100,000 habitantes) en países desarrollados y el 98% en países de ingresos bajos y medianos no cumplen con las recomendaciones de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Como resultado, la contaminación del aire se ha convertido en el principal riesgo ambiental, siendo responsable de siete millones de muertes prematuras en todo el mundo cada año. Además, las proyecciones futuras sugieren que estas cifras podrían duplicarse para el año 2050. Entre los contaminantes atmosféricos regulados, como los gases criterio (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y ozono) y las partículas, la más compleja es la materia particulada fina (PM) – PM<sub>2.5</sub> (diámetro aerodinámico  $\leq 2.5 \mu\text{m}$ ).

Dado que puede originarse directa e indirectamente a partir de actividades antropogénicas, como el tráfico, las industrias, entre otras, el PM<sub>2.5</sub> es un buen indicador de la calidad general del aire y es útil para estimar los impactos en la salud debido a la exposición a la contaminación del aire, debido a sus conocidos efectos en la salud respiratoria y cardiovascular. Mientras que en países de ingresos altos a medianos las concentraciones de este contaminante están disminuyendo debido a regulaciones ambientales estrictas, la contaminación por PM empeora en los países en desarrollo a medida que crece la demanda de energía y transporte en áreas urbanas. Además, las tecnologías antiguas y el combustible de baja calidad en América del Sur contribuyen al hecho de que la mayor parte del PM fino proviene del tráfico (Zalakeviciute et al., 2020).

En América Latina, los problemas de contaminación del aire se destacan en ciudades como México, Santiago de Chile, Bogotá y Quito, especialmente debido a su geografía montañosa. En el pasado, se han señalado áreas industriales como Cubatão en Brasil, donde la mortalidad infantil fue notablemente alta en comparación con el Estado de São Paulo, lo que impulsó la implementación de medidas de mitigación en la década de 1980. Se ha establecido una conexión entre la contaminación y el desarrollo socioeconómico. En Ecuador, la contaminación del aire generaba costos significativos en términos de atención médica, pérdida de productividad laboral y aumento de la mortalidad, lo que hizo que Quito fuera considerada la zona más problemática del país ya en la década de 1990. Dentro de las ciudades, ciertos grupos poblacionales, como los adultos mayores y aquellos con condiciones médicas preexistentes, son más vulnerables debido a factores como su

ocupación, lugar de residencia y tiempo pasado al aire libre. Estos grupos pueden tener acceso limitado a espacios verdes y estar más expuestos a peligros ambientales. Ejemplos incluyen vendedores ambulantes, agentes de tráfico, trabajadores en túneles, empleados de gasolineras y personas que residen o estudian cerca de carreteras transitadas o áreas industriales. A veces, estos grupos se pueden identificar por factores étnicos o socioeconómicos (Rodríguez-Guerra & Cuvi, 2019).

En las últimas décadas, las partículas finas  $PM_{2.5}$  (material particulado fino con diámetros aerodinámicos inferiores a 2.5  $\mu m$ ) se han convertido en una seria preocupación para la salud. Este material particulado fino, compuesto por diversos compuestos químicos y aerosoles (por ejemplo, partículas de combustión, compuestos orgánicos y metales), puede penetrar en los bronquios y pulmones humanos, causando un gran daño a la salud. En la actualidad, numerosos estudios epidemiológicos han explorado y establecido asociaciones entre la exposición a  $PM_{2.5}$  y mortalidades prematuras, como muertes cardiopulmonares y respiratorias. Estimaciones recientes sugieren que la contaminación por  $PM_{2.5}$  está asociada con 1.2 millones de muertes prematuras por año de 1999 a 2010. Por lo tanto, es de vital importancia estimar con precisión la exposición de la población a  $PM_{2.5}$  para implementar contramedidas que reduzcan la contaminación del aire (Song et al., 2019).

En la investigación de Peláez et al. (2020) desde 2008, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recopilado y registrado anualmente las concentraciones de  $PM_{2.5}$  a través de redes de monitoreo y registros de autoridades ambientales, publicando y actualizando regularmente las bases de datos. Esto se basa en evidencia científica sólida sobre el impacto en la salud debido a la exposición a  $PM_{2.5}$ , ya que, las partículas suspendidas se consideran el cuarto factor de riesgo más alto para la salud humana y uno de los riesgos ambientales más significativos. De las 27 ciudades sudamericanas en los conjuntos de datos de la OMS, 22 superaron la guía anual de  $PM_{2.5}$  (10  $\mu g/m^3$ ) en cinco países (Brasil, Colombia, Ecuador, Paraguay y Perú).

La normativa vigente en Ecuador, en línea con los estándares internacionales, se centra en la reducción de los contaminantes atmosféricos urbanos y la promoción de un entorno saludable. Durante décadas, se han implementado planes y proyectos liderados por diversas instituciones como el Ministerio de Salud, el Ministerio del Ambiente y la Secretaría de Ambiente de Quito, entre otras. Estas iniciativas han recopilado datos desde 2004 a través de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). La REMMAQ se ha dedicado principalmente al seguimiento del material particulado fino

(PM2.5), el material particulado grueso (PM10) y las partículas sedimentables (PS) de más de 10 micrones, cuyo origen se atribuye al polvo excesivo generado por canteras al norte de la ciudad. Además, las centrales termoeléctricas en Guangopolo y Santa Rosa también representan fuentes importantes de contaminación. (Rodríguez-Guerra & Cuvi, 2019).

Páez Pérez (2022b) menciona que es fundamental considerar la percepción de la contaminación del aire en las comunidades también se ve influenciada por factores socioeconómicos. En áreas con recursos financieros y sociales limitados, las mujeres suelen enfrentar una mayor exposición debido a responsabilidades como el cuidado de enfermos y las tareas de limpieza y mantenimiento del hogar afectado, lo que resulta en un aumento de su tiempo de exposición. Por lo tanto, es esencial que las ciudades cuenten con una gestión ambiental adecuada que incluya medidas preventivas y de control efectivas, así como un sistema de monitoreo de contaminantes del aire, para garantizar una vida digna y libre de contaminación para todos los ciudadanos.

Páez Pérez (2022a) define las redes de monitoreo como una práctica sistemática que nos permite conocer la situación o estado de la calidad del aire y se componen de un objetivo, que compara la calidad del aire con los límites máximos permisibles nacionales e internacionales; parámetros, que influyen en la medición como el tipo de contaminante, presión, temperatura, etc.; frecuencia y duración, referentes al periodo de medición de corto y largo plazo; muestreo, referente a la toma de muestra representativas; número y localización de puntos de muestreo, es decir, el número de puntos, variable en tiempo y espacio y tantos como sea posible para disminuir el sesgo, que tenga en cuenta la heterogeneidad de las emisiones, el ordenamiento territorial enfatizando en zonas pobladas y factores meteorológicos; y, técnicas, para la medición y monitoreo de contaminantes del aire que complementen el muestreo in situ y el análisis de laboratorio.

En términos generales, los procedimientos de medición recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para su aplicación en las redes se fundamentan en mediciones en la superficie y se clasifican en tres categorías: el Método Federal de Referencia (FRM), el Método Federal Equivalente (FEM) y otros métodos. Los dispositivos de muestreo que no son de referencia se distinguen según su grado de similitud en diseño con los FRM; a medida que se apartan en diseño, se vuelven más rigurosos los requisitos para designar un instrumento como método equivalente. Más allá de los métodos de medición especificados en las normativas, existen otras opciones que pueden emplearse según los objetivos del monitoreo, siempre que no estén vinculadas al cumplimiento de los límites máximos permitidos. Estas tecnologías de monitoreo se pueden clasificar en seis grupos: tubos pasivos, sensores de bajo costo, muestreadores activos,

analizadores automáticos y sensores remotos, de este último hablaremos más a profundidad (Páez Pérez, 2022b).

El monitoreo de la calidad del aire es esencial para controlar el problema de la contaminación atmosférica. La forma común de medir contaminantes como las partículas suspendidas (PM) es a través de estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en tierra. Sin embargo, debido a los costos de infraestructura y personal, así como a las demandas financieras para establecer estaciones, limitaciones de espacio para la instalación en ubicaciones deseadas y costos de operación y mantenimiento, las estaciones de monitoreo de la contaminación del aire están distribuidas de manera dispersa. Por lo tanto, con un número limitado de estaciones en distancias lejanas, no se puede proporcionar una buena caracterización espacial de  $PM_{2.5}$  (Imani, 2021).

Yuan et al. (2020) menciona que el deterioro ambiental de la Tierra, causado por el comportamiento humano o de origen antropogénico continúa agravándose, se ha convertido en el problema principal que obstaculiza el progreso adicional de los cambios globales. La escasez de recursos y el deterioro ambiental ya no son fenómenos exclusivos de regiones específicas. En los últimos 50 años, la tecnología de información espacial, especialmente la tecnología de teledetección por satélite ha proporcionado medios avanzados de detección e investigación para la exploración de los recursos terrestres, la monitorización de cambios ambientales locales y regionales, e incluso el estudio de cambios globales, con las ventajas de ser macroscópico, integral, rápido, dinámico y preciso.

En este contexto, Imani (2021) afirma que la teledetección por satélite proporciona observaciones con una amplia cobertura espacial y temporal, y bajos costos financieros. El método más ampliamente utilizado para estimar las partículas suspendidas a partir de datos satelitales es encontrar la relación entre el grosor óptico de aerosoles derivado del satélite (AOD), a veces llamado grosor óptico de aerosoles (AOT), y la concentración de material particulado. Diversos estudios evalúan las relaciones AOD-PM utilizando diferentes modelos de regresión, bosques aleatorios y redes neuronales.

Sin embargo, de acuerdo con Yang et al. (2019) la correlación entre  $PM_{2.5}$  y AOD no siempre es sólida y existen muchas diferencias entre  $PM_{2.5}$  y AOT. Por ejemplo,  $PM_{2.5}$  representa principalmente la turbidez de la atmósfera cerca de la superficie terrestre. En contraste, AOD representa toda la columna atmosférica, que se extiende desde la superficie terrestre hasta una altitud de varios cientos de kilómetros. Además,  $PM_{2.5}$  representa principalmente la concentración de masa seca de partículas finas, que apenas

se ve afectada por el agua y las partículas gruesas, pero el valor de AOD incluye la influencia del vapor de agua y las partículas gruesas.

Los productos AOD más conocidos se derivan del Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS), que ha mostrado un buen rendimiento para la estimación de PM en regiones globales y de gran escala (Imani, 2021). De acuerdo con (Qin et al., 2021) los sensores satelitales como el Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS), el Espectro Radiómetro de Imágenes Multifunción (MISR), el Conjunto de Radiómetro de Imágenes Infrarrojas Visibles, el Imager Avanzado de Línea de Base (ABI) y el Imager Avanzado de Himawari (AHI) pueden proporcionar registros continuos de las propiedades ópticas de aerosoles sobre áreas extensas. Entre estos sensores satelitales, los productos de aerosoles de MODIS son los más utilizados a escala regional y global.

De acuerdo con Levy et al. (2017) el producto MOD04\_3K utilizado para este estudio, dispone de un nivel de procesamiento nivel 2 que se basa en el mismo algoritmo y utiliza las mismas tablas de búsqueda que el producto estándar de aerosoles Dark Target. Debido a una resolución más fina, se hacen diferencias sutiles en la selección de píxeles para la recuperación y en la determinación del control de calidad. Su resolución temporal es de 5 minutos y tiene una resolución espacial de 3 km.

Phiri et al. (2020) comenta que en el año 2014, el Programa Copernicus, bajo la supervisión de la Agencia Espacial Europea (ESA), lanzó su primer satélite, el Sentinel-1A. Posteriormente, el 23 de junio de 2015, se lanzó el Sentinel-2A, y apenas unos días después se recibieron las primeras imágenes. La constelación Sentinel-2 está compuesta por dos satélites idénticos, el Sentinel-2A y el Sentinel-2B. Ambos satélites llevan a bordo instrumentos de imagen multiespectral (MSI) capaces de capturar datos en 13 bandas de amplia cobertura. El objetivo principal de la misión Sentinel-2 es proporcionar datos satelitales de alta resolución para el monitoreo de la cobertura/ usos del suelo, el cambio climático, el monitoreo de desastres y complementar otros programas satelitales globales como Landsat y SPOT.

Según Segarra et al. (2020) tanto el satélite Sentinel-2A como el Sentinel-2B cuentan con el mismo Instrumento Multiespectral (MSI) a bordo, el cual posee bandas que abarcan desde el visible hasta el infrarrojo de onda corta. Este instrumento incluye cuatro bandas a una resolución espacial de 10 metros, que son las bandas visibles clásicas azul (490 nm), verde (560 nm), roja (665 nm) e infrarroja cercana (842 nm); seis bandas a una resolución de 20 metros, que consisten en cuatro bandas estrechas en el dominio espectral del borde



rojo de la vegetación y dos bandas más largas en el infrarrojo cercano; y tres bandas a una resolución de 60 metros destinadas a la corrección atmosférica y la detección de cirros.

De acuerdo con la investigación de Qin et al. (2021) las recuperaciones de aerosoles de MODIS se producen principalmente en base a tres algoritmos: algoritmos Dark Target (DT), Deep Blue (DB) y MAIAC. Sin embargo, la limitación del algoritmo DT se encuentra principalmente en que no puede recuperar las propiedades ópticas de aerosoles de superficies brillantes (por ejemplo, parte de las áreas urbanas, desiertos, etc.) y los errores son propensos a ocurrir cuando la carga de AOD es alta. De acuerdo con Remer et al. (2020), el algoritmo se basa en mediciones de la luz dispersada por los aerosoles hacia un sensor en órbita espacial, en contraste con los escenarios relativamente oscuros de la Tierra, lo que da lugar al nombre "Dark Target" (Objetivo Oscuro). Este algoritmo se puede aplicar a polarímetros multiángulo más avanzados que tienen longitudes de onda hiperespectrales o multibanda en el mismo rango que MODIS. Ejemplos de tales sensores incluyen el Polarization and Directionality of Earth Reflectances (POLDER) y los radiómetros y polarímetros de la misión Plankton, Aerosol, Clouds, Ocean Ecosystems (PACE). Esto proporciona una línea de base bien entendida para las estadísticas globales de parámetros de aerosoles y una oportunidad para continuar y mantener el monitoreo a largo plazo del sistema de aerosoles en las próximas décadas..

## 2 METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basó en la adquisición de imágenes satelitales de MODIS y Sentinel 2, y estimación de concentraciones de  $PM_{2.5}$  en el área de estudio. Los métodos para la extracción del componente atmosférico necesario, espesor óptico de aerosoles, para la presente investigación se puede observar en la figura 1, y este está basado en un exhaustiva investigación bibliográfica y adaptada a las condiciones del área de estudio, donde se lleva a cabo cada uno de los pasos con el fin de realizar un contraste entre la información de calidad del aire a nivel de superficie proporcionada por la REMMAQ y la información de calidad del aire obtenida a partir de imágenes satelitales.

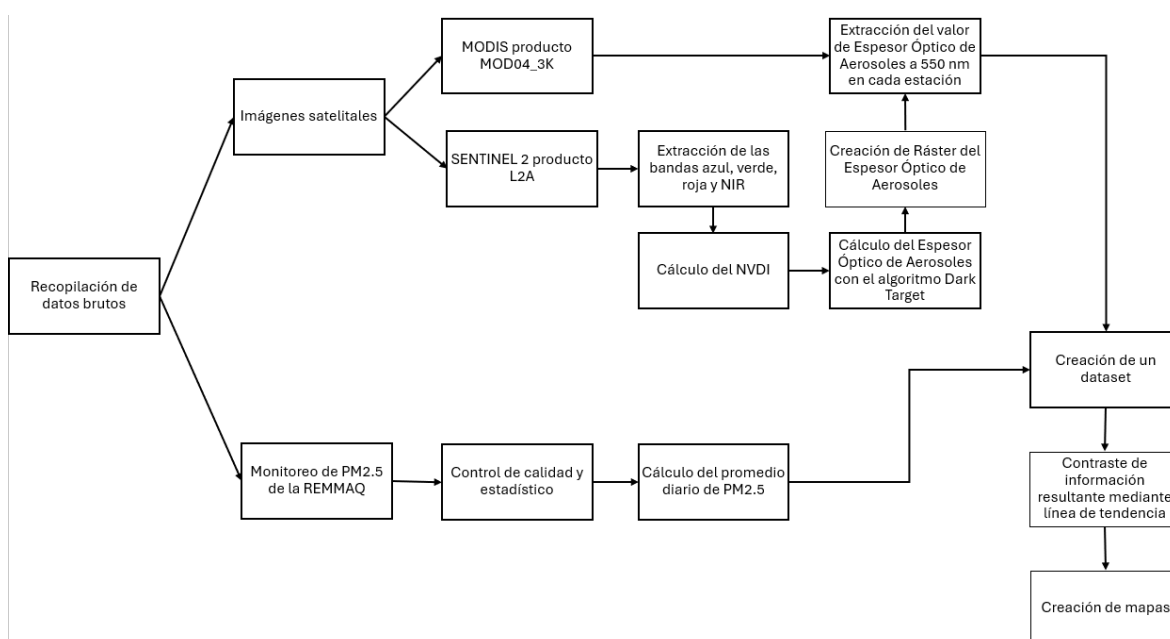
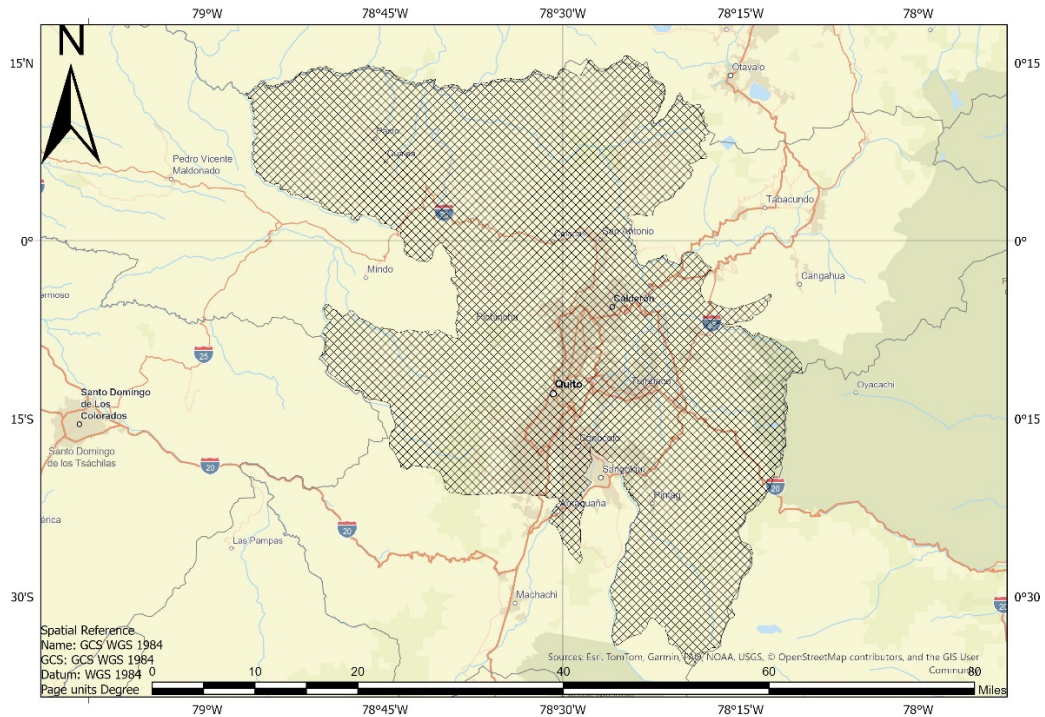


Figura 1 Metodología aplicada

### 2.1 Área de estudio

De acuerdo con Rodríguez-Guerra & Cuvi (2019), La expansión urbana de Quito se localiza en una meseta que se eleva entre 2800 y 2850 metros sobre el nivel del mar, en las laderas del volcán Pichincha. Desde esta altitud, la ciudad se expande de manera dispersa en todas las direcciones: norte, sur, este y oeste, descendiendo por las laderas del volcán Pichincha, con vecindarios ubicados a altitudes superiores a los 3200 metros. En 1994 se estableció el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), abarcando 4235.2 km<sup>2</sup>, que incluye tanto parroquias urbanas como rurales. Este análisis se enfoca específicamente en la zona más urbanizada, las parroquias urbanas, que cubren un área de 372.39 km<sup>2</sup>. No obstante, es importante mencionar que algunas áreas de las parroquias rurales, que ocupan 3862.81 km<sup>2</sup>, también presentan densas concentraciones urbanas. Según el Censo de 2022

(Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022) En ese período, el Distrito Metropolitano de Quito tenía una población de 1'763,275 habitantes en las parroquias urbanas y 915,447 en las parroquias rurales.



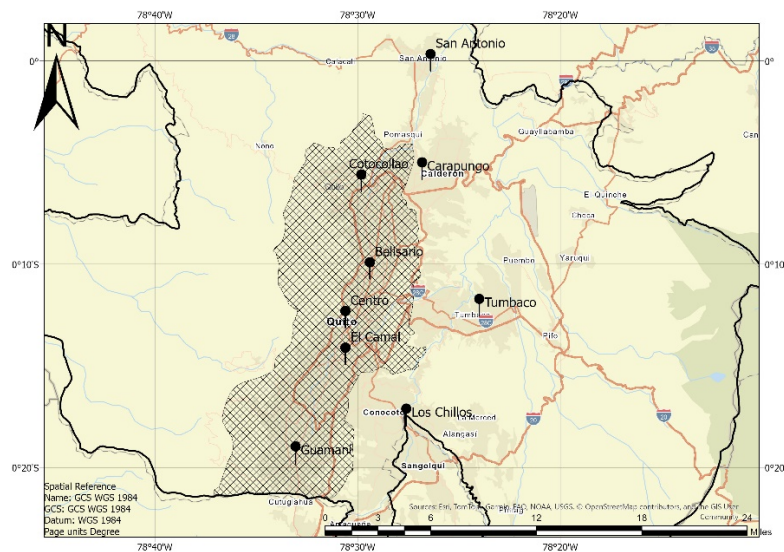
**Figura 2** Distrito Metropolitano de Quito.

La Cordillera de los Andes actúa como una barrera natural en la costa occidental de América del Sur. En la región de la Cordillera Ecuatoriana, varios procesos atmosféricos ejercen su influencia. En su lado occidental, las fluctuaciones de la temperatura del Océano Pacífico tienen un impacto significativo, dando lugar al fenómeno conocido como El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). Por otro lado, en el lado oriental, la humedad proviene del Océano Atlántico, donde el ciclo del agua se mantiene a través de la evaporación y la transpiración en las vastas llanuras de la Selva Amazónica (Heredia et al., 2018).

Dada la ubicación geográfica y la topografía montañosa del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), se presentan diversos tipos de climas en la región. En líneas generales, la ciudad se sitúa en una zona de clima "templado húmedo", con una humedad relativa promedio anual del 75% y una temperatura promedio de 14.78°C. Esta temperatura experimenta variaciones a lo largo del día, con máximas que pueden alcanzar los 28°C y mínimas de aproximadamente 4°C, dependiendo de la ubicación y la época del año. Asimismo, la cantidad de precipitación varía según la zona. Se registran mayores índices pluviométricos en áreas cercanas a elevaciones volcánicas como el Pichincha, Paschoa y Atacazo, así como en el sector del Valle de Los Chillos. En contraste, se observan precipitaciones más

escasas en zonas del norte, como Tumbaco, Guayllabamba, Carapungo y San Antonio de Pichincha (Guevara Proaño, 2022).

La supervisión de la calidad del aire en esta zona está a cargo de la Secretaría de Ambiente, a través de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). Esta red consta de 9 estaciones fijas automáticas de monitoreo distribuidas estratégicamente en todo el Distrito Metropolitano de Quito. Las estaciones que vigilan el PM<sub>2.5</sub> están situadas en las parroquias de Belisario, Carapungo, Cotocollao, El Camal, Centro Histórico, Guamaní, Tumbaco, Los Chillos y San Antonio.



**Figura 3** Estaciones de la Red de Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).

## 2.2 Recopilación de datos brutos

Los datos necesarios para implementar la metodología provienen de imágenes satelitales de MODIS operado por la NASA, Sentinel 2 operado por la ESA e información de estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la Red de Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). Estos conjuntos de datos abarcan el año 2022, y se recopiló de un total de 9 estaciones ubicadas en la zona de estudio. A continuación, se describen en detalle los procesos de obtención de estos datos.

### 2.2.1 Estaciones de Monitoreo REMMAQ

En una primera etapa, se llevó a cabo la descarga directa de las series temporales que incluyen datos de calidad del aire y condiciones meteorológicas. Se accedió a registros sobre el contaminante atmosférico conocido como material particulado fino, con un tamaño menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>), a través de la plataforma en línea de la Secretaría de Ambiente.

En dicha plataforma se encuentra disponible información detallada sobre la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) y diversas series de datos relacionadas con la calidad del aire y la meteorología.

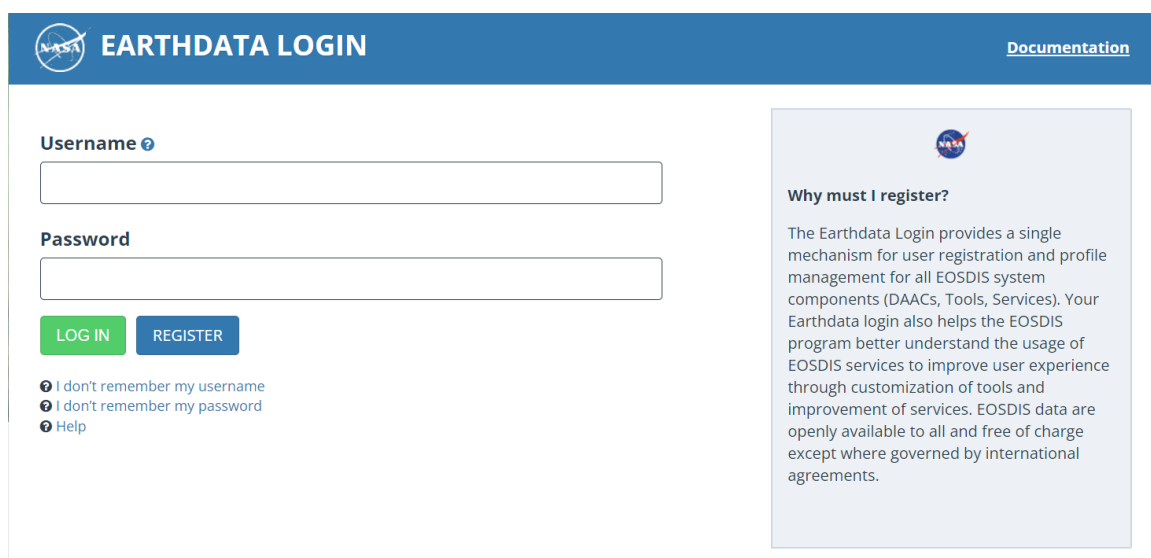
En la tabla 1 se puede observar las coordenadas geográficas de las estaciones en las que se monitorea material particulado menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>).

**Tabla 1** Ubicación geográfica de las Estaciones de la REMMAQ.

Estación	Código	Longitud	Latitud	Altitud
Belisario	1	-78.49	-0.18	2835
Carapungo	2	-78.447	-0.098	2660
Centro	3	-78.51	-0.22	2820
Cotocollao	4	-78.497	-0.108	2739
El Camal	5	-78.51	-0.25	2840
Guamaní	6	-78.551	-0.331	3066
Los Chillos	7	-78.46	-0.3	2453
Tumbaco	8	-78.4	-0.21	2331
San Antonio	9	-78.44	-0.0092	2418

### 2.2.2 Satélite MODIS

Para acceder a los datos MODIS, se requiere crear una cuenta previamente una cuenta. Para ello, se ingresa a la página web <https://urs.earthdata.nasa.gov>, se selecciona “Register” y se completa todos los datos solicitados, como se muestra en la figura 4.



**Figura 4** Página de registro y acceso de MODIS de la NASA.

En la preparación de la metodología, se empleó un conjunto de imágenes satelitales o un producto obtenido del sensor MODIS Terra. Dentro de la información incluida en el formato HDF, el cual se utiliza para la descarga de las imágenes, se resaltan los datos espectrales

y sus atributos correspondientes, los cuales se presentan como metadatos. Se utilizó como producto el MOD04\_3K versión 6, el cual monitorea las propiedades ópticas del aerosol ambiental (por ejemplo, espesor óptico y distribución de tamaño), concentración de masa, flujos reflejados y transmitidos derivados de tablas de búsqueda, así como aseguramiento de calidad y otros parámetros auxiliares, sobre los océanos globalmente y sobre una porción de los continentes (Levy et al., 2017).

Este producto presenta una resolución espacial de 3 kilómetros y una resolución temporal diaria. Las imágenes fueron adquiridas de manera gratuita, como se muestra en la figura 5) a través del sitio web de la NASA LAADS DAAC: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/> (Culma Ortiz, 2021).

De la figura 6 a la figura 10, se puede observar la selección de las configuraciones del producto MOD04\_3K para la descarga de las imágenes satelitales. Entre estas configuraciones se encuentran la resolución espacial y temporal, el número de archivos a descargar y el formato del archivo para la solicitud de los datos.

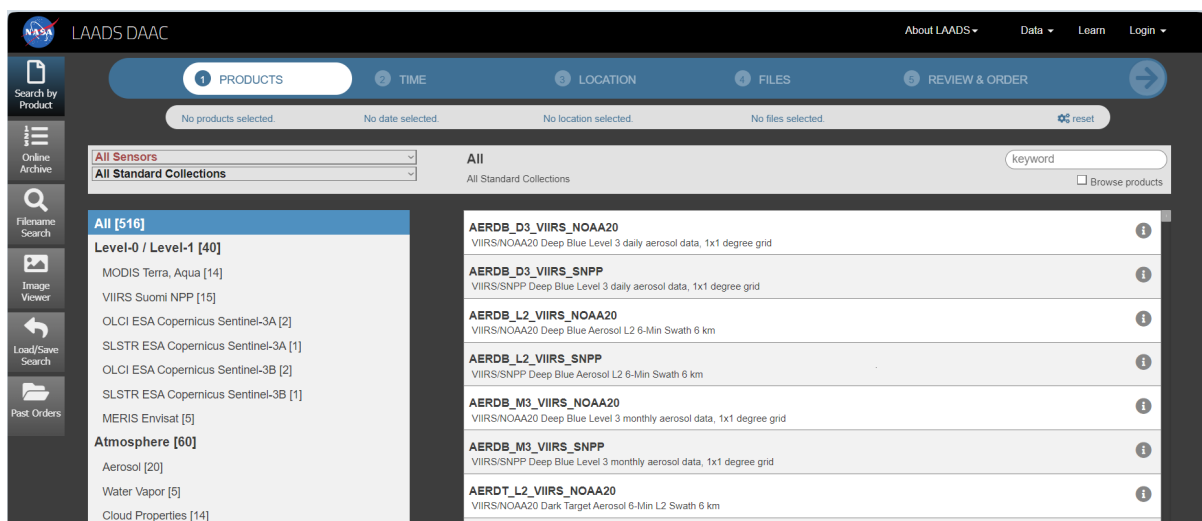


Figura 5 Página principal de selección de productos.

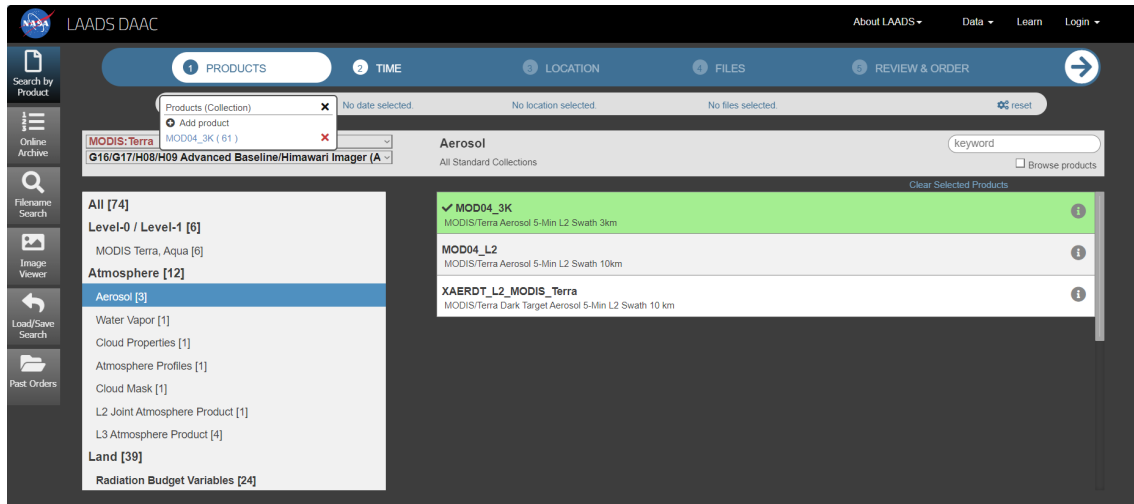


Figura 6 Selección del producto MOD04\_3K.

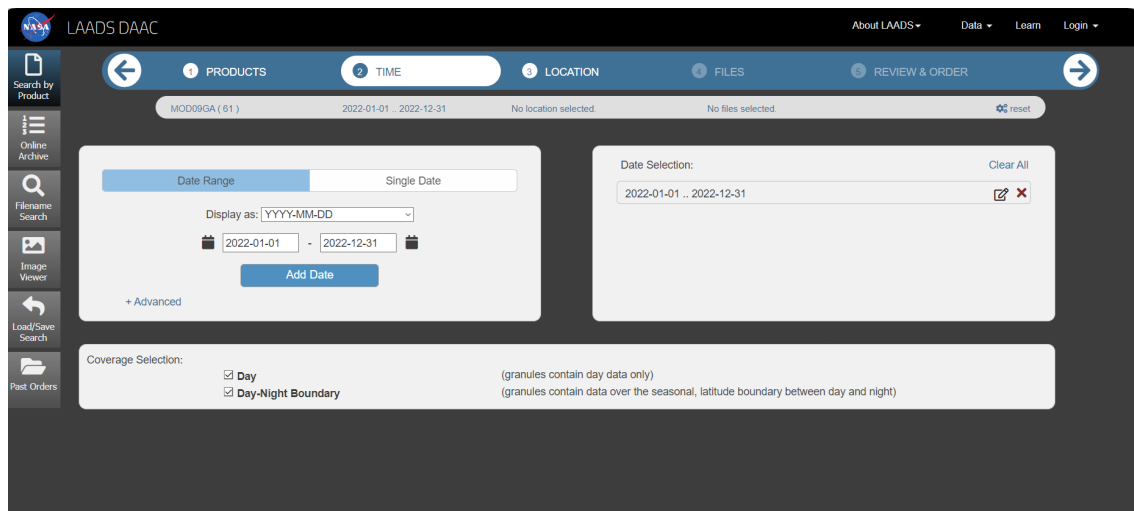


Figura 7 Selección del rango temporal (año 2022).

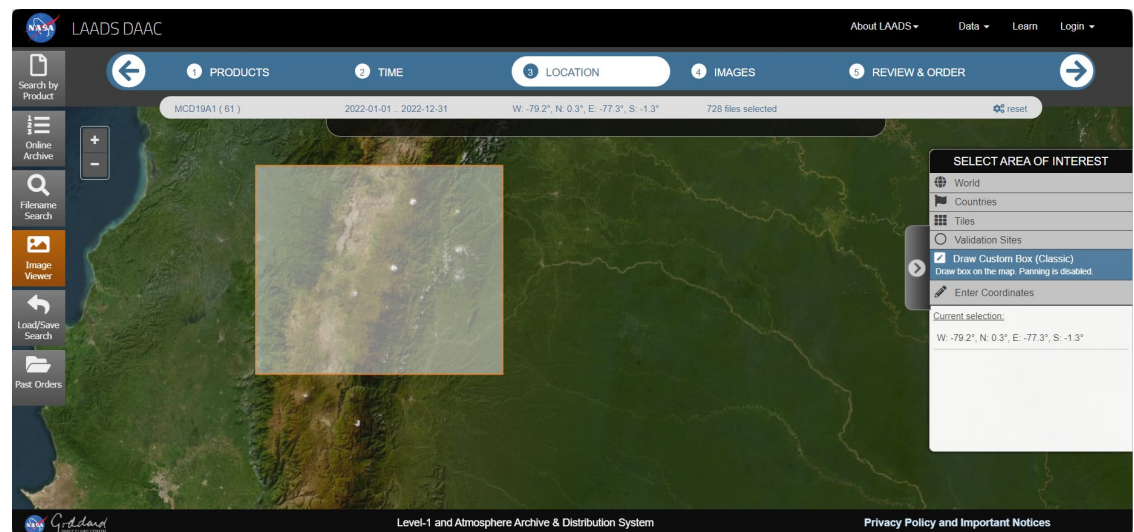


Figura 8 Selección de la ubicación geográfica (Ecuador).

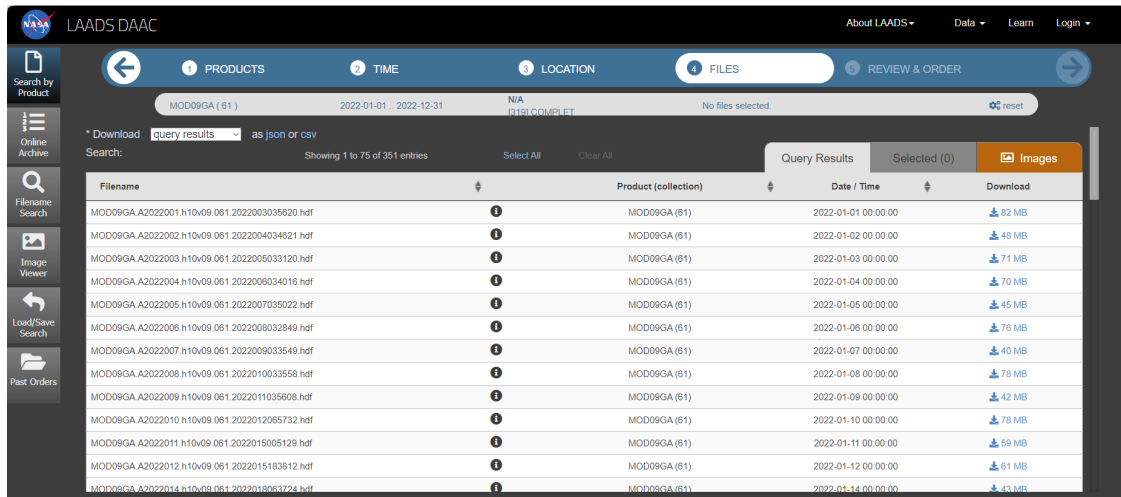


Figura 9 Selección del set de datos a descargar.

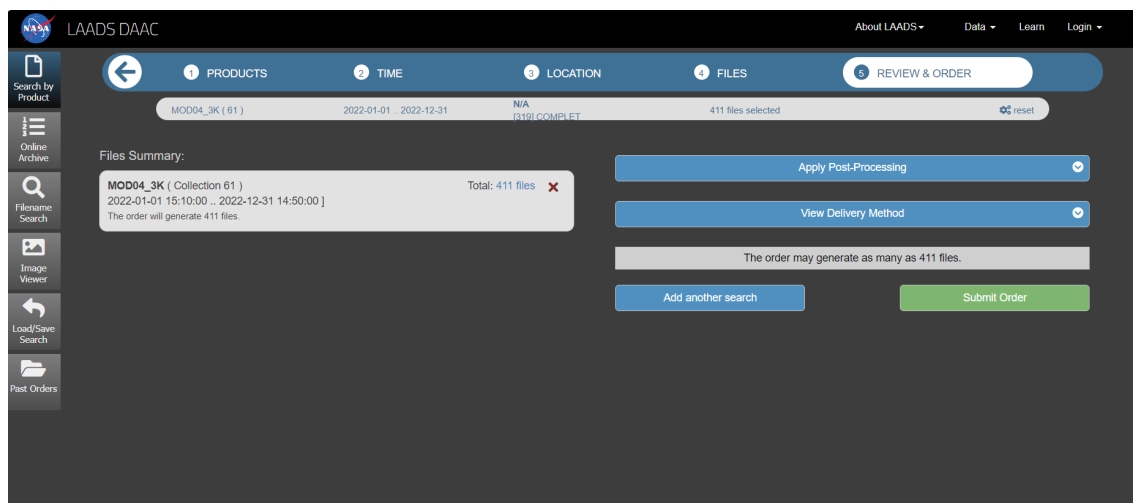


Figura 10 Revisión y solicitud de los datos.

De la figura 11 a la figura 13, se puede observar el proceso para la aceptación de la solicitud y la descarga de las imágenes satelitales a través de un enlace enviado al correo con el que se realiza el registro.



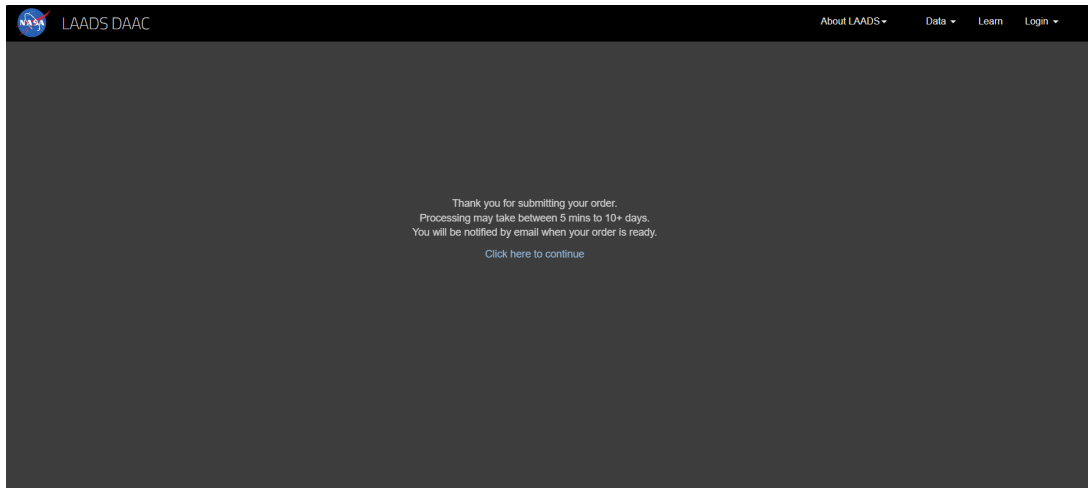


Figura 11 Notificación de aceptación y tiempo de espera para entrega de datos.

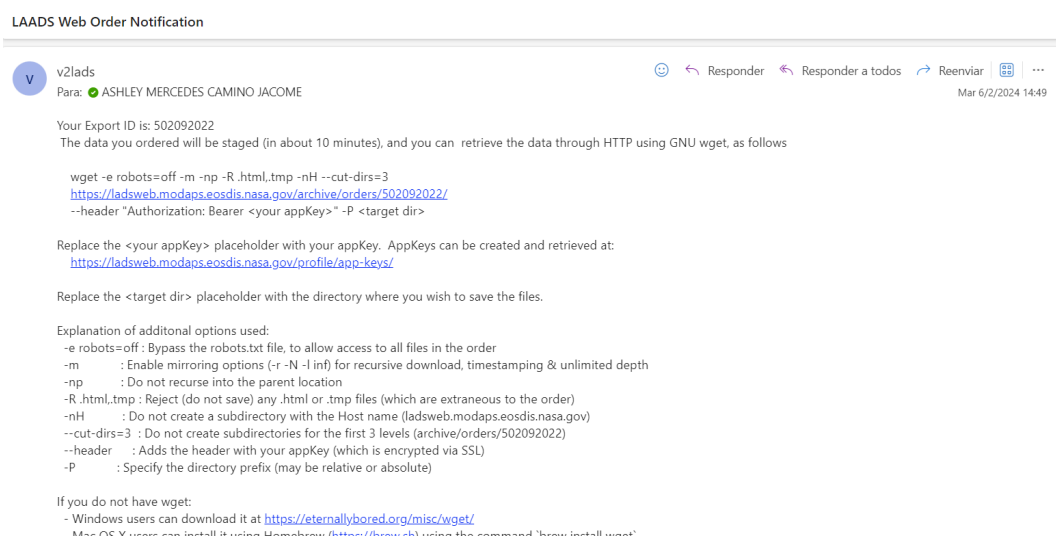


Figura 12 Correo de la aceptación de la solicitud y entrega de datos.

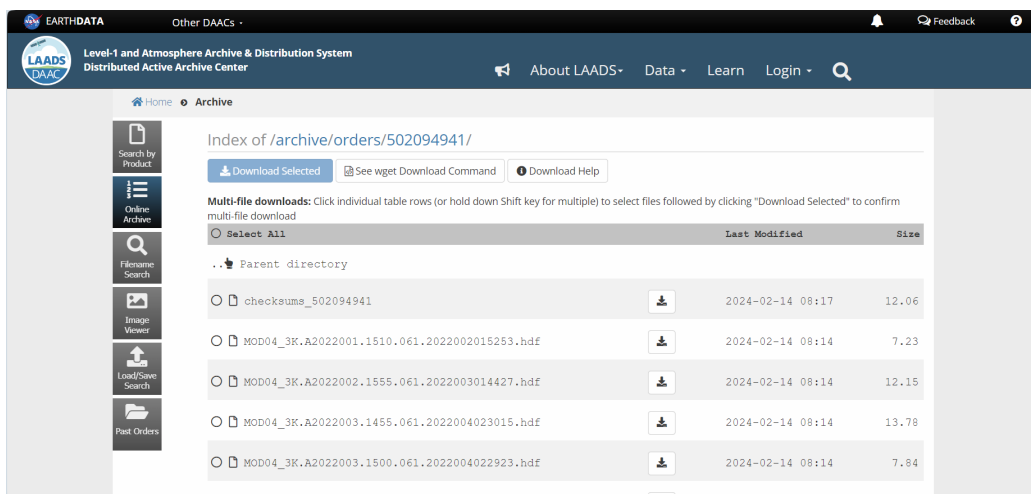
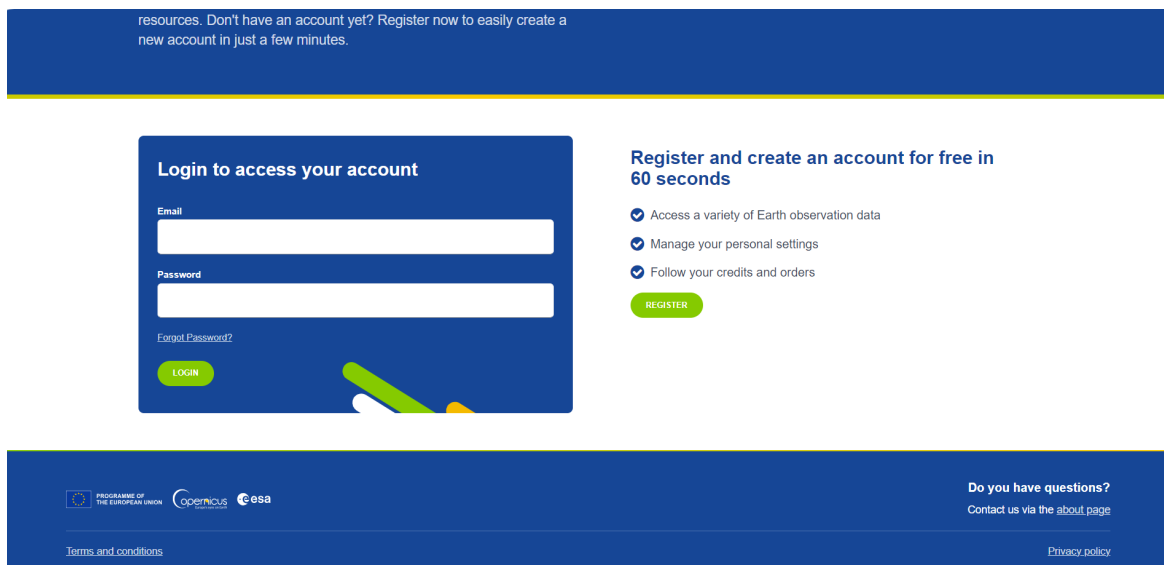


Figura 13 Enlace de descarga de datos.

### 2.2.3 Satélite SENTINEL 2

Para acceder a los datos SENTINEL 2, se requiere crear una cuenta previamente una cuenta. Para ello, se ingresa a la página web , seleccioné “Create new account” y completé todos los datos solicitados, como se muestra en la figura 14.



**Figura 14** Página de registro y acceso de Sentinel 2 de la Unión Europea.

La obtención de imágenes satelitales del satélite Sentinel-2, del producto L2A, se realiza en el sitio web Copernicus de la Unión Europea. De la figura 15 a la 17 se pueden observar los criterios de búsqueda utilizados, los cuales, incluyeron la temporalidad, abarcando cada mes desde enero hasta diciembre de 2022, sin especificar el porcentaje de nubosidad en la zona de interés, para obtener imágenes dentro del periodo de estudio se selecciona “Encontrar productos en el intervalo de tiempo seleccionado”, y el dominio donde se encuentra el área de estudio.

Este producto presenta una resolución espacial que varía de 10 a 60 metros según la longitud de onda utilizada, las cámaras de estos satélites capturan imágenes compuestas por trece bandas espectrales, que abarcan desde el espectro visible hasta el infrarrojo de onda corta (Arboleda Lozada & Neto Jiménez, 2021). Además, dispone de una resolución temporal de cada 5 días. Las imágenes fueron adquiridas de manera gratuita a través del sitio web de la Unión Europea Copernicus Browser: <https://dataspace.copernicus.eu/browser/>

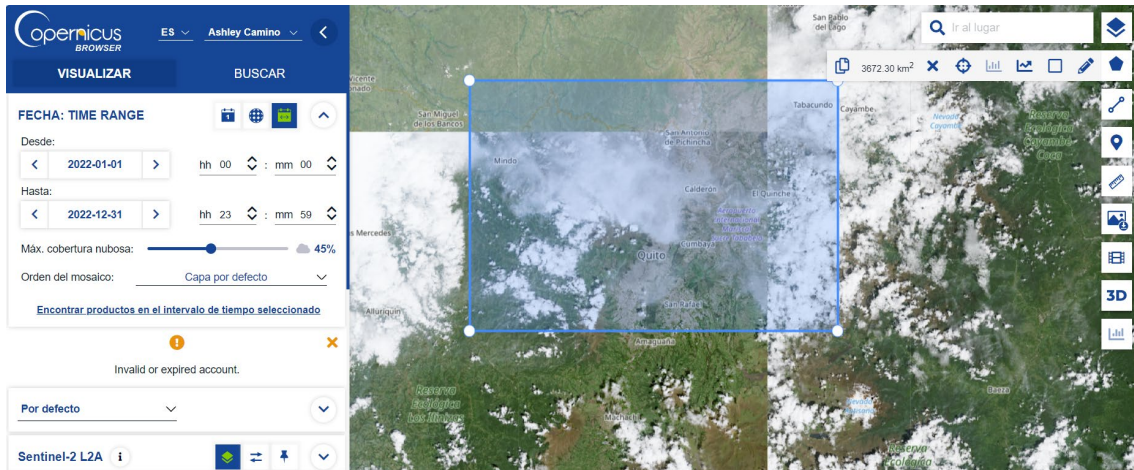


Figura 15 Selección de la configuración para descarga de las imágenes Sentinel 2-L2A.

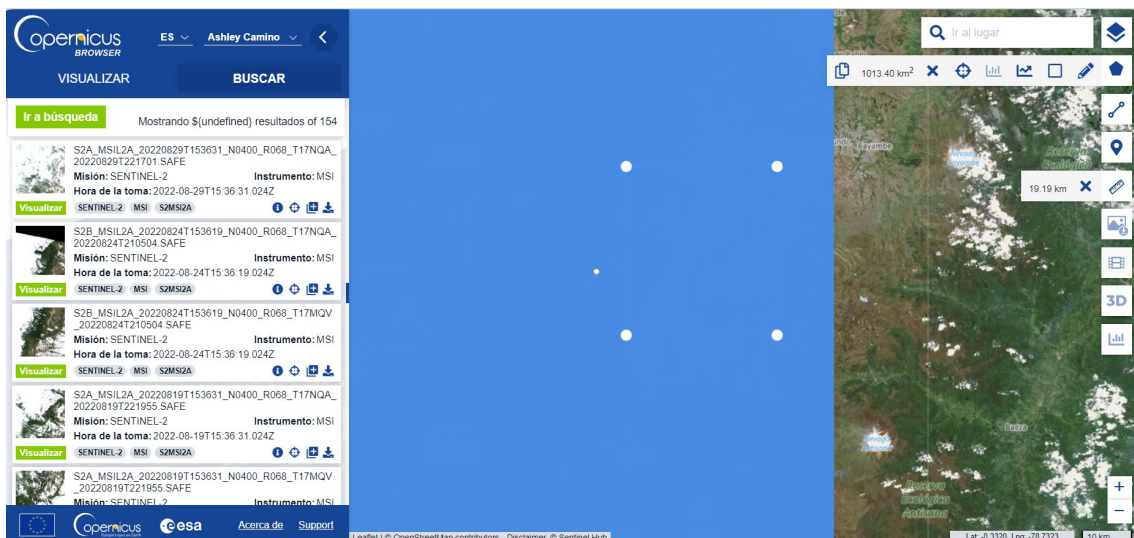


Figura 16 Resultados de las imágenes Sentinel 2-L2A.

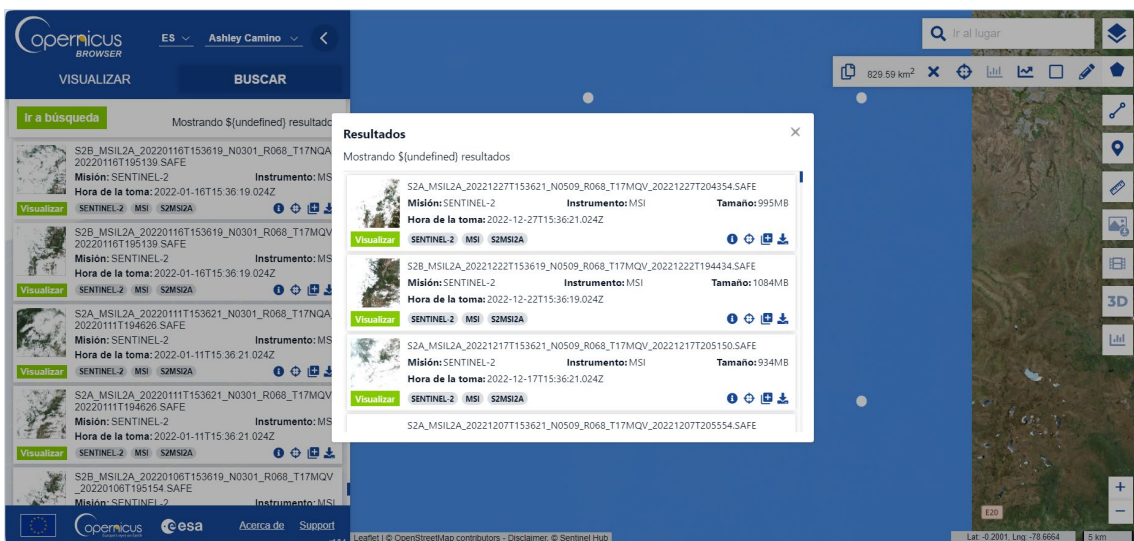


Figura 17 Selección del dominio.

De la figura 18 a la figura 20, puede observarse el proceso para la descarga individual de las imágenes satelitales, únicamente, en formato “.xml”.

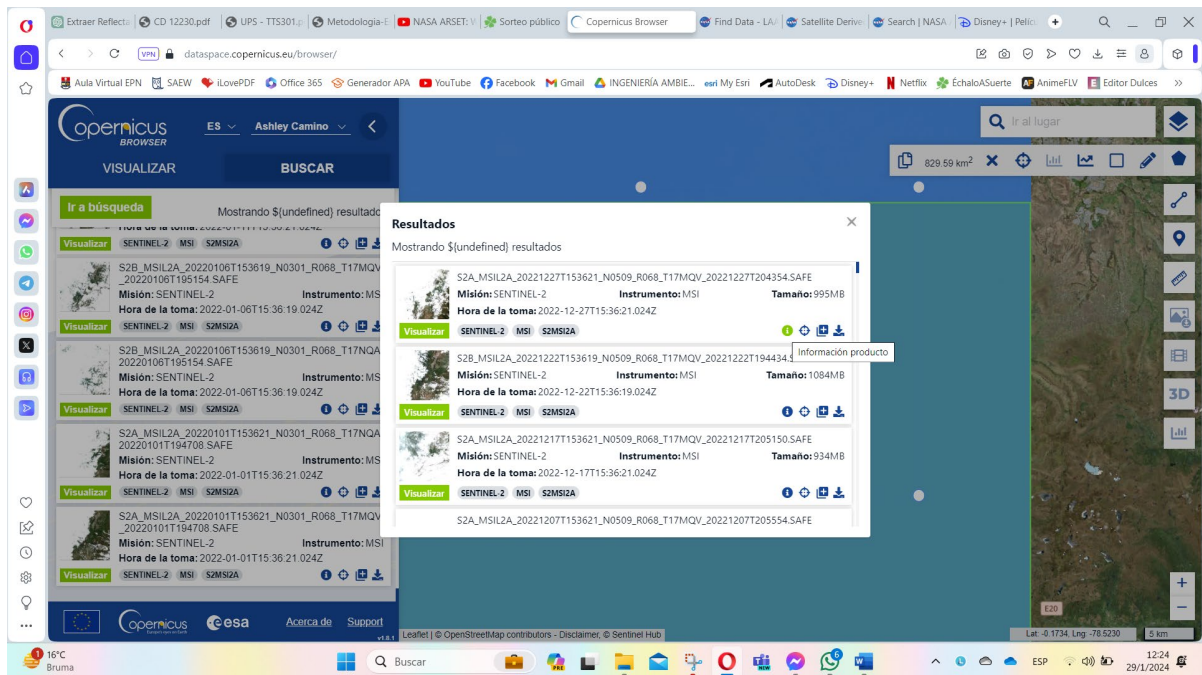


Figura 18 Visualización de la información de la imagen satelital.

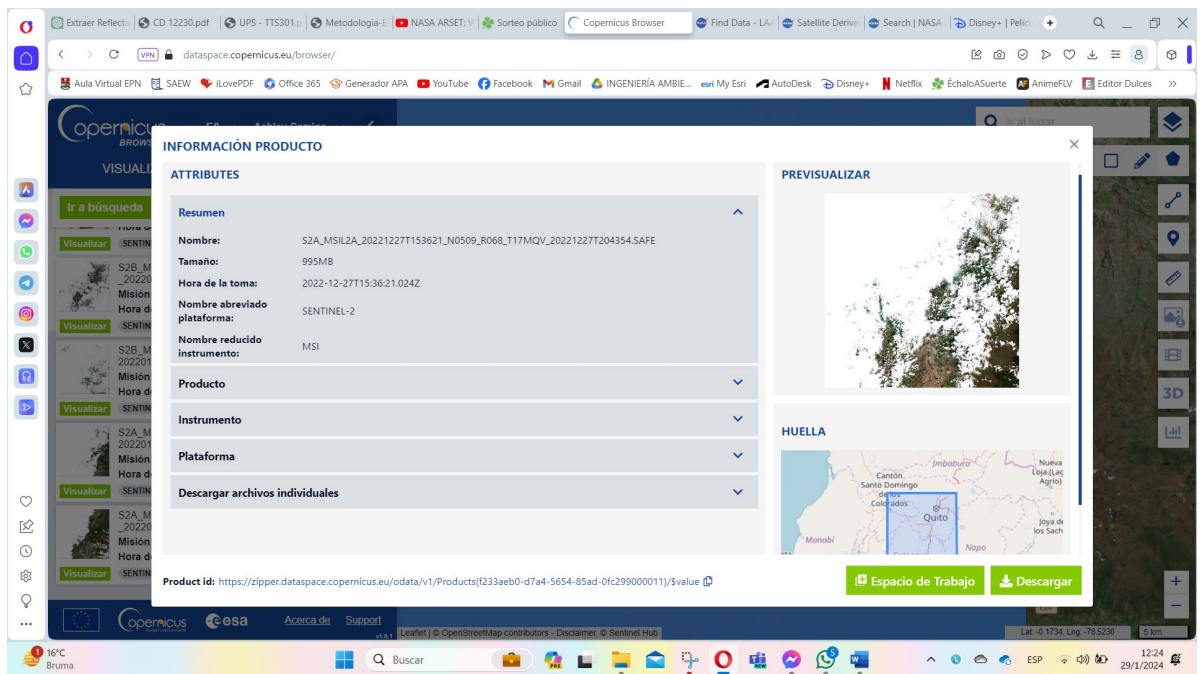


Figura 19 Visualización de los archivos individuales a descargar.

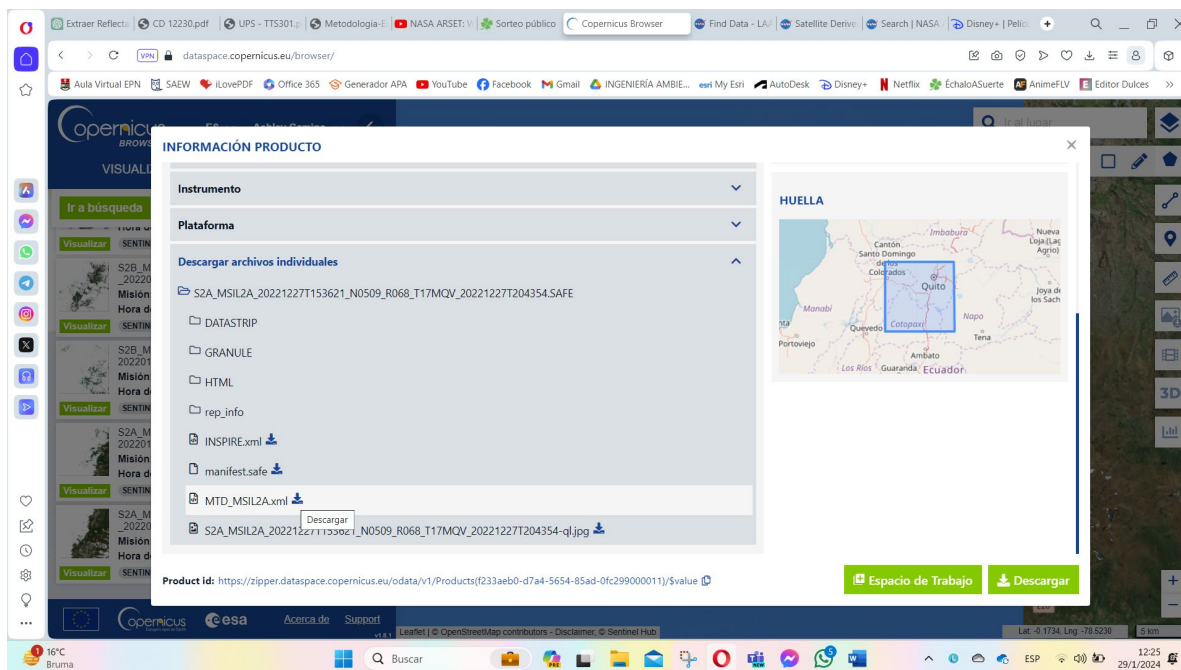


Figura 20 Descarga de los archivos individuales en formato xml requeridos.

## 2.3 Control de calidad y estadístico de la base de datos de la REMMAQ

Para el uso de los datos de calidad del aire a nivel de superficie reportados por la REMMAQ, se realiza la depuración y el procesamiento estadístico de estos, es decir, se elimina los valores negativos, se evalúa los ceros y valores fuera de rango y se valida porcentualmente si se cuenta con más del 75% de datos diarios; y, se realiza el análisis estadístico para determinar los promedios diarios. A continuación, se explica el procedimiento detalladamente:

### 2.3.1 Eliminación de valores negativos

Para la eliminación de valores negativos, se crea un libro de Excel denominado "Tabla 1 Valores negativos", como se observa en la figura 21.

FECHA UNIDAD	BELISARI	CARAPUN	CENTRO	COTOCOLL	EL CAMA	GUAMAN	LOS CHILLI	TUMBAC	CONDAD	TURUBAMI	CHILLOGAL
31/12/2018 0:00	0.67		0.71	0.68	0.87	0.35	0.54				
31/12/2018 1:00	0.66			0.51							
31/12/2018 2:00	0.59		0.34	0.38	0.22	0.32	0.52				
31/12/2018 3:00	0.39		0.26	0.49	0.23	0.31	0.53				
31/12/2018 4:00	0.32		0.3	0.51	0.28	0.34	0.53				
31/12/2018 5:00	0.32		0.39	0.37	0.34	0.34	0.53				
31/12/2018 6:00	0.37		0.62	0.56	0.72	0.39	0.6				
31/12/2018 7:00	0.41		0.47	0.55	0.54	0.39	0.69				
31/12/2018 8:00	0.43		0.36	0.6	0.5	0.41	0.65				
31/12/2018 9:00	0.45		0.3	0.37	0.35	0.37	0.43				
31/12/2018 10:00	0.41		0.25	0.36	0.37	0.33	0.32				
31/12/2018 11:00	0.39		0.26	0.34	0.37	0.33	0.39				
31/12/2018 12:00	0.36		0.27	0.3	0.34	0.35	0.42				
31/12/2018 13:00	0.33		0.27	0.3	0.3	0.36	0.39				
31/12/2018 14:00	0.32		0.25	0.29	0.27	0.32	0.38				
31/12/2018 15:00	0.33		0.27	0.3	0.25	0.31	0.4				
31/12/2018 16:00	0.37		0.27	0.35	0.27	0.33	0.42				
31/12/2018 17:00	0.5		0.34	0.39	0.31	0.36	0.44				
31/12/2018 18:00	0.54		0.38	0.43	0.34	0.47	0.47				
31/12/2018 19:00	0.59		0.36	0.65	0.28	0.54	0.51				
31/12/2018 20:00	0.61		0.32	0.68	0.39	0.53	0.56				
31/12/2018 21:00	0.58		0.44	0.68	0.43	0.57	0.68				
31/12/2018 22:00	0.48		0.37	0.53	0.41	0.5	0.8				

Figura 21 Libro de Excel para eliminación de valores negativos.

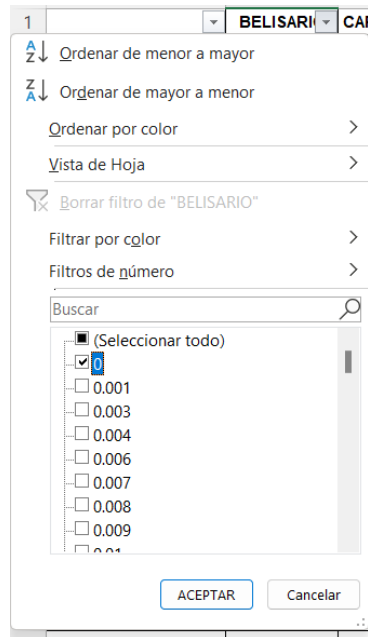
Se filtra la estación por número con la opción “Filtros por número” y “Menor que”, en este se coloca 0. Se selecciona las celdas y se las vacía, como se observa en la figura 22.

The image shows the Excel interface with the 'Filtros de número' (Number Filters) menu open. The 'Menor que...' (Less than...) option is selected. The 'Autofiltro personalizado' (Custom AutoFilter) dialog box is also visible, showing the filter criteria set to 'es menor que' (is less than) with the value '0' entered in the adjacent field.

Figura 22 Filtrado de valores negativos.

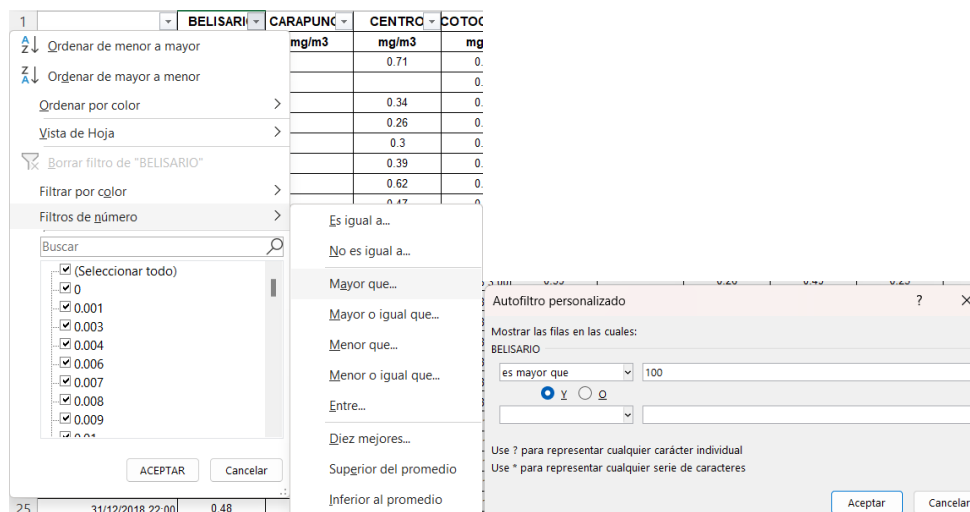
### 2.3.2 Revisión de ceros y outliers

Se crea un nuevo libro de Excel denominada “Tabla 2 Ceros y outliers”. Se filtra los valores, únicamente, iguales a 0. Se revisa cada valor igual a 0, para ello, se evalúa aquellos que están entre valores muy distantes entre sí, en horas donde existe alta concurrencia de vehículos y si existen varios ceros consecutivos, como se observa en la figura 23.



**Figura 23** Filtrado de ceros.

Para la revisión de valores fuera de rango (outliers), se filtra en función del número con la opción “mayor que” y se colocó el límite máximo permisible. Se evalúa aquellos que están entre valores muy distantes entre sí, en horas donde existe alta concurrencia de vehículos y, si al graficar la sección en revisión, se genera un pico con valores que ascienden hasta este o con valores que descienden desde este progresivamente. Para aquellos que no sobrepasan el límite, pero son picos altos, graficar todo el periodo de estudio y revisar cada caso puntualmente, como se observa en la figura 24.



**Figura 24** Filtrado de valores fuera de rango.

### 2.3.3 Validación porcentual de datos

Se crea un nuevo libro de Excel denominada “Tabla 3 Validación porcentual de datos”, se crea pestañas para cada una de los contaminantes y se pega los valores de la tabla 2. Para la validación para promedios diarios se crea una tabla dinámica con el campo “Recuento” para cada estación y se resalta los días con recuento menor a 18, es decir, menor al 75% de datos horarios y descartar aquellos días, como se observa en la figura 25.

2	Etiquetas de fila	Cuenta de SAN ANTONIO	Cuenta de NECAA (anual)	Cuenta de OMS (anual)	Cuenta de NECAA (diario)	Cuenta de OMS (diario)
3	<31/12/2018	1	1	1	1	1
4	<31/12/2018	1	1	1	1	1
5	<31/12/2018	1	1	1	1	1
6	2018	23	24	24	24	24
7	2019	8151	8760	8760	8760	8760
8	ene	665	744	744	744	744
9	1-ene	23	24	24	24	24
10	2-ene	24	24	24	24	24
11	3-ene	24	24	24	24	24
12	4-ene	24	24	24	24	24
13	5-ene	24	24	24	24	24
14	6-ene	23	24	24	24	24
15	7-ene	24	24	24	24	24
16	8-ene	20	24	24	24	24
17	9-ene	22	24	24	24	24
18	10-ene	22	24	24	24	24
19	11-ene	5	24	24	24	24
20	12-ene	10	24	24	24	24
21	13-ene	19	24	24	24	24
22	14-ene	20	24	24	24	24
23	15-ene	22	24	24	24	24
24	16-ene	23	24	24	24	24
25	17-ene	24	24	24	24	24

Figura 25 Resultado de días con datos horarios menores al 75%.

### 2.3.4 Análisis estadístico diario

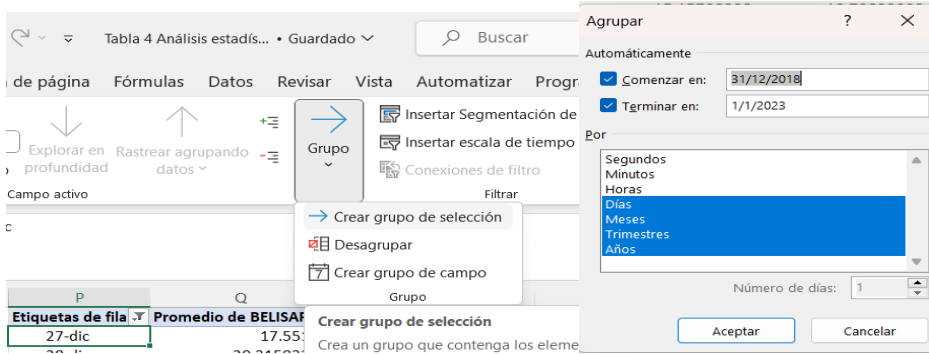
Se crea un nuevo libro de Excel denominado “Tabla 4 Análisis estadístico”, se copia y pega los valores de la Tabla 2. Se filtra en la Tabla 3 los valores resaltados y en la Tabla 4 se descarta o vacía los días que no cumplen con la validación, como se observa en la figura 26.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	FECHA/UNIDAD	BRELISARK	CARAPUNG	CENTRO	COTOCOLLI	EL CAMAL	GIAMANI	LOS CHILL	SAN ANTON	TUMBACC	NECAA (anual)	OMS (anual)	NECAA (diario)	OMS (diario)
1098	14/2/2019 15:00	9.6	11.38	19.05		9.1	21.37	9.64	6.4	4.41	15	5	50	15
1099	14/2/2019 16:00	13.65	25.99	13.01		1.22	25.8	20.92	15.5	11.6	15	5	50	15
1100	14/2/2019 17:00	11.06	17.67	13.89		8.89	15.07	19.98	6.9	12	15	5	50	15
1101	14/2/2019 18:00	9.81	13.64	23.39		15.95	22.29	18.51	3.4	16.73	15	5	50	15
1102	14/2/2019 19:00	17.06	5.76	13.14		7.2	18.86	18.26	6.1	12.6	15	5	50	15
1103	14/2/2019 20:00	16.51	10.98	13.2		1.11	20.85	21.07	10.5	10.98	15	5	50	15
1104	14/2/2019 21:00	4.78	4.77	12.98		13.02	16.74	15.48	6	11.17	15	5	50	15
1105	14/2/2019 22:00	7.33	11.85	14.06		9.87	17.99	8.23	11.1	16.77	15	5	50	15
1106	14/2/2019 23:00	7.39	19.38	6.35		22.58	17.18	12.41	9.1	10.23	15	5	50	15
1107	15/2/2019 0:00	14.94	30.46	9.9		32.97	18.82	13.01	12.4	9.11	15	5	50	15
1108	15/2/2019 1:00	6.52	24.45	9.57		22.02	0.19	13.18	6.9	15.67	15	5	50	15
1109	15/2/2019 2:00	8.44	18.43	7.84		10.25	4.11	10.74	6.2	10.48	15	5	50	15
1110	15/2/2019 3:00	12.78	11.56	8.8		9.63	5.6	16.72	2.4	25.54	15	5	50	15
1111	15/2/2019 4:00	7.5	20.24	6.73		34.83	12.78	15.24	12.7	16.48	15	5	50	15
1112	15/2/2019 5:00	15.07	35.5	17.38		4.09	9.97	12.14	20.2	12.31	15	5	50	15
1113	15/2/2019 6:00	17.07	75.97	23.9		21.4	16.11	23.04	47.7	12.04	15	5	50	15
1114	15/2/2019 7:00	14.8	88.36	38.32		28.61	7.91	14.74	35.8	25.03	15	5	50	15
1115	15/2/2019 8:00	45.18	31.53	51.28		40.88	8.26	21.2	24.3	24.06	15	5	50	15
1116	15/2/2019 9:00	34.66	28.09	24.18		49.87	10.29	10.44	19.4	11.6	15	5	50	15
1117	15/2/2019 10:00	28.1	22.74	30.07		34.92	11.93	14.81	28.1	5.87	15	5	50	15
1118	15/2/2019 11:00	36.65	21.13			47.36	20.8	18.02	21.3	9.62	15	5	50	15
1119	15/2/2019 12:00	22.97	23.46			44.68	23.03	15.33	17.4	27.32	15	5	50	15
1120	15/2/2019 13:00	27.47	20.97			22.49	25.99	14.54	16.4	17.09	15	5	50	15
1121	15/2/2019 14:00	22.09	27.81			63.78	32.34	29.93	13	25.41	15	5	50	15
1122	15/2/2019 15:00	20.49	22.58	15.68		32.45	37.55	18.66	11.7	13.94	15	5	50	15
1123	15/2/2019 16:00	25.52	20.63	15.33		25.07	15.27	19.5	16.8	10.06	15	5	50	15

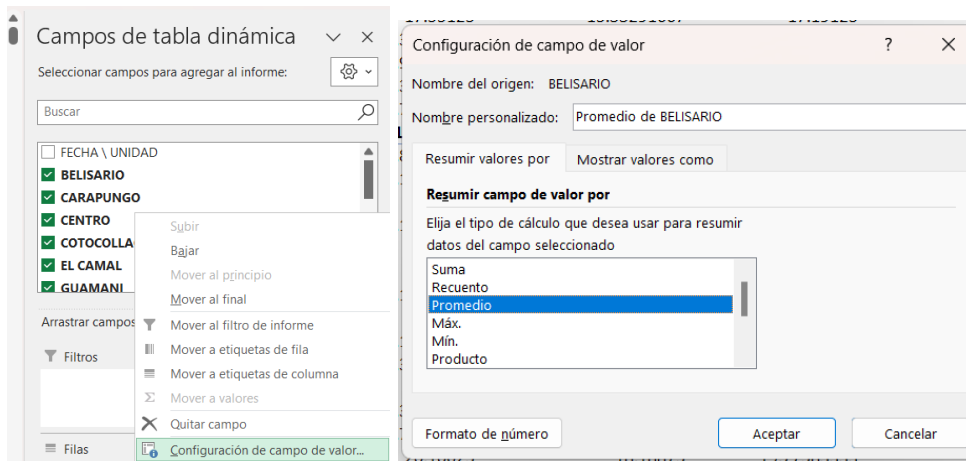


**Figura 26** Descartado de días con valores horarios menor al 75%.

Para el post-procesamiento, se creó una tabla dinámica, se agrupó la fecha por días y se seleccionó el campo "Promedio", como se observa en las figuras 27, 28 y 29.



**Figura 27** Elaboración de tabla dinámica agrupando los valores por día.



**Figura 28** Determinación del promedio diario.

	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
Etiquetas de fila	Promedio de BELISARIO	Promedio de CARAPUNGO	Promedio de CENTRO	Promedio de COTOCOLLAO	Promedio de EL CAMAL	Promedio de GUAMANI	Promedio de LOS CHILLOS	Promedio de TUMBACO	Promedio de SAN ANTONIO	
27-dic	17.55125	15.33291667	17.19125	14.46291667	25.06208333	18.91208333	13.43	11.37416667	13.30909091	
28-dic	20.31583333	15.15708333	18.79833333	14.82	26.91	22.69125	15.0925	13.24583333	11.92380952	
29-dic	16.95583333	14.14166667	16.44916667	13.47375	20.61041667	21.65125	16.84055556	10.865	16.81363636	
30-dic	19.35416667	17.88166667	19.47833333	17.49791667	24.19541667	21.53041667	16.05625	12.88173913	14.29047619	
31-dic	17.72483333	20.27416667	16.81516667	18.38166667	21.42375	21.9475	6.265	16.49375	22.4225	
<b>2022</b>	<b>17.601785</b>	<b>14.35974936</b>	<b>17.5931237</b>	<b>15.97564423</b>	<b>20.60811483</b>	<b>18.68166256</b>	<b>15.30488606</b>	<b>14.24058307</b>	<b>15.14953412</b>	
1-ene	23.83208333	30.15173913	23.01	29.20083333	34.05541667	45.97416667	21.02125	19.61304348		
2-ene	15.10166667	13.81391304	8.317857143	15.35541667	17.02166667	15.0925	10.36291667	13.2		
3-ene	16.20625	14.01833333	14.03625	17.36333333	22.97608696	18.13416667	16.95133333	14.97083333	17.29166667	
4-ene	17.17208333	13.59791667	18.49291667	14.79291667	26.28625	20.61	14.66791667	11.30016667	17.5	
5-ene	9.94125			9.76125	15.45130435	12.77541667	8.802083333	6.245416667	9.868181818	
6-ene	18.365			17.23583333	18.92541667	19.72416667	18.45416667	14.3375	16.9826087	
7-ene	20.16458333			17.76125	25.13642857	20.05125	18.30666667	14.95958333	16.45833333	
8-ene	17.01875			17.47208333	22.48625	22.48625	14.28833333	14.21333333	14.97083333	
9-ene	15.18916667			13.77791667	20.88791667	20.61	15.84958333	14.36291667	13.61818182	
10-ene	10.35583333	6.651666667	8.231666667	8.745416667	13.620625	12.875	7.867916667	6.221666667	8.217391304	
11-ene	15.7275	14.18416667	16.68125	13.23958333	21.66291667	20.7375	9.862105263	11.24416667	15.23913043	
12-ene	14.31083333	10.46125	13.40916667	10.36125	16.64875	17.60166667	11.3925	8.0475	14.8	
13-ene	11.77208333	8.625833333	9.673333333	7.570416667	13.25333333	16.10125	9.832916667	6.054166667	6.718181818	
14-ene	20.10625	18.18875	19.77583333	15.03958333	22.20666667	19.88375	20.30916667	16.49708333	12.11304348	
15-ene	20.32958333	21.03875	19.6575	20.88791667	20.57083333	20.64375	20.37791667	18.59541667	18.33333333	
16-ene	20.15625	23.70375	18.49958333	23.49041667	21.73	15.95791667	15.28	16.60375	17.4	
17-ene	21.05416667	18.60833333	21.77166667	21.00583333	25.52916667	20.64041667	19.55733333	16.08458333	21.40434783	
18-ene	18.16208333	19.0325	11.825	16.61708333	23.78086957	18.45208333	15.49541667	16.46541667	17.55416667	
19-ene	13.1775	14.93875	13.46958333	15.5575	18.38916667	15.19958333	15.35583333	11.97708333	12.83333333	
20-ene	9.1525	13.67958333	12.37666667	11.1575	15.87125	11.68333333	13.39083333	10.17625	15.87916667	

**Figura 29** Promedio diario de PM<sub>2.5</sub> para el año 2022.

## 2.4 Procesamiento de las imágenes del satélite MODIS

Para el procesamiento de las imágenes del producto MOD04\_3K del satélite MODIS, se visualiza la estructura del archivo HDF con el software Panoply, como se muestra en la figura 30, para seleccionar la capa de valores de aerosoles para la extracción del Espesor Óptico de Aerosoles, tomándose la capa llamada "Corrected\_Optical\_Depth\_Land" con un factor de escala igual a 0.001.

The screenshot shows the Panoply interface with a list of datasets on the left and a variable details panel on the right. The variable 'Corrected\_Optical\_Depth\_Land' is selected, and its details are shown in the right panel.

Name	Long Name	Type
MOD04_3K.A2022001.1510.061.2022002015253.hdf	MODIS HDF File Specification MOD04_L12: MODIS Level 2 Aerosol ...	Local File
mod04	mod04	—
Data_Fields	Data_Fields	—
Aerosol_Cloud_Fraction_Land	Cloud fraction from Land aerosol cloud mask from retrieved and...	Geo2D
Aerosol_Cloud_Fraction_Ocean	Cloud fraction from Land aerosol cloud mask from retrieved and...	Geo2D
Aerosol_Type_Land	Aerosol Types: 1 = Continental, 2 = Moderate Absorption Fine, 3 ...	Geo2D
Angstrom_Exponent_Land	Calculated Angstrom Exponent for 0.55 vs 0.66 micron for Avera...	Geo2D
Angstrom_Exponent_Ocean	Calculated Angstrom Exponent for 0.66 vs 2.13 micron for Avera...	Geo2D
Asymmetry_Factor_Average_Ocean	Inferred Asymmetry Factor for 'average' solution at 0.47, 0.55, 0...	Geo2D
Asymmetry_Factor_Best_Ocean	Inferred Asymmetry Factor for 'best' solution at 0.47, 0.55, 0.66...	Geo2D
Backscattering_Ratio_Average_Ocean	Inferred Backscattering Ratio for 'average' solution at 0.47, 0.55...	Geo2D
Backscattering_Ratio_Best_Ocean	Inferred Backscattering Ratio for 'best' solution at 0.47, 0.55, 0.6...	Geo2D
BowTie_Flag	Panoramic bowtie detection flag: Flag = 0 indicates bowtie artifa...	Geo2D
Corrected_Optical_Depth_Land	Retrieved AOT at 0.47, 0.55, 0.66 micron	Geo2D
Corrected_Optical_Depth_Land_vav2p1	Retrieved AOT at 2.13 micron	Geo2D
Effective_Optical_Depth_Average_Ocean	Retrieved AOT for 'average' solution at 0.47, 0.55, 0.66, 0.86, 1.24...	Geo2D
Effective_Optical_Depth_Best_Ocean	Retrieved AOT for 'best' solution at 0.47, 0.55, 0.66, 0.86, 1.24, 1.6...	Geo2D
Effective_Radius_Ocean	Effective Radius at 0.55 micron for 'best' (1) and 'average' (2) so...	Geo2D
Fitting_Error_Land	Spectral Fitting error for inversion over land	Geo2D
Glint_Angle	Glint Angle	Geo2D
Image_Depth_Land_And_Ocean	AOT at 0.55 micron for both ocean (Average) and land (correcte...	Geo2D
Land_Ocean_Quality_Flag	Quality Flag for Land and ocean Aerosol retrievals 0= bad 1 = ...	Geo2D
Land_Sea_Flag	Land sea Flag (based on MOD03 Landsea mask 0 = Ocean, 1 = ...	Geo2D
Least_Squares_Error_Ocean	Residual of least squares fitting for inversion over land for best (...)	Geo2D
Mass_Concentration_Land	Estimated Column Mass (per area) using assumed mass extracti...	Geo2D
Mass_Concentration_Ocean	Estimated Column Mass (per area) using assumed mass extracti...	Geo2D
Mean_Reflectance_Land	Mean reflectance of pixels used for land retrieval at 0.47, 0.55, 0...	Geo2D
Mean_Reflectance_Ocean	Mean reflectance of pixels used for ocean retrieval at 0.47, 0.55, ...	Geo2D
MODIS_Band_Land	MODIS Band Land	ID
MODIS_Band_Ocean	MODIS Band Ocean	ID
Number_Pixels_Used_Land	Number of pixels used for land retrieval at 0.47 & 0.66 microns	Geo2D
Number_Pixels_Used_Ocean	Number of pixels used for ocean retrieval at 865 nm	Geo2D

**Variable "Corrected\_Optical\_Depth\_Land"**  
In file "MOD04\_3K.A2022001.1510.061.2022002015253.hdf"  
Variable full name: mod04Data\_Fields/Corrected\_Optical\_Depth\_Land

```
short Corrected_Optical_Depth_Land(Solution_3_Land=3, Cell_Along_S...
:valid_range = -1008, 50008; // short
:_Fillvalue = -99998; // short
:_long_name = "Retrieved AOT at 0.47, 0.55, 0.66 micron";
:_add_offset = 0.0; // double
:_parameter_type = "Output";
:_cell_along_swath_sampling = 1, 676, 3; // int
:_cell_across_swath_sampling = 1, 1354, 3; // int
:_geolocation_pointer = "Internal geolocation arrays";
:_units = "None";
:_scale_factor = 0.0010000000474974513; // double
```

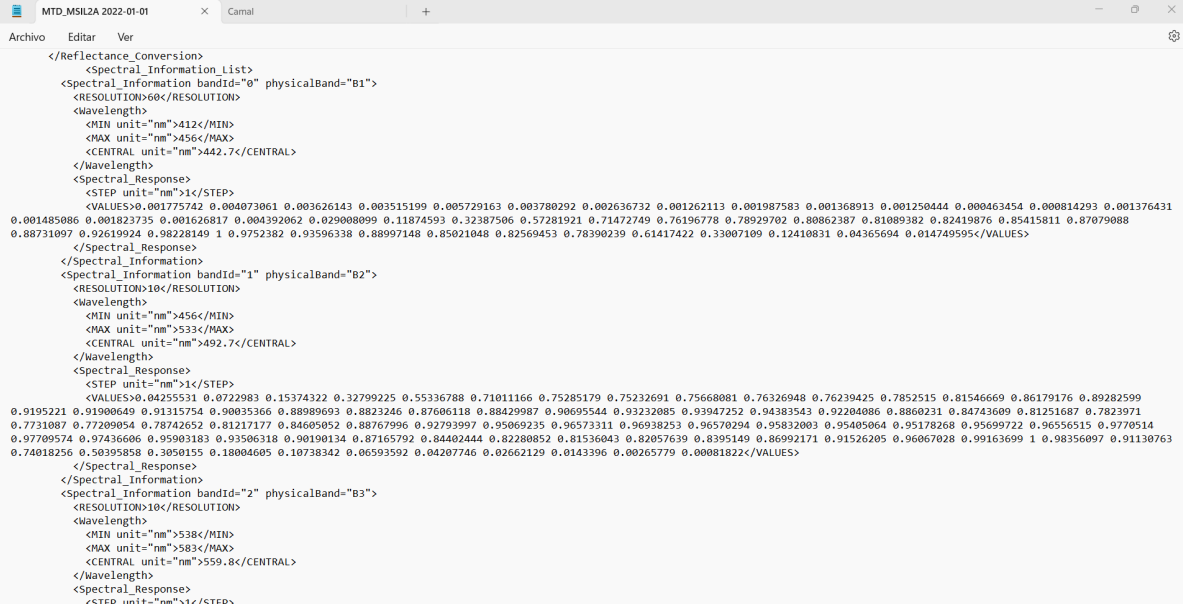
Figura 30 Visualización de un archivo HDF en el software Panoply.

Luego, se diseña un script en el software Matlab, como se muestra en el anexo III, para la extracción del valor de Espesor Óptico de Aerosoles en una coordenada específica, en este caso, las coordenadas de las estaciones de la REMMAQ, y para una fecha determinada, en este caso, el día en que se tomó la imagen satelital. Este código procesa los archivos HDF, que contienen datos de aerosoles atmosféricos, descargados del producto MOD04\_3K en el área y el periodo de estudio establecido. Primero, busca archivos HDF en la ruta especificada y extrae la variable de interés, en este caso, llamada "Corrected\_Optical\_Depth\_Land" de cada archivo, la cual corresponde al Espesor Óptico de Aerosoles o AOT (por sus siglas en inglés, Aerosol Optical Thickness) a 550 nm. Luego, convierte las coordenadas geográficas especificadas a índices de píxeles y recupera los valores correspondientes en esas coordenadas. Si las coordenadas están fuera del rango de la imagen, se calcula el promedio de los valores en un radio de 1 km alrededor de las coordenadas y el valor se multiplica por el factor de escala especificado en la estructura del archivo HDF que se visualiza con el software Panoply. Los resultados se almacenan en

una tabla y se guardan en un archivo de texto llamado con el nombre de la estación respectiva. Todo este

## 2.5 Procesamiento de las imágenes del satélite Sentinel 2

Para el procesamiento de las imágenes del producto L2A del satélite Sentinel 2, primero se visualiza la estructura del archivo XML con el Bloc de Notas, como se muestra en la figura 31, para identificar las bandas correspondientes a las bandas de reflectancia espectral en función de la longitud de onda y tomando en cuenta un factor de escala igual a 0.001.



```
MTD_MSIL2A 2022-01-01  Camal
Archivo  Editar  Ver
</Reflectance_Conversion>
  <Spectral_Information_List>
    <Spectral_Information bandId="0" physicalBand="B1">
      <RESOLUTION>60</RESOLUTION>
      <Wavelength>
        <MIN unit="nm">412</MIN>
        <MAX unit="nm">456</MAX>
        <CENTRAL unit="nm">442.7</CENTRAL>
      </Wavelength>
      <Spectral_Response>
        <STEP unit="nm">1</STEP>
        <VALUES>0.00175742 0.004073061 0.003626143 0.003515199 0.005729163 0.003780292 0.002636732 0.001262113 0.001987583 0.001368913 0.001250444 0.000463454 0.000814293 0.001376431
0.001485086 0.001823735 0.001626817 0.004392062 0.029008099 0.11874593 0.32387506 0.57281921 0.71472749 0.76196778 0.78929702 0.80862387 0.81089382 0.82419876 0.85415811 0.87079088
0.88731097 0.92619924 0.98228149 1 0.9752382 0.93596338 0.88997148 0.85021048 0.82569453 0.78390239 0.61417422 0.33007109 0.12410831 0.04365694 0.014749595</VALUES>
      </Spectral_Response>
    </Spectral_Information>
    <Spectral_Information bandId="1" physicalBand="B2">
      <RESOLUTION>10</RESOLUTION>
      <Wavelength>
        <MIN unit="nm">456</MIN>
        <MAX unit="nm">533</MAX>
        <CENTRAL unit="nm">492.7</CENTRAL>
      </Wavelength>
      <Spectral_Response>
        <STEP unit="nm">1</STEP>
        <VALUES>0.04255531 0.072983 0.15374322 0.32799225 0.55336788 0.71011166 0.75285179 0.75232691 0.75668081 0.76326948 0.76239425 0.7852515 0.81546669 0.86179176 0.89282599
0.9195221 0.91900649 0.91315754 0.90035366 0.88989693 0.8823246 0.87606118 0.88429987 0.90695544 0.93232085 0.93947252 0.94383543 0.92204086 0.8860231 0.84743609 0.81251687 0.7823971
0.7731087 0.77209054 0.78742652 0.81217177 0.84605052 0.88767996 0.92793997 0.95069235 0.96573311 0.96938253 0.96570294 0.95832003 0.95405064 0.95178268 0.95699722 0.96556515 0.9770514
0.97709574 0.97436606 0.95903183 0.93506318 0.90190134 0.87165792 0.84402444 0.82280852 0.81536043 0.82057639 0.8395149 0.86992171 0.91526205 0.96067028 0.99163699 1 0.98356097 0.91130763
0.74018256 0.50395858 0.3050155 0.18004605 0.10738342 0.06593592 0.04207746 0.02662129 0.0143396 0.00265779 0.00081822</VALUES>
      </Spectral_Response>
    </Spectral_Information>
    <Spectral_Information bandId="2" physicalBand="B3">
      <RESOLUTION>10</RESOLUTION>
      <Wavelength>
        <MIN unit="nm">538</MIN>
        <MAX unit="nm">583</MAX>
        <CENTRAL unit="nm">559.8</CENTRAL>
      </Wavelength>
      <Spectral_Response>
        <STEP unit="nm">1</STEP>
```

Figura 31 Visualización de un archivo XML con el Bloc de Notas.

Luego, se crea un script en el software RStudio para la extracción de las bandas azul, verde, roja y NIR (bandas de reflectancia espectral), el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada o NDVI (por sus siglas en inglés, Normalized Difference Vegetation Index), el cálculo del Espesor Óptico de Aerosoles mediante el algoritmo Dark Target, que se basa en la estimación de AOT a partir de operaciones matriciales parametrizadas entre bandas espectrales y el NDVI (siendo una combinación lineal de las bandas azul, verde y roja, normalizadas por la banda verde, y ajustada por el índice de vegetación NDVI, el coeficiente a y b representan los pesos dados a las combinaciones de bandas azul y roja, respectivamente) y, la creación de un ráster del AOT en formato ".tiff" para una fecha determinada. Todo eso se muestra en el anexo IV.

Este código procesó los archivos XML, que contienen información espectral de imágenes satelitales del sensor SENTINEL 2. Primero, define una función para extraer los valores de

respuesta espectral de diferentes bandas específicas del archivo XML, en este caso, las bandas 2, 3, 4 y 8. Luego, itera sobre cada archivo XML en la carpeta especificada, extrayendo los valores de respuesta espectral para las bandas azul, verde, roja y NIR (infrarrojo cercano). Después, ajusta la longitud de los vectores de respuesta espectral al máximo encontrado entre todas las bandas. A continuación, calcula el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Espesor Óptico de Aerosoles utilizando el algoritmo Dark Target, con parámetros predefinidos. Finalmente, convierte los resultados en objetos ráster y exporta cada resultado como un archivo GeoTIFF en la carpeta de salida especificada.

Posteriormente, este archivo GeoTIFF se utiliza un script de Matlab, como se muestra en el anexo V, para la extracción del valor de Espesor Óptico de Aerosoles en una coordenada específica, en este caso, las coordenadas de las estaciones de la REMMAQ, y para una fecha determinada, en este caso, el día en que se tomó la imagen satelital, al igual que se realizó con las imágenes del satélite MODIS. Este código procesa archivos ráster en formato TIFF provenientes del satélite Sentinel-2. Primero, busca los archivos TIFF en la ruta especificada y obtiene su lista. Luego, itera sobre cada archivo, abriéndolo y extrayendo el valor del píxel correspondiente a las coordenadas geográficas especificadas. Si las coordenadas están dentro del rango de la imagen, se extrae el valor directamente, caso contrario, se calcula el promedio de los valores de los píxeles circundantes dentro de un radio de 1 km. Los resultados se almacenan en una tabla y se guardan en un archivo de texto denominado con el nombre de la estación respectiva. Todo este procesamiento nos proporciona el AOT diario.

## **2.6 Creación de Datasets**

Luego de obtener los valores de Espesor Óptico de Aerosoles de cada imagen satelital, tanto de MODIS como de Sentinel 2, para cada estación y para cada día del periodo de estudio, se procede a depurar los resultados teniendo en cuenta que los valores del AOT se encuentran entre 0 y 1 y que pudieron verse afectados por la nubosidad y/o la ausencia de datos para la zona y periodo de estudio.

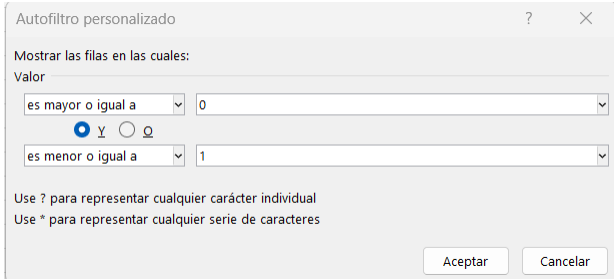
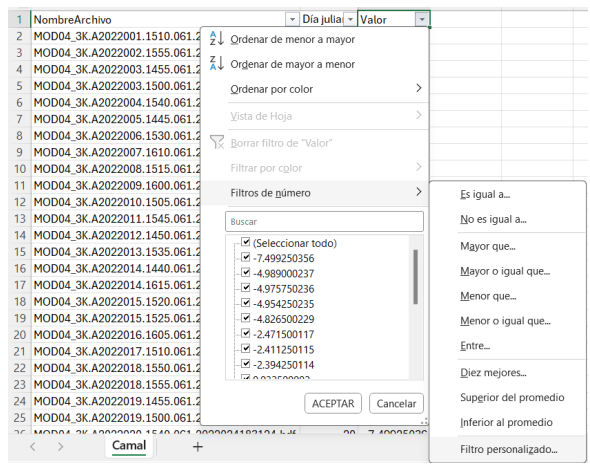
En el caso de los resultados con el satélite MODIS, se visualiza y revisa los archivos de texto, se abre dicho archivo con un libro de Excel y se extrae el día juliano descrito en el formato del nombre del archivo de salida de cada imagen satelital con la siguiente fórmula: =VALOR(EXTRAE(celda con el nombre del archivo; ENCONTRAR("2022"; celda con el nombre del archivo) + 4; 3)), como se muestra en la figura 32.

NombreArchivo	Día juliano	Valor
MOD04_3K.A2022001.1510.061.2022002015253.hdf	=VALOR(EXTRAE(A2; ENCONTRAR("2022";A2) + 4; 3))	
MOD04_3K.A2022002.1555.061.2022003014427.hdf	3	-7.49925036
MOD04_3K.A2022003.1455.061.2022004023015.hdf	3	-7.49925036
MOD04_3K.A2022003.1500.061.2022004022923.hdf	3	-7.49925036
MOD04_3K.A2022004.1540.061.2022005014930.hdf	4	-4.98900024
MOD04_3K.A2022005.1445.061.2022006014934.hdf	5	-7.49925036
MOD04_3K.A2022006.1530.061.2022007013945.hdf	6	-7.49925036
MOD04_3K.A2022007.1610.061.2022008014958.hdf	7	-7.49925036
MOD04_3K.A2022008.1515.061.2022009013912.hdf	8	-7.49925036
MOD04_3K.A2022009.1600.061.2022010015205.hdf	9	-7.49925036
MOD04_3K.A2022010.1505.061.2022011021213.hdf	10	-7.49925036
MOD04_3K.A2022011.1545.061.2022012051418.hdf	11	-7.49925036
MOD04_3K.A2022012.1450.061.2022014151510.hdf	12	-7.49925036
MOD04_3K.A2022013.1535.061.2022018152030.hdf	13	-7.49925036
MOD04_3K.A2022014.1440.061.2022018162025.hdf	14	-7.49925036
MOD04_3K.A2022014.1615.061.2022018161831.hdf	14	-7.49925036
MOD04_3K.A2022015.1520.061.2022018173133.hdf	15	-7.49925036
MOD04_3K.A2022015.1525.061.2022018173145.hdf	15	-7.49925036
MOD04_3K.A2022016.1605.061.2022018162754.hdf	16	-7.49925036
MOD04_3K.A2022017.1510.061.2022018171302.hdf	17	-7.49925036
MOD04_3K.A2022018.1550.061.2022019022810.hdf	18	0.0325
MOD04_3K.A2022018.1555.061.2022019022737.hdf	18	-7.49925036
MOD04_3K.A2022019.1455.061.2022024185256.hdf	19	-7.49925036
MOD04_3K.A2022019.1500.061.2022024185237.hdf	19	-7.49925036

**Figura 32** Extracción del día juliano de cada archivo de salida.

En un nuevo libro de Excel denominado “PM2.5 y AOT” se copia y pega los valores las fechas del periodo de estudio y el promedio diario de PM<sub>2.5</sub> calculados con la base de datos de la REMMAQ. Se agrega una columna para colocar el día juliano correspondiente a cada día del periodo de estudio. Luego se filtra con “Filtro personalizado” los valores mayores o igual a 0 y menores o iguales a 1, como se muestra en la figura 33.

Luego se copia y pega los días julianos resultantes del filtro de los valores de AOT, que se muestran en la figura 34, al final de la columna que se agrega con los días julianos en la base de datos tratada de la REMMAQ, se selecciona dicha columna y se aplica formato condicional seleccionando “Reglas para resaltar celdas” y “Valores duplicados”. Se filtra por color y se copia y pega los valores filtrados de AOT en una nueva columna situada a lado de las fechas de este libro de Excel denominada “AOT MODIS”, como se muestra en la figura 35.

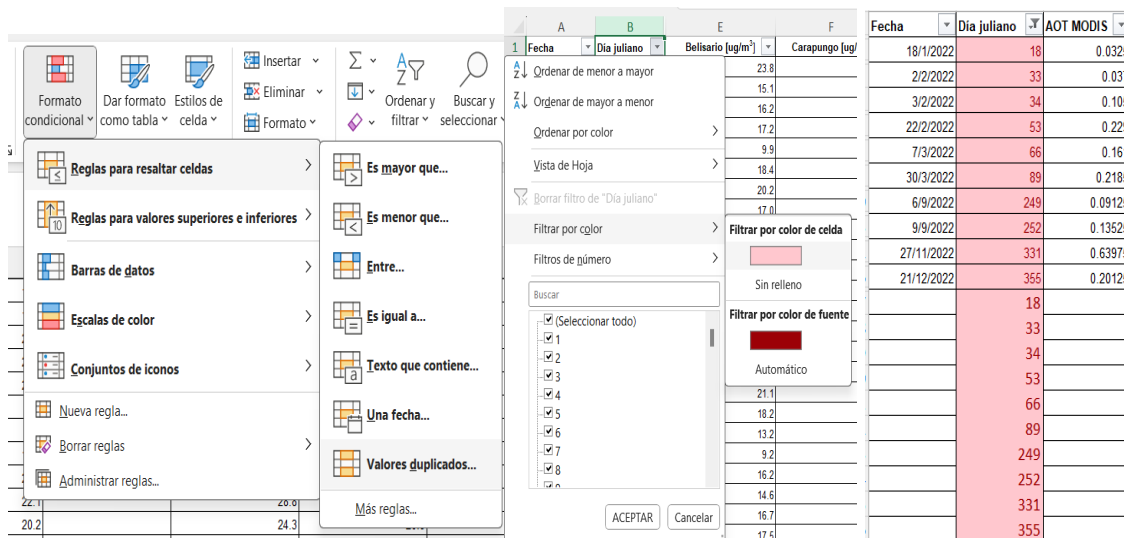


NombreArchivo	Día julia	Valor
MOD04_3K.A2022018.1550.061.2022019022810.hdf	18	0.0325
MOD04_3K.A2022033.1510.061.2022035151759.hdf	33	0.037
MOD04_3K.A2022034.1550.061.2022035162620.hdf	34	0.105
MOD04_3K.A2022053.1620.061.2022054202734.hdf	53	0.22900001
MOD04_3K.A2022066.1550.061.2022067014121.hdf	66	0.16100001
MOD04_3K.A2022089.1555.061.2022090014406.hdf	89	0.21850001
MOD04_3K.A2022249.1550.061.2022250023227.hdf	249	0.09125
MOD04_3K.A2022252.1620.061.2022258004222.hdf	252	0.13525001
MOD04_3K.A2022331.1600.061.2022332022020.hdf	331	0.63975003
MOD04_3K.A2022355.1430.061.2022356060422.hdf	355	0.20125001

Figura 33 Filtro de valores de AOT mayores o igual a cero y menores o iguales a 1.

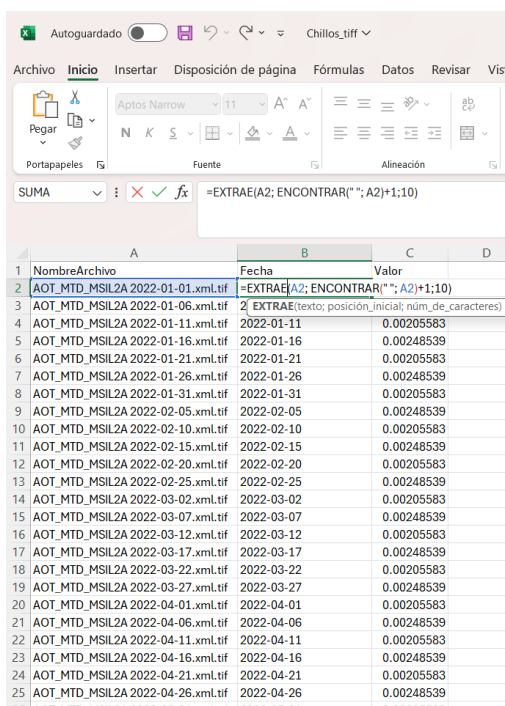
	A	B	E	F
352	17/12/2022	351	15.0	12.5
353	18/12/2022	352	14.0	10.9
354	19/12/2022	353	20.9	16.5
355	20/12/2022	354	19.6	15.5
356	21/12/2022	355	22.5	14.4
357	22/12/2022	356	19.2	17.3
358	23/12/2022	357	21.4	18.2
359	24/12/2022	358	21.7	15.8
360	25/12/2022	359	10.4	7.3
361	26/12/2022	360	12.1	12.7
362	27/12/2022	361	15.1	11.9
363	28/12/2022	362	23.8	17.4
364	29/12/2022	363	21.6	16.3
365	30/12/2022	364	21.2	16.2
366	31/12/2022	365	14.8	9.9
367		18		
368		33		
369		34		
370		53		
371		66		
372		89		
373		249		
374		252		
375		331		
376		355		

Figura 34 Días julianos resultantes del filtro pegados en el libro de Excel "PM2.5 y AOT".



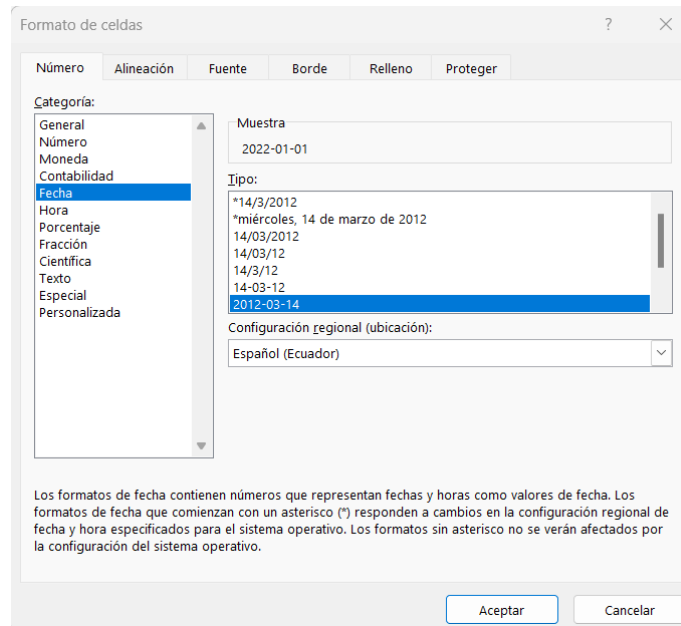
**Figura 35** Aplicación de formato condicional a los días julianos y pegado de valores de AOT.

En el caso de los resultados con el satélite Sentinel 2, se visualiza y revisa los archivos de texto, se abre dicho archivo con un libro de Excel y se extrae fecha descrita en el formato del nombre del archivo de salida de cada imagen satelital con la siguiente fórmula: =EXTRAE(celda con el nombre del archivo; ENCONTRAR(" "; celda con el nombre del archivo)+1;10), como se muestra en la figura 36.



**Figura 36** Extracción de la fecha de cada archivo de salida.

En el mismo libro de Excel denominado “PM2.5 y AOT” se cambia el formato de la fecha de acuerdo con el que se extrajo en la hoja de Excel mencionada en el párrafo anterior, como se muestra en la figura 37. Posteriormente se copia y se pega las fechas extraídas debajo de las fechas reformateadas, como se muestra en la figura 38. Se selecciona dicha columna y se aplica formato condicional seleccionando “Reglas para resaltar celdas” y “Valores duplicados”. Se filtra por color y se copia y pega los valores de AOT en una nueva columna situada alado de “AOT MODIS”, como se muestra en las figuras 39 y 40.



**Figura 37** Cambio del formato de la fecha.

2022-12-24	358		21.7
2022-12-25	359		10.4
2022-12-26	360		12.1
2022-12-27	361		15.1
2022-12-28	362		23.8
2022-12-29	363		21.6
2022-12-30	364		21.2
2022-12-31	365		14.8
2022-01-01	18		
2022-01-06	33		
2022-01-11	34		
2022-01-16	53		
2022-01-21	66		
2022-01-26	89		
2022-01-31	249		
2022-02-05	252		
2022-02-10	331		
2022-02-15	355		
2022-02-20			
2022-02-25			
2022-03-02			
2022-03-07			
2022-03-12			

**Figura 38** Fechas extraídas de los archivos de salida pegadas en el libro de Excel “PM2.5 y AOT”.



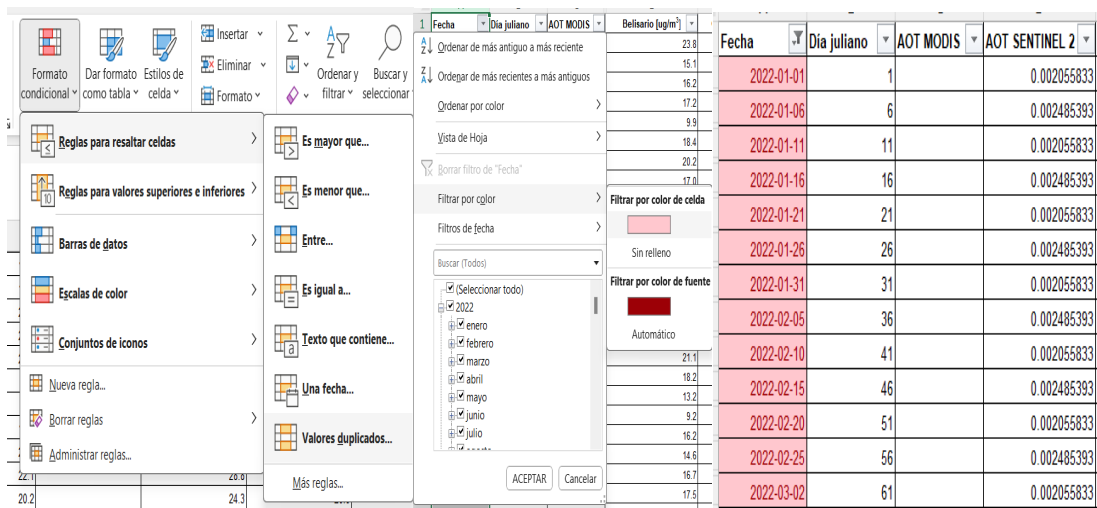


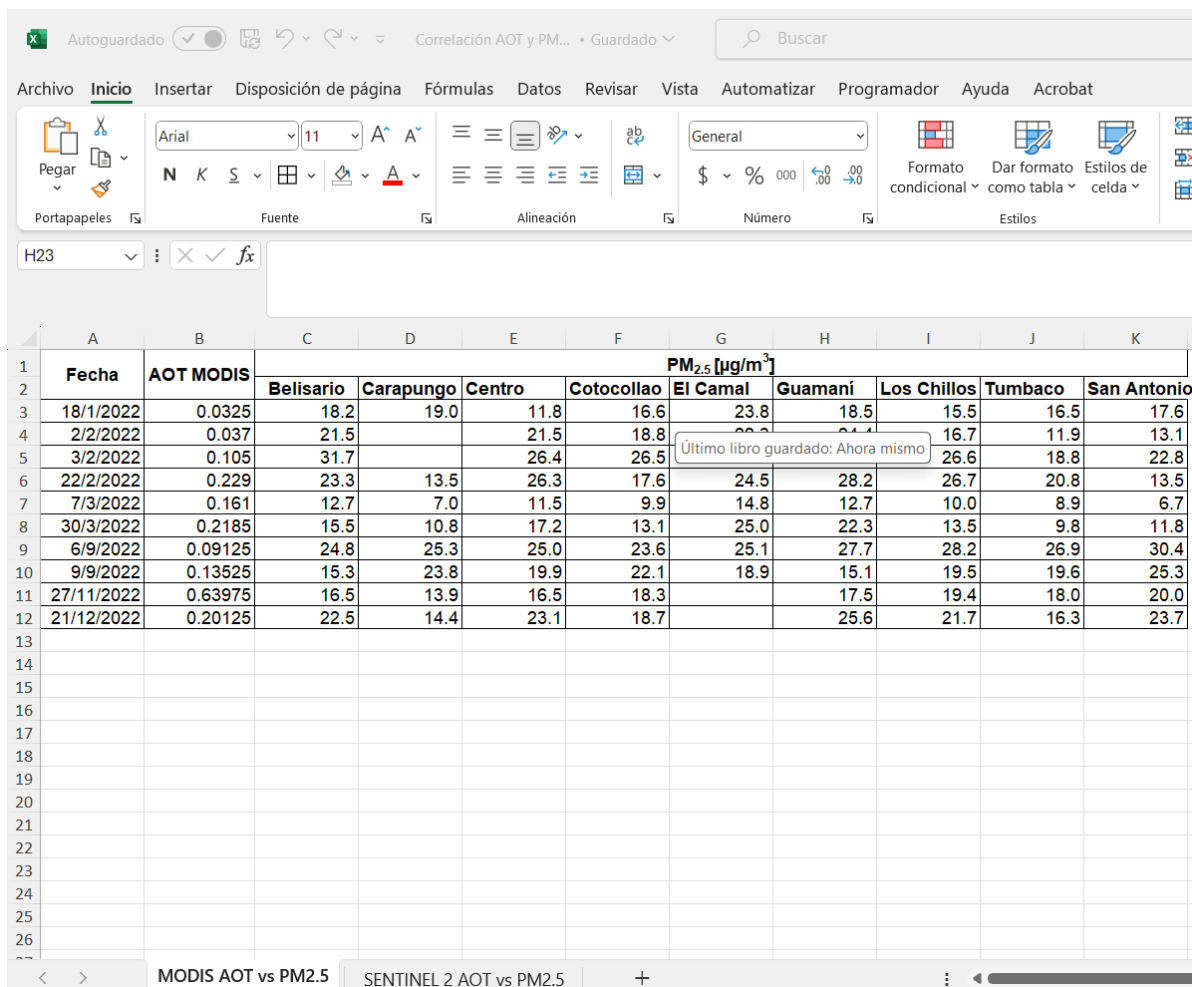
Figura 39 Aplicación de formato condicional a las fechas y pegado de valores de AOT.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Fecha	Dia juliano	AOT MODIS	AOT SENTINEL 2	Belisario [µg/m <sup>3</sup> ]	Carapungo [µg/m <sup>3</sup> ]	Centro [µg/m <sup>3</sup> ]	Cotocollao [µg/m <sup>3</sup> ]	El Camal [µg/m <sup>3</sup> ]	Guamani [µg/m <sup>3</sup> ]	Los Chillos [µg/m <sup>3</sup> ]	Tumbaco [µg/m <sup>3</sup> ]	San Anto
2022-01-01	1	0.002055833	0.002055833	23.8	30.2	23.0	29.2	34.1	46.0			21.0
2022-01-06	6	0.002485393	0.002485393	18.4	13.9	17.4	17.2	18.9	19.7	18.5		14.3
2022-01-11	11	0.002055833	0.002055833	15.7	14.2	16.7	13.2	21.7	20.7	9.9		11.2
2022-01-16	16	0.002485393	0.002485393	20.2	23.7	18.5	23.5	21.7	16.0	15.3		16.6
2022-01-21	21	0.002055833	0.002055833	16.2	16.7	16.8	16.9	17.4	20.4	14.7		11.1
2022-01-26	26	0.002485393	0.002485393	15.8		16.2	12.5	23.9	20.2	14.5		10.6
2022-01-31	31	0.002055833	0.002055833	8.3		7.1	5.7	15.4	12.4	4.9		3.1
2022-02-05	36	0.002485393	0.002485393	16.2		14.7	12.7	16.8	18.9	16.1		13.7
2022-02-10	41	0.002055833	0.002055833	11.7	7.3	12.2	9.5	16.6	15.2	10.4		6.0
2022-02-15	46	0.002485393	0.002485393	18.0		9.3	16.6	14.1	22.7	21.3		12.0
2022-02-20	51	0.002055833	0.002055833	10.3	4.9	9.4	5.8	12.7	12.6	10.0		4.9
2022-02-25	56	0.002485393	0.002485393	13.8	7.2	14.2	10.4	21.0	18.5	12.5		8.5
2022-03-02	61	0.002055833	0.002055833	12.3	6.0	12.9	8.5	19.0	16.6	10.3		6.6
2022-03-07	66	0.181	0.002485393	12.7	7.0	11.5	9.9	14.8	12.7	10.0		8.9
2022-03-12	71		0.002055833	14.2	8.8	14.1	11.2	14.6	14.3	13.3		9.3
2022-03-17	76		0.002485393	16.8	7.7	11.3	10.4	16.0	15.0	8.4		6.8
2022-03-22	81		0.002055833	20.2	15.8	21.3	19.4	24.5	24.4	16.7		14.3
2022-03-27	86		0.002485393	19.5	11.2	19.5	16.8	25.7	23.2	13.4		13.3
2022-04-01	91		0.002055833	18.2	8.0	13.5	12.2	18.3	17.9	11.3		10.2
2022-04-06	96		0.002485393	19.7	12.0	19.0	16.4	21.3	17.1	17.2		12.4
2022-04-11	101		0.002055833	14.6	9.2	13.8	13.6	17.8	14.3	11.7		9.0
2022-04-16	106		0.002485393	10.2	9.9	12.1	12.6	16.4	12.7	13.9		10.6
2022-04-21	111		0.002055833	14.9	9.0	12.1	12.9	19.5	20.0	12.1		8.9
2022-04-26	116		0.002485393	18.5	15.2	15.5	16.8	21.9	14.8	13.2		13.6

Figura 40 Dataset de PM<sub>2.5</sub> y AOT.

## 2.7 Contraste entre la información a nivel de superficie y la satelital

En un nuevo libro de Excel denominado "Correlación AOT y PM<sub>2.5</sub>" se crean dos hojas denominadas "MODIS AOT vs PM<sub>2.5</sub>" y "SENTINEL 2 AOT vs PM<sub>2.5</sub>" y en estas se copia y pega las fechas, los valores de AOT correspondientes al nombre de satélite y los valores promedios diarios de PM<sub>2.5</sub> determinados con la base de datos de la REMMAQ como se muestra en la figura 41.



**Figura 41** Organización de valores de PM<sub>2.5</sub> y AOT para contraste de la información satelital.

Luego, se procede a crear graficas de dispersión para cada una de las estaciones y se genera la línea de tendencia, en primera instancia lineal, mostrando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la ecuación, y posteriormente se prueba con las diferentes líneas de tendencia, escogiéndose como la que mejor se adapta a la distribución de los datos la tendencia polinómica de quinto y sexto grado dependiendo de la estación de estudio, en el caso de los resultados del satélite MODIS. Para los resultados del satélite Sentinel 2, debido a la naturaleza de estos, se propuso solo seleccionar la tendencia lineal, como se muestra en las figuras 42 y 43.

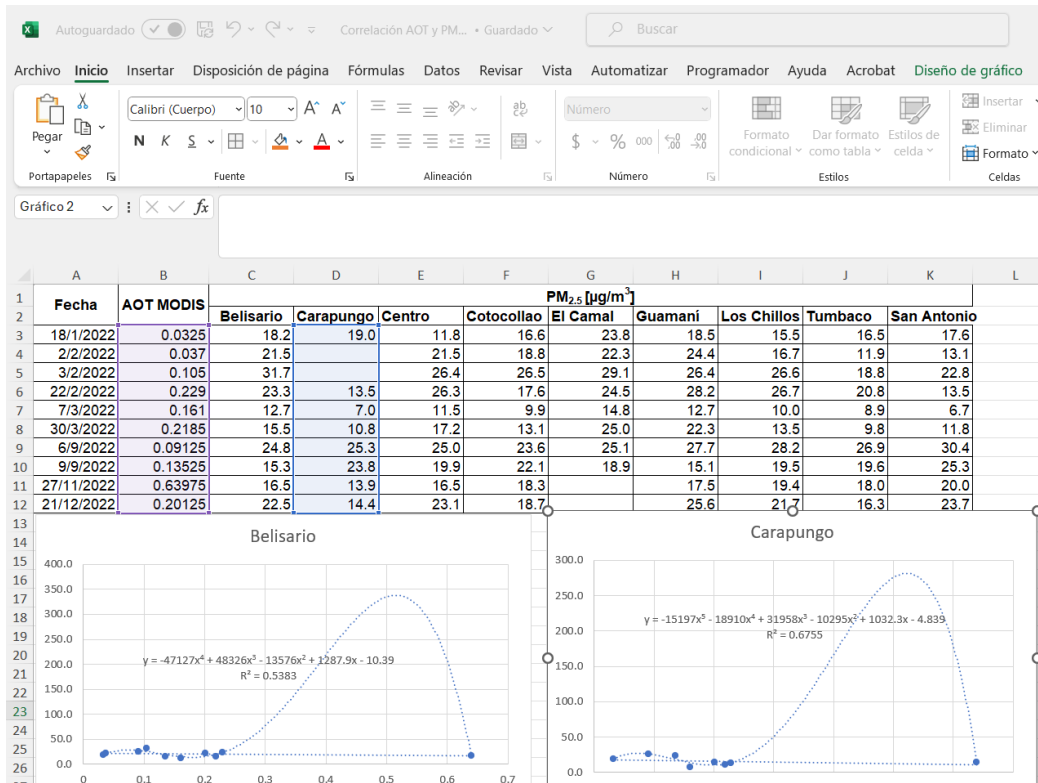


Figura 42 Líneas de tendencia para cada estación para los resultados del satélite MODIS.

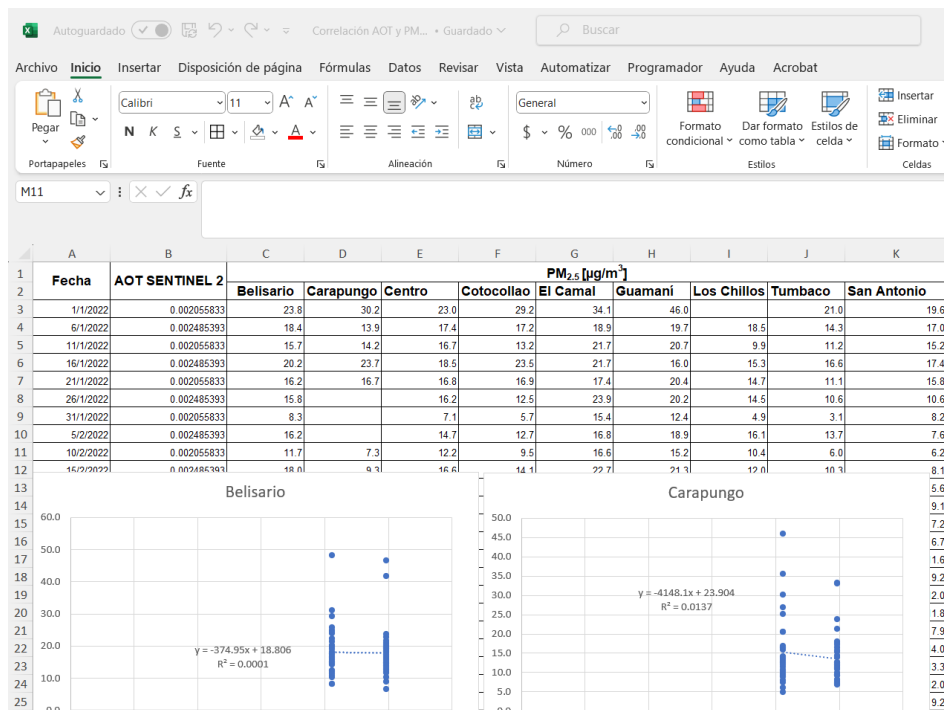


Figura 43 Líneas de tendencia para cada estación para los resultados del satélite Sentinel 2.

## 2.8 Creación de mapas

Para la creación de Mapas se crea un libro de Excel denominado “PM2.5 modelado”, en el cual, se crean 4 hojas denominadas “MODIS AOT DMQ”, “Sentinel 2 AOT DMQ”, “MODIS AOT Ecuador” y “Sentinel 2 AOT Ecuador”. En las dos primeras hojas se copia y pega la fecha, los valores de AOT respectivo y los promedios diarios de PM<sub>2.5</sub> para cada estación y se agrega 9 columnas, donde se realiza el cálculo de PM<sub>2.5</sub> en función del AOT mediante la ecuación de la regresión realizada, como se muestra en la figura 44.

Fecha	AOT MODIS	Belisario [ug/m <sup>3</sup> ]	Belisario model [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo model [ug/m <sup>3</sup> ]
2022-01-01		23.8	111.3	30.2	
2022-01-02		15.1	111.3	13.8	
2022-01-03		16.2	111.3	14.0	
2022-01-04		17.2	111.3	13.6	
2022-01-05		9.9	111.3	0.6	
2022-01-06		18.4	111.3	13.9	
2022-01-07		20.2	111.3	18.7	
2022-01-08		17.0	111.3	16.6	
2022-01-09		15.2	111.3	13.5	
2022-01-10		10.4	111.3	6.7	
2022-01-11		15.7	111.3	14.2	
2022-01-12		14.3	111.3	10.5	
2022-01-13		11.8	111.3	8.6	
2022-01-14		20.1	111.3	18.2	
2022-01-15		20.3	111.3	21.0	
2022-01-16		20.2	111.3	23.7	
2022-01-17		21.1	111.3	18.6	
2022-01-18	0.0325	18.2	19.9	19.0	
2022-01-19		13.2	111.3	14.9	
2022-01-20		9.2	111.3	13.7	
2022-01-21		16.2	111.3	16.7	
2022-01-22		14.6	111.3	12.7	
2022-01-23		16.7	111.3	16.9	
2022-01-24		17.5	111.3	16.9	

Fecha	AOT SENTINEL 2	Belisario [ug/m <sup>3</sup> ]	Belisario model [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo model [ug/m <sup>3</sup> ]
2022-01-01	0.002055833	23.8	18.0	30.2	
2022-01-02		15.1	18.8	13.8	
2022-01-03		16.2	18.8	14.0	
2022-01-04		17.2	18.8	13.6	
2022-01-05		9.9	18.8	0.6	
2022-01-06	0.002485393	18.4	17.9	13.9	
2022-01-07		20.2	18.8	18.7	
2022-01-08		17.0	18.8	16.6	
2022-01-09		15.2	18.8	13.5	
2022-01-10		10.4	18.8	6.7	
2022-01-11	0.002055833	15.7	18.0	14.2	
2022-01-12		14.3	18.8	10.5	
2022-01-13		11.8	18.8	8.6	
2022-01-14		20.1	18.8	18.2	
2022-01-15		20.3	18.8	21.0	
2022-01-16	0.002485393	20.2	17.9	23.7	
2022-01-17		21.1	18.8	18.6	
2022-01-18		18.2	18.8	19.0	
2022-01-19		13.2	18.8	14.9	
2022-01-20		9.2	18.8	13.7	
2022-01-21	0.002055833	16.2	18.0	16.7	
2022-01-22		14.6	18.8	12.7	
2022-01-23		16.7	18.8	16.9	
2022-01-24		17.5	18.8	16.9	

Figura 44 PM<sub>2.5</sub> modelado a partir del AOT respectivo para el DMQ.

En las hojas restantes se copia y pega la fecha, los valores de AOT respectivos se agrega 24 columnas correspondientes a las capitales de las 24 provincias, donde se realiza el cálculo de PM<sub>2.5</sub> en función del AOT mediante la ecuación de la estación con características climáticas mas similares a las diferentes regiones del país, en este caso, se utilizó las ecuaciones de la estación Centro para las provincias de la Sierra, de la estación Los Chillos para las provincias de la costa, de la estación Tumbaco para las provincias de la Amazonía y de la estación El Camal en el caso de MODIS y Carapungo en el caso de Sentinel 2 para el Distrito Metropolitano de Quito, debido a que, dichas estaciones disponen de los mayores coeficientes de correlación. Esto se puede observar en la figura 45.

Fecha	AOT	Guayaquil	Quito	Cuenca	Santo Dom	Machala	Portoviejo	Loja
2022-01-01		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-02		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-03		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-04		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-05		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-06		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-07		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-08		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-09		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-10		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-11		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-12		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-13		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-14		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-15		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-16		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-17		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-18	0.0325	16.482924	24.19005213	13.1008157	16.482924	16.482924	16.482924	13.1008157
2022-01-19		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-20		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-21		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-22		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-23		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74
2022-01-24		139.48	87.93	-129.74	139.48	139.48	139.48	-129.74

Fecha	AOT SENTINEL 2	Guayaquil	Quito	Cuenca	Santo Dom	Machala	Portoviejo	Loja
2022-01-01	0.002055833	14.7300333	15.3761996	17.9729073	14.7300333	14.7300333	14.7300333	17.9729073
2022-01-02		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-03		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-04		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-05		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-06	0.002485393	15.4011785	13.59434	17.6993761	15.4011785	15.4011785	15.4011785	17.6993761
2022-01-07		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-08		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-09		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-10		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-11	0.002055833	14.7300333	15.3761996	17.9729073	14.7300333	14.7300333	14.7300333	17.9729073
2022-01-12		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-13		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-14		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-15		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-16	0.002485393	15.4011785	13.59434	17.6993761	15.4011785	15.4011785	15.4011785	17.6993761
2022-01-17		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-18		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-19		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-20		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-21	0.002055833	14.7300333	15.3761996	17.9729073	14.7300333	14.7300333	14.7300333	17.9729073
2022-01-22		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-23		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282
2022-01-24		11.518	23.904	19.282	11.518	11.518	11.518	19.282

Figura 45 PM<sub>2.5</sub> modelado a partir del AOT respectivo para el Ecuador.

Luego, en cada una de las hojas, se procede a depurar los valores de PM<sub>2.5</sub> modelado, vaciando los valores negativos y valores positivos calculados sin un valor de AOT y aquellos que están fuera de rango mediante la filtración de la columna AOT con los valores vacíos y la revisión de los outliers, como se muestra en la figura 46.

Fecha	Día juliano	AOT MODIS	Belisario [ug/m³]	Belisario model [ug/m³]
2022-01-01	1		23.8	-10.4
2022-01-02	2		15.1	-10.4
2022-01-03	3		16.2	-10.4
2022-01-04	4		17.2	-10.4
2022-01-05	5		9.9	-10.4
2022-01-06	6		18.4	-10.4
2022-01-07	7		20.2	-10.4
2022-01-08	8		17.0	-10.4
2022-01-09	9		15.2	-10.4
2022-01-10	10		10.4	-10.4
2022-01-11	11		15.7	-10.4
2022-01-12	12		14.3	-10.4
2022-01-13	13		11.8	-10.4
2022-01-14	14		20.1	-10.4
2022-01-15	15		20.3	-10.4
2022-01-16	16		20.2	-10.4
2022-01-17	17		21.1	-10.4
2022-01-19	19		13.2	-10.4
2022-01-20	20		9.2	-10.4
2022-01-21	21		16.2	-10.4
2022-01-22	22		14.6	-10.4
2022-01-23	23		16.7	-10.4
2022-01-24	24		17.5	-10.4
2022-01-25	25		9.2	-10.4

**Figura 46** Filtrado de AOT vacío y vaciado de PM<sub>2.5</sub> modelado.

Después, se crea una tabla dinámica para la estimación del promedio anual, tanto del PM<sub>2.5</sub> monitoreado como modelado. Se selecciona como campos de esta tabla las fechas y los valores de PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado de cada estación y se ajusta como campo de valor, el promedio, como se muestra en la figura 47. En este caso, el valor total general en la tabla representa el promedio anual, como se muestra en la figura 48. Todo este proceso se realizó para los resultados de ambos satélites.

**Figura 47** Configuración de la tabla dinámica para la estimación del promedio anual.

Etiquetas de fila	Promedio de Belisario [ug/m3]	Promedio de Belisario model [ug/m3]
⊕ ene	14.88128254	18.73346307
⊕ feb	16.25225694	23.25331304
⊕ mar	15.10450922	17.32150751
⊕ abr	15.3538599	
⊕ may	17.38191478	
⊕ jun	14.8769686	
⊕ jul	13.46119139	
⊕ ago	30.49276966	
⊕ sep	19.50695894	23.39554101
⊕ oct	16.04274194	
⊕ nov	20.65003333	16.43713081
⊕ dic	18.38876486	15.54693614
<b>Total general</b>	<b>17.64275903</b>	<b>20.19115662</b>

**Figura 48** Estimación del promedio anual de PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado.

Posteriormente, en un nuevo libro de Excel denominado “Mapas de calidad del aire DMQ”, se copia y pega los datos de ubicación de las estaciones y los promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> monitoreados y modelados a partir de MODIS y Sentinel 2 para cada estación, de forma que, la estructura del archivo tenga cada variable mencionada en columnas y cada estación posea tres promedios anuales como se observa en la figura 49.

Estación	Código	Longitud	Latitud	Altitud	Promedio anual PM2.5 monitoreado	Promedio anual PM2.5 modelado MODIS [ug/m3]	Promedio anual PM2.5 modelado Sentinel 2 [ug/m3]
Belisario	1	-78.49	-0.18	2835	17.643	20.612	17.955
Carapungo	2	-78.447	-0.098	2660	14.327	17.076	14.485
Centro	3	-78.51	-0.22	2820	17.576	20.313	17.836
Cotocollao	4	-78.497	-0.108	2739	16.028	18.539	15.889
El Camal	5	-78.51	-0.25	2840	20.578	22.613	20.432

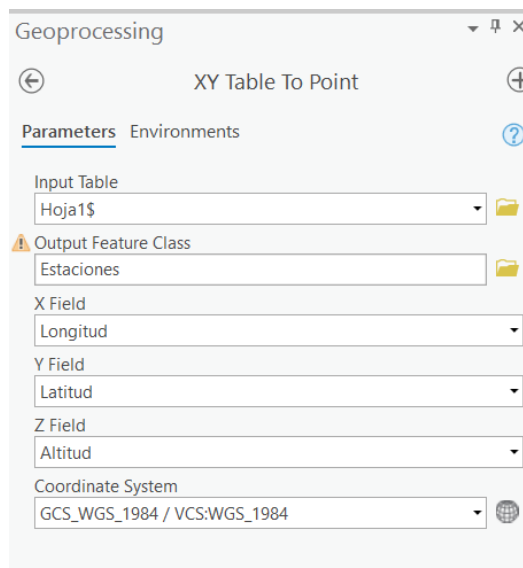
**Figura 49** Organización de variables para elaboración de mapas de calidad del aire en el DMQ.

De manera similar, en un nuevo libro de Excel denominado “Mapas de calidad del aire Ecuador”, se copia y pega los datos de ubicación de las capitales para cada una de las 24 provincias y los promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> modelados a partir de MODIS y Sentinel 2, de forma que, la estructura del archivo tenga cada variable mencionada en columnas y cada estación posea dos promedios anuales como se observa en la figura 50.

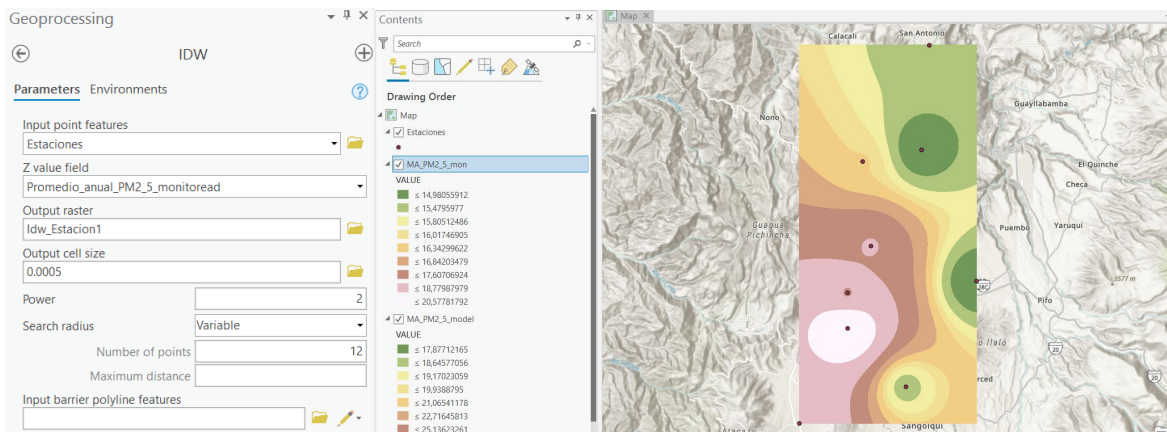
Estación	Código	Longitud	Latitud	Promedio anual PM2.5 modelado MODIS [ug/m3]	Promedio anual PM2.5 modelado Sentinel 2 [ug/m3]
Guayaquil	1	-79.8875	-2.19	19.820	15.06560591
Quito	2	-78.5125	-0.22	22.613	14.48526981
Cuenca	3	-79.0045	-2.8974	20.313	17.8361417
Santo Domingo de los Colorados	4	-79.1719	-0.2542	20.017	15.06560591
Machala	5	-79.9667	-3.2667	19.820	15.06560591
Portoviejo	6	-80.4553	-1.0561	19.820	15.06560591
Loja	7	-79.2	-3.9833	20.313	17.8361417
Ambato	8	-78.6197	-1.2417	20.313	17.8361417
Esmeraldas	9	-79.6528	0.9667	19.820	15.06560591
Riobamba	10	-78.6483	-1.6731	20.313	17.8361417
Ibarra	11	-78.1307	0.3627	20.313	17.8361417
Babahoyo	12	-79.5167	-1.8167	19.820	15.06560591
Latacunga	13	-78.6161	-0.9319	20.313	17.8361417
Tulcán	14	-77.7186	0.8117	20.313	17.8361417
Nueva Loja	15	-76.8828	0.0847	16.601	14.16180293
Puerto Francisco de Orellana	16	-76.9842	-0.4625	16.601	14.16180293

**Figura 50** Organización de variables para elaboración de mapas.

Finalmente, en el software ArcGIS, se procede a elaborar los mapas para los promedios anuales de  $PM_{2.5}$  monitoreados. Para ello, en la interfaz de ArcGIS, se dirige a “Analysis”, “Tools”, se busca “XY Table to Point” y se completa los campos con las especificaciones mostrada en la figura 51 y se busca la herramienta “IDW” para realizar la interpolación colocando las especificaciones mostradas en la figura 52. Para culminar, se realiza un Layout, en el cual pueden agregarse capas como el contorno de la provincia, de la zona urbana cambiar, la gama de colores del ráster según su preferencia y se coloca manualmente los rangos de la interpolación, y, para darle un aspecto estético al mapa, se puede crear un Layout donde se agregue la fecha del norte, la leyenda, la referencia espacial y el título del mapa, como se observa en la figura 53. Este proceso se repite para el promedio anual modelado a partir de MODIS y Sentinel 2 en el Distrito Metropolitano de Quito y Ecuador.

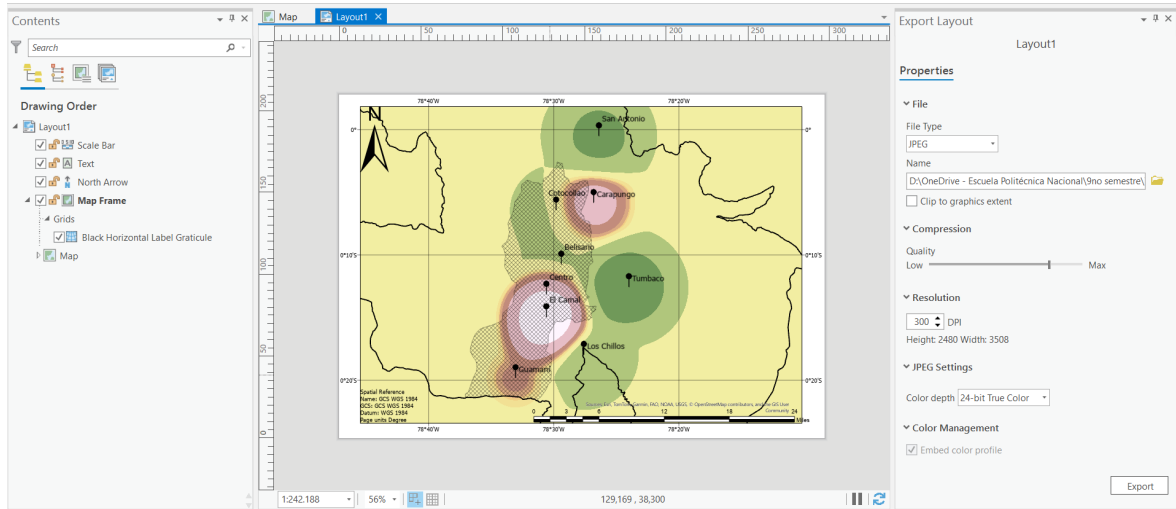


**Figura 51** Especificaciones para la herramienta “XY Table to Point”.





**Figura 52** Interpolación IDW del promedio anual de PM<sub>2.5</sub>.



**Figura 53** Layout del Mapa de Calidad del Aire en ArcGIS Pro.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

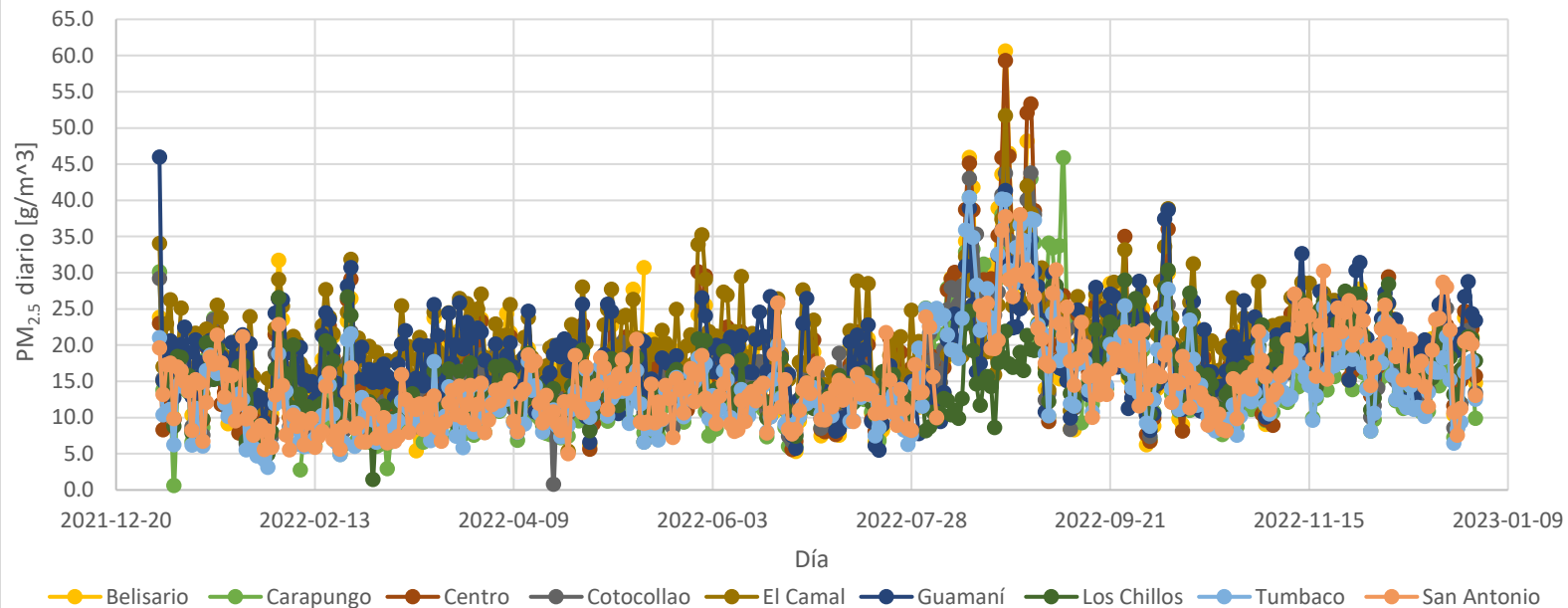
#### 3.1 Base de datos de monitoreo de PM<sub>2.5</sub> depurada y procesada

Del control de calidad y estadístico de la base de datos de la REMMAQ, es decir, de la depuración y estimación del promedio diario para cada día del periodo de estudio de cada una de 9 las estaciones se obtuvo una base de datos del promedio diario de PM<sub>2.5</sub> monitoreado. En la figura 54, se puede observar un ejemplo de estructura de la base de datos de obtenida.

	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL
1	Fecha	Belisario [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo [ug/m <sup>3</sup> ]	Centro [ug/m <sup>3</sup> ]	Cotocollao [ug/m <sup>3</sup> ]	El Camal [ug/m <sup>3</sup> ]	Guamani [ug/m <sup>3</sup> ]	Los Chillos [ug/m <sup>3</sup> ]	Tumbaco [ug/m <sup>3</sup> ]	San Antonio [ug/m <sup>3</sup> ]
.098	1/1/2022	23.8	30.2	23.0	29.2	34.1	46.0		21.0	19.6
.099	2/1/2022	15.1	13.8	8.3	15.4	17.0	15.1		10.4	13.2
.100	3/1/2022	16.2	14.0	14.0	17.4	23.0	18.1	17.0	10.9	17.3
.101	4/1/2022	17.2	13.6	18.5	14.8	26.3	20.6	14.7	11.1	17.5
.102	5/1/2022	9.9	0.6	9.7	9.8	15.5	12.8	8.8	6.2	9.9
.103	6/1/2022	18.4	13.9	17.4	17.2	18.9	19.7	18.5	14.3	17.0
.104	7/1/2022	20.2	18.7	17.9	17.8	25.1	20.1	18.3	15.0	16.5
.105	8/1/2022	17.0	16.6	16.1	17.5		22.5	14.3	14.2	15.0
.106	9/1/2022	15.2	13.5	16.4	13.8		19.0	15.8	14.4	13.6
.107	10/1/2022	10.4	6.7	8.2	8.7	13.6	12.9	7.9	6.2	8.2
.108	11/1/2022	15.7	14.2	16.7	13.2	21.7	20.7	9.9	11.2	15.2
.109	12/1/2022	14.3	10.5	13.4	10.4	16.6	17.6	11.4	8.0	14.8
.110	13/1/2022	11.8	8.6	9.7	7.6	13.3	16.1	9.8	6.1	6.7
.111	14/1/2022	20.1	18.2	19.8	15.0	22.2	19.9	20.3	16.5	12.1
.112	15/1/2022	20.3	21.0	19.7	20.9	20.6	20.6	20.4	18.6	18.3
.113	16/1/2022	20.2	23.7	18.5	23.5	21.7	16.0	15.3	16.6	17.4
.114	17/1/2022	21.1	18.6	21.8	21.0	25.5	20.6	19.6	16.1	21.4
.115	18/1/2022	18.2	19.0	11.8	16.6	23.8	18.5	15.5	16.5	17.6

**Figura 54** Ejemplo de base de datos de PM<sub>2.5</sub> monitoreado para enero de 2022.

En la figura 55, se puede observar el comportamiento del PM<sub>2.5</sub> a nivel de superficie, se registra un promedio general de 16.5 µg/m<sup>3</sup> para todas las estaciones, destacando valores máximos en enero y agosto de 46 y 60.6 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, y valores mínimos en enero y abril de 0.6 y 0.8 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 55** Comportamiento de PM<sub>2.5</sub> a nivel de superficie.

### 3.2 Imágenes satelitales

Se descargaron las imágenes de los productos MOD04\_3K y L2A correspondiente a los satélites MODIS y Sentinel 2, respectivamente, necesarias para la extracción del Espesor Óptico de Aerosoles. En las tablas 2 y 3 se puede observar ejemplos de las imágenes descargadas del satélite MODIS y Sentinel 2, respectivamente. Cabe indicar que, para el primer caso, se obtuvieron 442 archivos en formato HDF y para el segundo, se obtuvieron 70 archivos en formato XML.

**Tabla 2** Ejemplo de formato de nombre y características temporales de las imágenes MOD04\_3K para el mes de enero de 2022.

Fecha	Día juliano	Nombre imagen satelital MOD04_3K
1/1/2022	1	MOD04_3K.A2022001.1510.061.2022002015253.hdf
2/1/2022	2	MOD04_3K.A2022002.1555.061.2022003014427.hdf
3/1/2022	3	MOD04_3K.A2022003.1455.061.2022004023015.hdf
3/1/2022	3	MOD04_3K.A2022003.1500.061.2022004022923.hdf
4/1/2022	4	MOD04_3K.A2022004.1540.061.2022005014930.hdf
5/1/2022	5	MOD04_3K.A2022005.1445.061.2022006014934.hdf
6/1/2022	6	MOD04_3K.A2022006.1530.061.2022007013945.hdf

7/1/2022	7	MOD04_3K.A2022007.1610.061.2022008014958.hdf
8/1/2022	8	MOD04_3K.A2022008.1515.061.2022009013912.hdf
9/1/2022	9	MOD04_3K.A2022009.1600.061.2022010015205.hdf
10/1/2022	10	MOD04_3K.A2022010.1505.061.2022011021213.hdf
11/1/2022	11	MOD04_3K.A2022011.1545.061.2022012051418.hdf
12/1/2022	12	MOD04_3K.A2022012.1450.061.2022014151510.hdf
13/1/2022	13	MOD04_3K.A2022013.1535.061.2022018152030.hdf
14/1/2022	14	MOD04_3K.A2022014.1440.061.2022018162025.hdf
14/1/2022	14	MOD04_3K.A2022014.1615.061.2022018161831.hdf
15/1/2022	15	MOD04_3K.A2022015.1520.061.2022018173133.hdf
15/1/2022	15	MOD04_3K.A2022015.1525.061.2022018173145.hdf
16/1/2022	16	MOD04_3K.A2022016.1605.061.2022018162754.hdf
17/1/2022	17	MOD04_3K.A2022017.1510.061.20220181711302.hdf
18/1/2022	18	MOD04_3K.A2022018.1550.061.2022019022810.hdf
18/1/2022	18	MOD04_3K.A2022018.1555.061.2022019022737.hdf
19/1/2022	19	MOD04_3K.A2022019.1455.061.2022024185256.hdf
19/1/2022	19	MOD04_3K.A2022019.1500.061.2022024185237.hdf
20/1/2022	20	MOD04_3K.A2022020.1540.061.2022024183124.hdf
21/1/2022	21	MOD04_3K.A2022021.1445.061.2022024184236.hdf
22/1/2022	22	MOD04_3K.A2022022.1530.061.2022024190535.hdf
23/1/2022	23	MOD04_3K.A2022023.1610.061.2022026214938.hdf
24/1/2022	24	MOD04_3K.A2022024.1515.061.2022026215616.hdf
25/1/2022	25	MOD04_3K.A2022025.1600.061.2022026221912.hdf
26/1/2022	26	MOD04_3K.A2022026.1505.061.2022027021244.hdf
27/1/2022	27	MOD04_3K.A2022027.1545.061.2022028110920.hdf
28/1/2022	28	MOD04_3K.A2022028.1450.061.2022029020121.hdf
29/1/2022	29	MOD04_3K.A2022029.1535.061.2022030032621.hdf
30/1/2022	30	MOD04_3K.A2022030.1440.061.2022031022535.hdf
30/1/2022	30	MOD04_3K.A2022030.1615.061.2022031022621.hdf
31/1/2022	31	MOD04_3K.A2022031.1520.061.2022032032958.hdf

**Tabla 3** Resumen de formato de nombre y características temporales de las imágenes L2A para el año 2022.

<b>Fecha</b>	<b>Nombre imagen satelital L2A</b>
2022-01-01	MTD_MSIL2A2022-01-01.xml
2022-01-06	MTD_MSIL2A2022-01-06.xml
2022-01-11	MTD_MSIL2A2022-01-11.xml
2022-01-16	MTD_MSIL2A2022-01-16.xml
2022-01-21	MTD_MSIL2A2022-01-21.xml
2022-01-26	MTD_MSIL2A2022-01-26.xml
2022-01-31	MTD_MSIL2A2022-01-31.xml
2022-02-05	MTD_MSIL2A2022-02-05.xml
2022-02-10	MTD_MSIL2A2022-02-10.xml
2022-02-15	MTD_MSIL2A2022-02-15.xml
2022-02-20	MTD_MSIL2A2022-02-20.xml
2022-02-25	MTD_MSIL2A2022-02-25.xml

2022-03-02	MTD_MSIL2A2022-03-02.xml
2022-03-07	MTD_MSIL2A2022-03-07.xml
2022-03-12	MTD_MSIL2A2022-03-12.xml
2022-03-17	MTD_MSIL2A2022-03-17.xml
2022-03-22	MTD_MSIL2A2022-03-22.xml
2022-03-27	MTD_MSIL2A2022-03-27.xml
2022-04-01	MTD_MSIL2A2022-04-01.xml
2022-04-06	MTD_MSIL2A2022-04-06.xml
2022-04-11	MTD_MSIL2A2022-04-11.xml
2022-04-16	MTD_MSIL2A2022-04-16.xml
2022-04-21	MTD_MSIL2A2022-04-21.xml
2022-04-26	MTD_MSIL2A2022-04-26.xml
2022-05-01	MTD_MSIL2A2022-05-01.xml
2022-05-06	MTD_MSIL2A2022-05-06.xml
2022-05-11	MTD_MSIL2A2022-05-11.xml
2022-05-16	MTD_MSIL2A2022-05-16.xml
2022-05-21	MTD_MSIL2A2022-05-21.xml
2022-05-26	MTD_MSIL2A2022-05-26.xml
2022-05-31	MTD_MSIL2A2022-05-31.xml
2022-06-05	MTD_MSIL2A2022-06-05.xml
2022-06-10	MTD_MSIL2A2022-06-10.xml
2022-06-15	MTD_MSIL2A2022-06-15.xml
2022-06-20	MTD_MSIL2A2022-06-20.xml
2022-06-25	MTD_MSIL2A2022-06-25.xml
2022-07-05	MTD_MSIL2A2022-07-05.xml
2022-07-10	MTD_MSIL2A2022-07-10.xml
2022-07-15	MTD_MSIL2A2022-07-15.xml
2022-07-20	MTD_MSIL2A2022-07-20.xml
2022-07-25	MTD_MSIL2A2022-07-25.xml
2022-07-30	MTD_MSIL2A2022-07-30.xml
2022-08-04	MTD_MSIL2A2022-08-04.xml
2022-08-09	MTD_MSIL2A2022-08-09.xml
2022-08-14	MTD_MSIL2A2022-08-14.xml
2022-08-19	MTD_MSIL2A2022-08-19.xml
2022-08-24	MTD_MSIL2A2022-08-24.xml
2022-08-29	MTD_MSIL2A2022-08-29.xml
2022-09-03	MTD_MSIL2A2022-09-03.xml
2022-09-08	MTD_MSIL2A2022-09-08.xml
2022-09-13	MTD_MSIL2A2022-09-13.xml
2022-09-18	MTD_MSIL2A2022-09-18.xml
2022-09-23	MTD_MSIL2A2022-09-23.xml
2022-09-28	MTD_MSIL2A2022-09-28.xml
2022-10-03	MTD_MSIL2A2022-10-03.xml
2022-10-08	MTD_MSIL2A2022-10-08.xml
2022-10-13	MTD_MSIL2A2022-10-13.xml
2022-10-18	MTD_MSIL2A2022-10-18.xml
2022-10-23	MTD_MSIL2A2022-10-23.xml
2022-10-28	MTD_MSIL2A2022-10-28.xml
2022-11-02	MTD_MSIL2A2022-11-02.xml
2022-11-12	MTD_MSIL2A2022-11-12.xml
2022-11-17	MTD_MSIL2A2022-11-17.xml
2022-11-22	MTD_MSIL2A2022-11-22.xml

2022-11-27	MTD_MSIL2A2022-11-27.xml
2022-12-02	MTD_MSIL2A2022-12-02.xml
2022-12-07	MTD_MSIL2A2022-12-07.xml
2022-12-17	MTD_MSIL2A2022-12-17.xml
2022-12-22	MTD_MSIL2A2022-12-22.xml
2022-12-27	MTD_MSIL2A2022-12-27.xml

### 3.3 Espesor Óptico de Aerosoles (AOT)

Se cálculo el espesor de óptico de aerosoles a partir de las imágenes satelitales obtenidas. En el caso de las imágenes del satélite Sentinel 2, se realiza un procesamiento previo del archivo XML para la extracción del AOT, en la figura 56, se muestra un ejemplo de las variables obtenidas en RStudio.

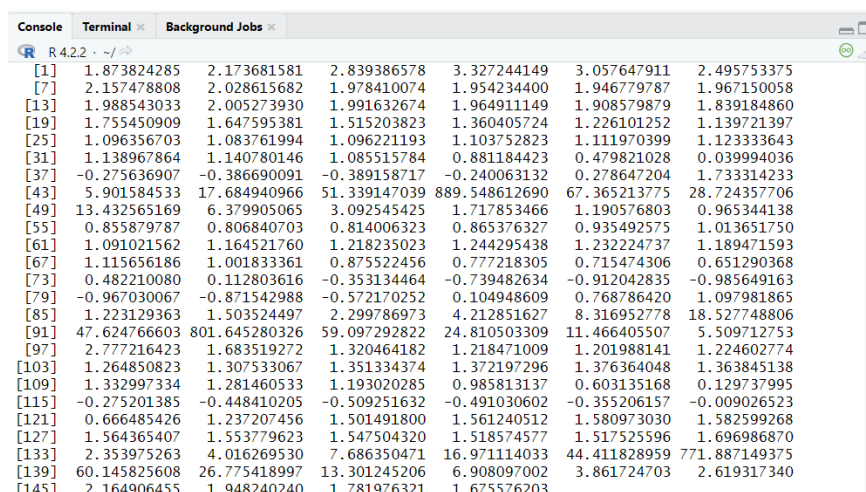
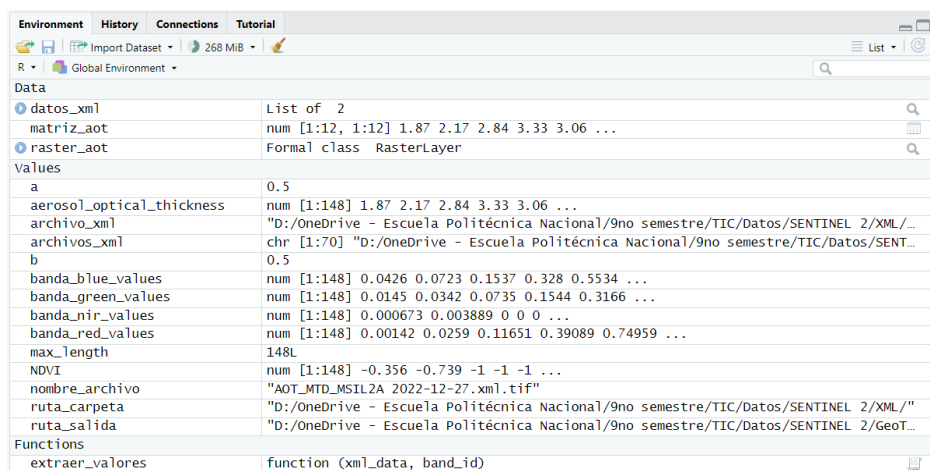
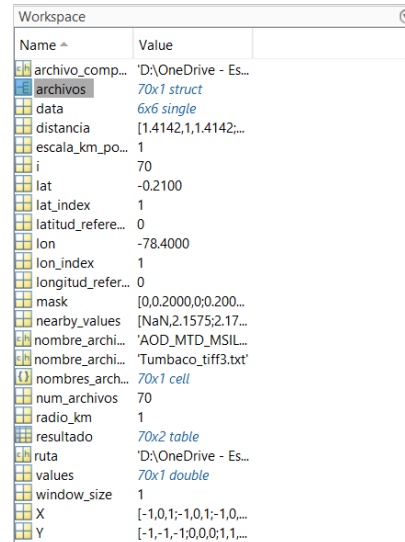


Figura 56 Variables obtenidas en RStudio.

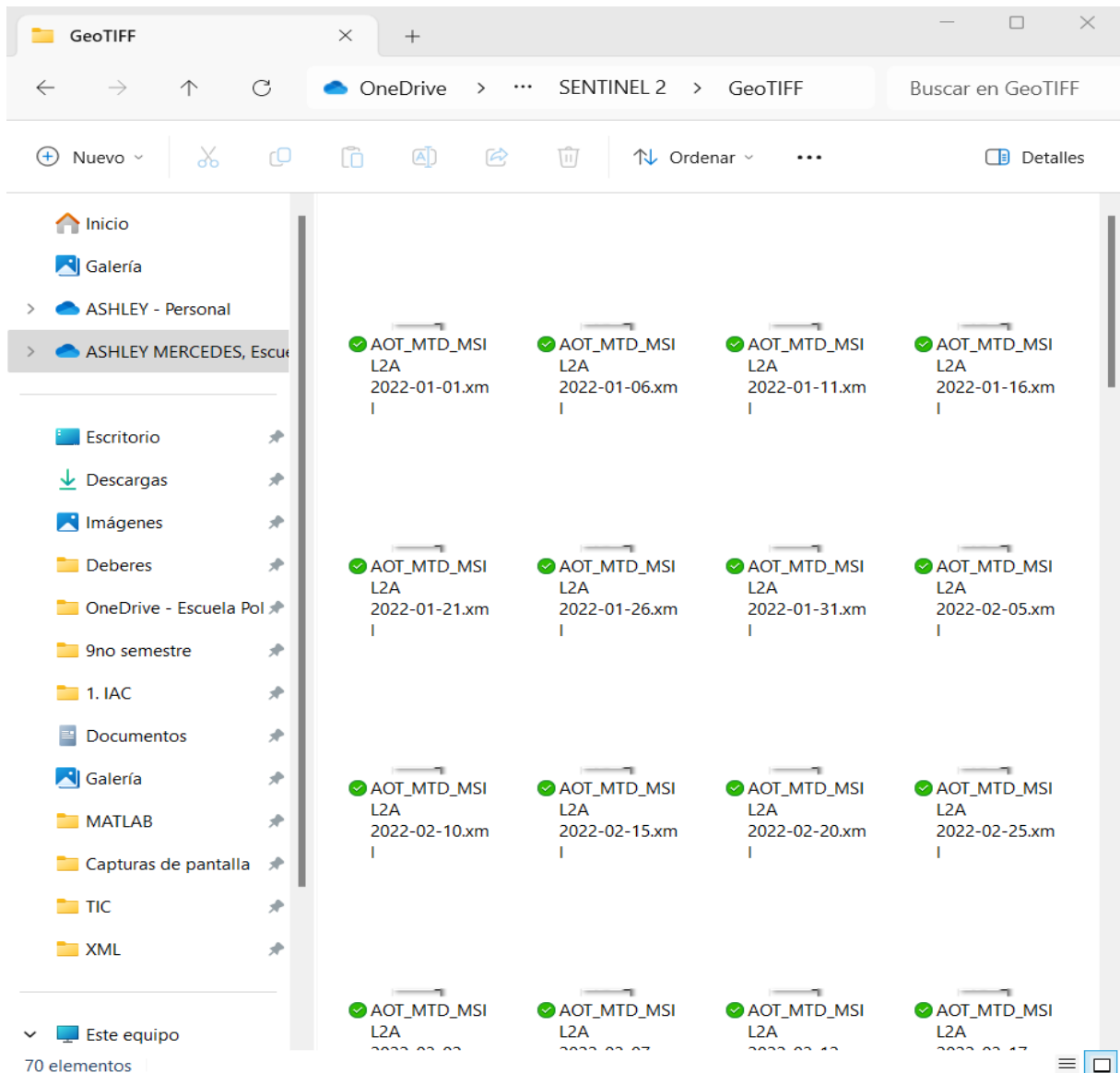
Las variables que corresponden a las bandas azul, verde, roja, NIR son expresadas por el software como una matriz de 1x148. Con estas se calcula el NDVI, obteniéndose, una nueva matriz de 1x148. Finalmente, con la fórmula propuesta por el algoritmo, se encontró

el AOT, de igual manera, como una matriz de 1x148. Finalmente, se determinó el ráster de AOT, que se expresa como una matriz de 12x12, el cual tiene un formato GeoTIFF, que posteriormente es usado para la extracción del AOT para las coordenadas geográficas de las estaciones de la REMMAQ en Matlab.

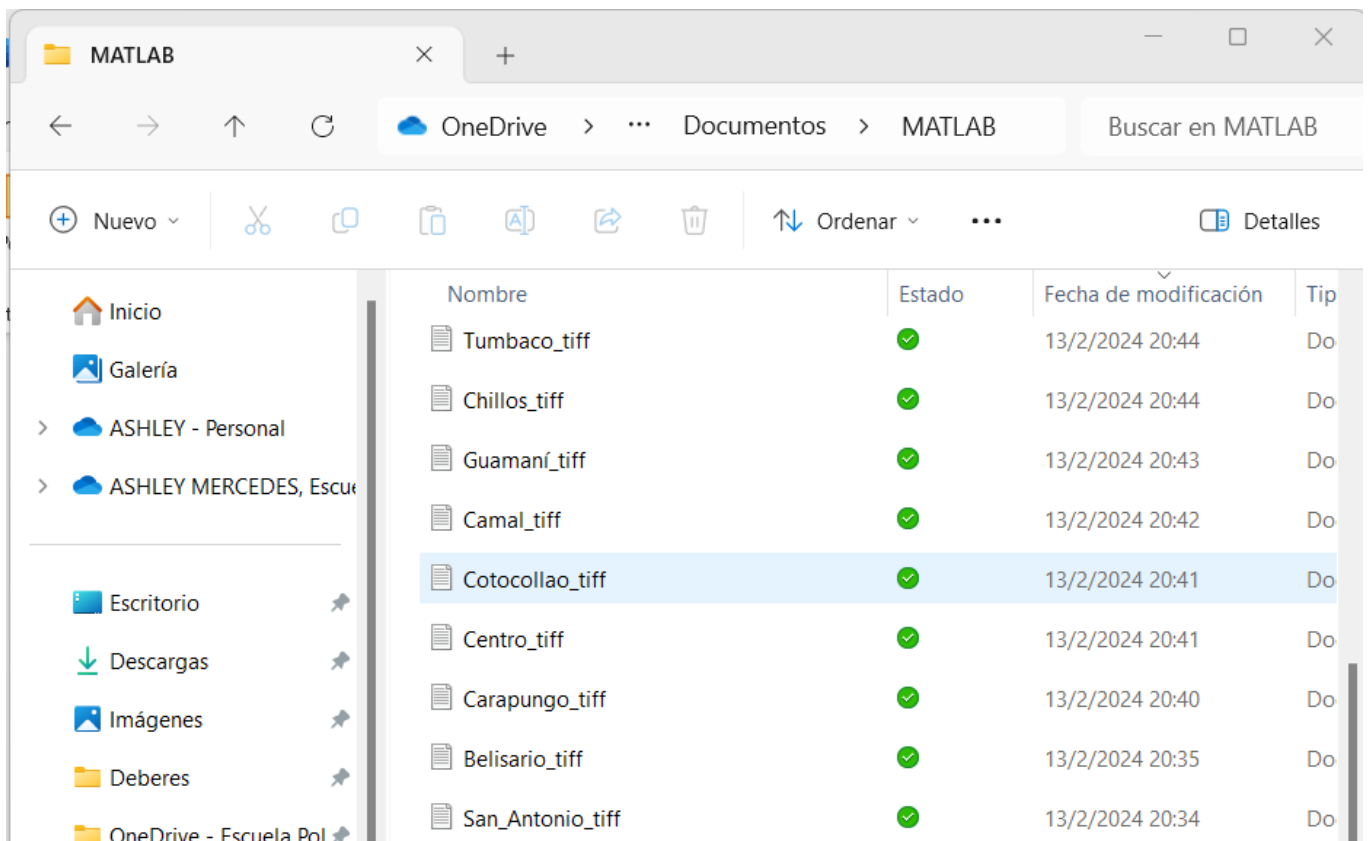


**Figura 57** Variables de la extracción de AOT a partir de imágenes Sentinel 2.

En la figura 57, se puede observar las variables que permiten realizar la extracción de AOT en Matlab a partir del ráster generado en RStudio. Cada archivo GeoTIFF que se almacena en la carpeta de salida, como se muestra en la figura 58, es georreferenciado y se utiliza para la extracción de AOT en cada estación que se almacena en la carpeta de salida especificada en formato texto, como se muestra en la figura 59, obteniéndose 70 valores, los cuales, son iguales para cada estación y para cada fecha dentro del periodo de estudio como se muestra en la tabla 4, en conjunto con los promedios diarios a nivel de superficie de PM<sub>2.5</sub> de cada estación.



**Figura 58** Archivos GeoTIFF en la carpeta de salida.



**Figura 59** Archivos de texto con el valor del AOT extraído de las imágenes Sentinel 2.

Puede notarse que los valores son iguales cada 10 días, para cada estación, esto podría deberse a que, ya que este método trabaja con longitudes de onda y bandas específicas, dichas variables sean similares para la misma área de estudio bajo condiciones atmosféricas constantes. Entre otras razones, podría ser la calibración del sensor u la corrección atmosférica y radiométrica que le proporciona la misma fuente a las imágenes satelitales. Además, es importante contemplar las razones por las que los valores de AOT son iguales para todas las estaciones, y una de ellas, podría deberse al hecho de que, al no existir valores para algunas estaciones, fue necesario utilizar un buffer de 1 km, lo que podría inferir en la extracción del AOT y provocar que los valores válidos sean iguales para toda el área de estudio.

**Tabla 4** Valores de AOT diarios extraídos a partir de imágenes Sentinel 2 y PM<sub>2.5</sub> diario a nivel de superficie.



Fecha	AOT	PM <sub>2.5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]								
		Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El Camal	Guamani	Los Chillos	Tumbaco	San Antonio
1/1/2022	0.0021	23.8	30.2	23.0	29.2	34.1	46.0		21.0	19.6
6/1/2022	0.0025	18.4	13.9	17.4	17.2	18.9	19.7	18.5	14.3	17.0
11/1/2022	0.0021	15.7	14.2	16.7	13.2	21.7	20.7	9.9	11.2	15.2
16/1/2022	0.0025	20.2	23.7	18.5	23.5	21.7	16.0	15.3	16.6	17.4
21/1/2022	0.0021	16.2	16.7	16.8	16.9	17.4	20.4	14.7	11.1	15.8
26/1/2022	0.0025	15.8		16.2	12.5	23.9	20.2	14.5	10.6	10.6
31/1/2022	0.0021	8.3		7.1	5.7	15.4	12.4	4.9	3.1	8.2
5/2/2022	0.0025	16.2		14.7	12.7	16.8	18.9	16.1	13.7	7.6
10/2/2022	0.0021	11.7	7.3	12.2	9.5	16.6	15.2	10.4	6.0	6.2
15/2/2022	0.0025	18.0	9.3	16.6	14.1	22.7	21.3	12.0	10.3	8.1
20/2/2022	0.0021	10.3	4.9	9.4	5.8	12.7	12.6	10.0	4.9	5.6
25/2/2022	0.0025	13.8	7.2	14.2	10.4	21.0	18.5	12.5	8.5	9.1
2/3/2022	0.0021	12.3	6.0	12.9	8.5	19.0	16.6	10.3	6.6	7.2
7/3/2022	0.0025	12.7	7.0	11.5	9.9	14.8	12.7	10.0	8.9	6.7
12/3/2022	0.0021	14.2	8.8	11.1	11.2	14.6	14.3	13.3	9.3	11.6
17/3/2022	0.0025	16.8	7.7	11.3	10.4	16.0	15.0	8.4	6.8	9.2
22/3/2022	0.0021	20.2	15.8	21.3	18.6	24.5	24.4	16.7	14.3	12.0
27/3/2022	0.0025	19.5	11.2	19.5	16.8	25.7	23.2	13.4	13.3	11.8
1/4/2022	0.0021	18.2	8.0	13.5	12.2	18.3	17.9	11.3	10.2	7.9
6/4/2022	0.0025	19.7	12.0	19.0	16.4	21.3	17.1	17.2	12.4	14.0
11/4/2022	0.0021	14.6	9.2	13.8	13.6	17.8	14.3	11.7	9.0	13.3
16/4/2022	0.0025	10.2	9.9	12.1	12.6	16.4	12.7	13.9	10.6	12.0
21/4/2022	0.0021	14.9	9.0	12.1	12.9	19.5	20.0	12.1	8.9	9.2
26/4/2022	0.0025	18.5	15.2	15.5	16.8	21.9	14.8	13.2	13.6	18.6
1/5/2022	0.0021	12.3	10.6	9.2	12.1	10.8	11.8	10.4	11.8	13.2
6/5/2022	0.0025	22.7	12.3	23.9	16.9	27.7	24.6	18.1	12.7	14.9
11/5/2022	0.0021	14.5	9.5	13.7	12.4	16.9	18.3	13.1	9.2	15.1
16/5/2022	0.0025		7.4	12.3	10.3	15.2	12.8	10.6	8.9	9.4
21/5/2022	0.0021	17.7	13.5	17.2	19.4	20.3	17.7	13.5	13.7	14.4
26/5/2022	0.0025	14.5	9.4	13.5	16.5	17.2	14.7	12.6	10.1	10.6
31/5/2022	0.0021	24.8	16.3	25.0	19.6	35.2	26.5	14.3	16.7	18.6
5/6/2022	0.0025	14.5	11.4	16.1	12.7	20.9	16.1	12.7	11.3	13.0
10/6/2022	0.0021	16.8	9.7	16.7	12.0	19.8	19.8	10.9	9.1	8.3
15/6/2022	0.0025	17.3	12.6	14.8	16.0	20.9	20.8	12.2	12.6	12.3
20/6/2022	0.0021	10.8	20.5	17.3	15.3	24.6	19.2	14.7	15.3	18.7
25/6/2022	0.0025	6.5	6.8	5.6	6.7	10.3	7.5	8.8	8.0	7.7
5/7/2022	0.0025	11.9	11.8	10.8	14.4	13.8	12.4	12.9	11.0	12.6
10/7/2022	0.0021	12.2	10.3	10.1	13.0	14.0	12.0	13.7	14.2	14.4
15/7/2022	0.0025	17.2	12.5	17.8	15.7	21.8	19.4	16.3	14.9	14.6
20/7/2022	0.0021	8.2	11.5	9.2	14.6	9.0	9.0	16.3	12.0	10.7
25/7/2022	0.0025	14.9	12.1	19.0	14.6	21.2	13.3	12.6	13.9	13.8
30/7/2022	0.0021	11.4	16.4	12.2	14.6	20.5	7.8	13.0	19.6	13.4
4/8/2022	0.0025	15.3	17.7	15.6	16.2	10.8	12.5	9.8	25.1	10.0
9/8/2022	0.0021	29.2	26.9	30.1	27.6	19.4	24.3	11.0	19.2	
14/8/2022	0.0025	41.8	33.2	38.7		27.5	25.6	19.2	34.9	
19/8/2022	0.0021	31.1	25.0	29.2	25.2	19.3	19.7	14.3	23.8	19.6
24/8/2022	0.0025	46.5	33.0	46.1	34.4	36.5	31.4	17.4	30.3	29.1
29/8/2022	0.0021	48.2	35.5	52.1	40.1	42.0	34.2	21.4	30.4	30.4
3/9/2022	0.0025	13.9	21.3	19.7	12.5	16.8	10.8	16.1	18.8	17.5
8/9/2022	0.0021	19.6	45.9	26.8	22.6	25.2	16.6	18.5	19.5	21.3
13/9/2022	0.0025	19.2	9.3	23.7	24.3	22.1	18.1	18.4	18.2	23.1

18/9/2022	0.0021	17.3	16.5	16.8	18.1	19.5	15.0	14.4	14.4	13.2
23/9/2022	0.0025	20.8	17.9	19.9	23.6	22.2	17.0	19.5	18.6	18.2
28/9/2022	0.0021	21.3	20.5	20.6	22.0	24.8	23.8	26.4	20.8	21.5
3/10/2022	0.0025	8.8	10.8	9.9	12.4	13.9	10.5	14.7	12.5	16.5
8/10/2022	0.0021	19.0	13.1	20.1	14.9	23.9	19.8	22.4	14.0	12.1
13/10/2022	0.0025	20.1	11.0	22.0	13.8	25.9	24.3	27.2	23.5	11.3
18/10/2022	0.0021	17.6	10.5	16.2	13.3	20.2	16.4	15.9	10.1	9.0
23/10/2022	0.0025	11.6	9.4		11.5	19.9	16.4	13.2	9.0	8.2
28/10/2022	0.0021	22.2	12.7	21.3	15.9	23.8	26.1	17.0	12.6	15.0
2/11/2022	0.0025	12.6	16.4	10.5	17.0	16.4	13.6	22.8	21.3	17.9
12/11/2022	0.0025	21.6	14.3	19.9	17.3	19.7	26.3	26.5	19.3	22.2
17/11/2022	0.0021	24.5	12.6	17.4	15.0	18.5	15.6	14.2	13.0	15.7
22/11/2022	0.0025	23.8	15.7	23.3	18.3	26.2	25.4	21.4	17.2	20.2
27/11/2022	0.0021	16.5	13.9	16.5	18.3		17.5	19.4	18.0	20.0
2/12/2022	0.0025	13.2	8.1	13.0	10.1		17.1	11.1	8.2	14.4
7/12/2022	0.0021	25.7	16.9	29.4	20.4		25.8	28.4	20.7	22.8
17/12/2022	0.0021	15.0	12.5	17.3	12.0		20.7	15.9	10.1	14.2
22/12/2022	0.0025	19.2	17.3	19.2	20.5		26.0	20.1	18.2	28.7
27/12/2022	0.0021	15.1	11.9	15.1	11.9		21.5	16.6	9.4	11.3

Por otro lado, en el caso de las imágenes del satélite MODIS, se extrae directamente el valor del AOT del archivo HDF desde Matlab, puesto que, este está compuesto, exclusivamente, por capas que miden características de los aerosoles atmosféricos. En la figura 60, se observa las variables obtenidas en Matlab. Cada archivo HDF es georreferenciado y a partir de las coordenadas de la estación se extrae el AOT que se almacena en la carpeta de salida especificada en formato texto, como se muestra en la figura 61, obteniéndose, únicamente 9, los cuales, son iguales para cada estación y se muestran en la tabla 5, en conjunto con los promedios diarios a nivel de superficie de  $PM_{2.5}$  de cada estación.

Name	Value
archivo_comp...	'D:\OneDrive - Es...
archivos	441x1 struct
data	3x676x451 int16
distancia	[1.4142,1,1.4142;...
escala_km_po...	1
hdf_info	1x1 struct
i	441
lat	-0.0092
lat_index	1
latitud_refer...	0
lon	-78.4400
lon_index	1
longitud_refer...	0
mask	[0,0.2000,0;0.200...
nearby_values	[0,-9999;-9999,-9...
nombre_archi...	'MOD04_3K.A20...
nombre_archi...	'San_Antonio.txt'
nombres_arch...	441x1 cell
num_archivos	441
radio_km	1
resultado	441x2 table
ruta	'D:\OneDrive - Es...
values	441x1 double
var_name	'Corrected_Optic...
window_size	1
X	[-1,0,1;-1,0,1;-1,0,...
Y	[-1,-1,-1;0,0,1,1,...

**Figura 60** Variables de la extracción de AOT a partir de imágenes MODIS.

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tip
resultado	✓	12/2/2024 13:30	Do
Extract_all_AOT_550_hdf	✓	12/2/2024 13:44	MA
Extraxt_AOT_550_hdf	✓	12/2/2024 17:26	MA
Carapungo	✓	12/2/2024 18:12	Do
Centro	✓	12/2/2024 18:14	Do
Cotocollao	✓	12/2/2024 18:18	Do
Camal	✓	12/2/2024 18:21	Do
Guamaní	✓	12/2/2024 18:22	Do
Chillos	✓	12/2/2024 18:23	Do
Tumbaco	✓	12/2/2024 18:25	Do

**Figura 61** Archivos de texto con el valor del AOT extraído de las imágenes MODIS en la carpeta de salida.

**Tabla 5** Valores de AOT diarios extraídos a partir de imágenes MODIS y PM<sub>2.5</sub> diario a nivel de superficie.

Fecha	AOT diario	PM <sub>2.5</sub> diario [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]								
		Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El Camal	Guamaní	Los Chillos	Tumbaco	San Antonio
18/1/2022	0.033	18.2	19.0	11.8	16.6	23.8	18.5	15.5	16.5	17.6
2/2/2022	0.037	21.5		21.5	18.8	22.3	24.4	16.7	11.9	13.1
3/2/2022	0.105	31.7		26.4	26.5	29.1	26.4	26.6	18.8	22.8
22/2/2022	0.229	23.3	13.5	26.3	17.6	24.5	28.2	26.7	20.8	13.5
7/3/2022	0.161	12.7	7.0	11.5	9.9	14.8	12.7	10.0	8.9	6.7
30/3/2022	0.219	15.5	10.8	17.2	13.1	25.0	22.3	13.5	9.8	11.8
6/9/2022	0.091	24.8	25.3	25.0	23.6	25.1	27.7	28.2	26.9	30.4
9/9/2022	0.135	15.3	23.8	19.9	22.1	18.9	15.1	19.5	19.6	25.3
21/12/2022	0.201	22.5	14.4	23.1	18.7		25.6	21.7	16.3	23.7

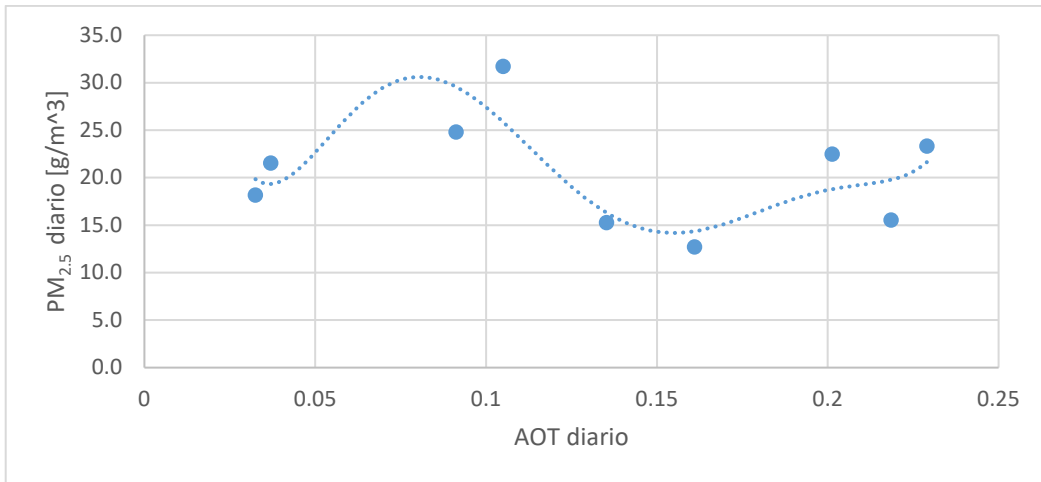
Cabe indicar que, pese a que el sensor MODIS proporcionó aproximadamente seis veces más de imágenes que Sentinel 2, únicamente, 9 valores fueron válidos, debido a que, el resto de las fechas dentro del periodo de estudio emanaron valores negativos, lo que, esta fuera del rango de valores del AOT, el cual, es entre 0 y 1. Dichos valores negativos pueden deberse a condiciones atmosféricas inadecuadas como un elevado porcentaje de nubosidad o poca iluminación.

Entre otras razones, puede contemplarse el hecho de que la imagen satelital no se encuentre exactamente en el área de estudio, y al igual que con las imágenes del satélite Sentinel 2, se realizó la extracción en 1 kilómetro a la redonda de cada estación, sin embargo, esta consideración no es suficiente si no existen datos a lo largo del área de estudio. Mientras que, si existe información, se obtiene valores de AOT iguales para toda el área de estudio.

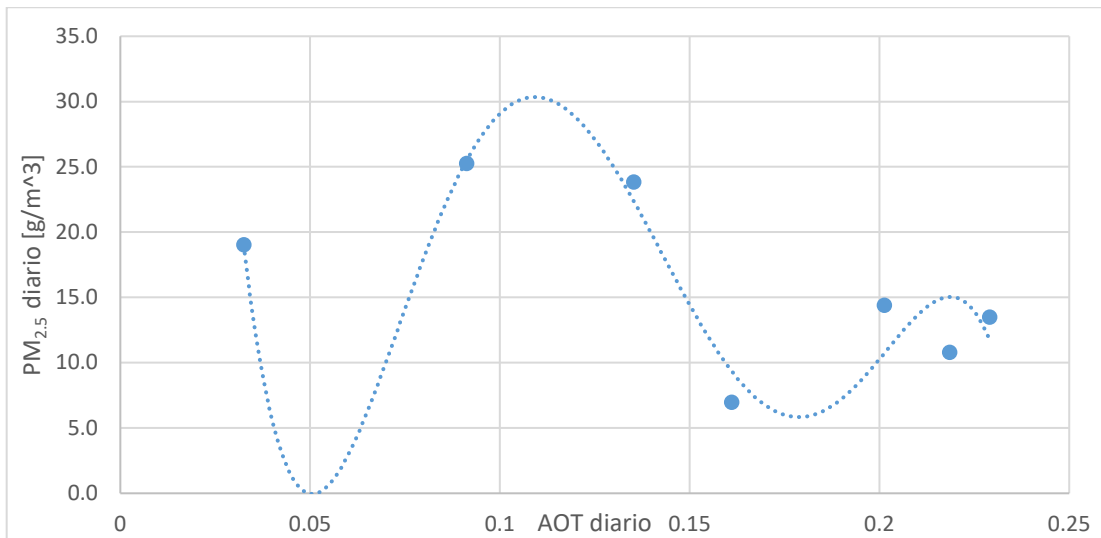
### 3.4 Contraste de la información a nivel de superficie y la satelital

La correlación existente entre la información satelital y a nivel de superficie se llevó a cabo en Excel mediante regresiones polinómicas, en cuanto se refiere al AOT extraído de las imágenes del satélite MODIS, y lineales, en cuanto se refiere al correspondiente al satélite Sentinel 2 y se realizó únicamente con días en las que se determinó valores de AOT, es decir, las regresiones se realizaron entre promedios diarios de PM<sub>2.5</sub> y de AOT.

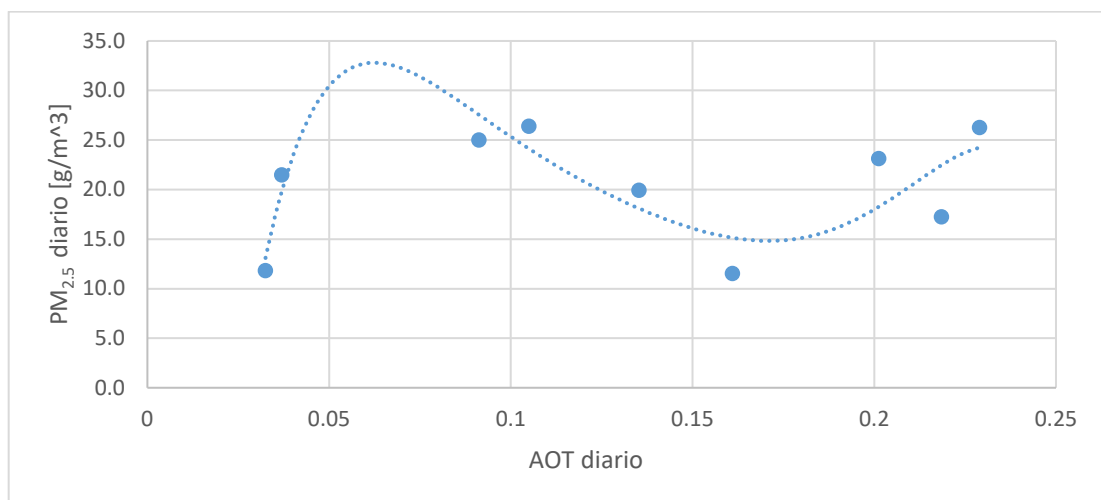
En las figuras 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70 puede observarse gráficamente la regresión polinómica entre el AOT de MODIS y el PM<sub>2.5</sub> a nivel de superficie para las 9 estaciones de estudio.



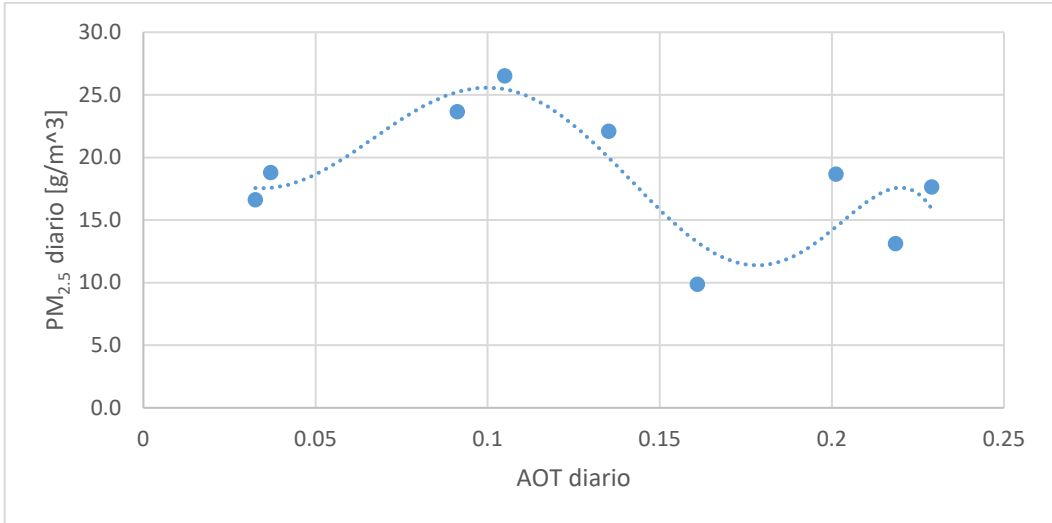
**Figura 62** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Belisario.



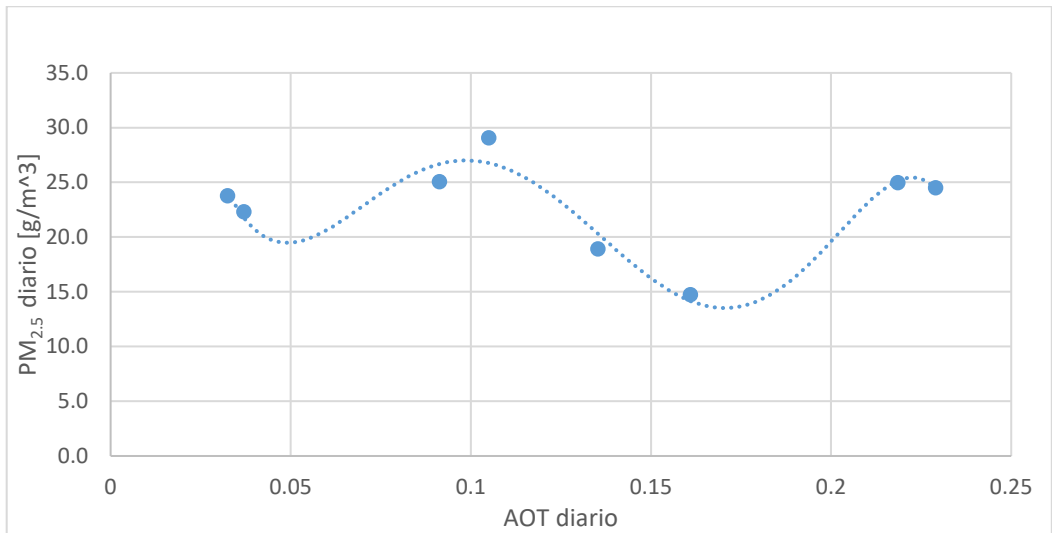
**Figura 63** Curva de regresión polinómica de quinto grado para la estación Carapungo.



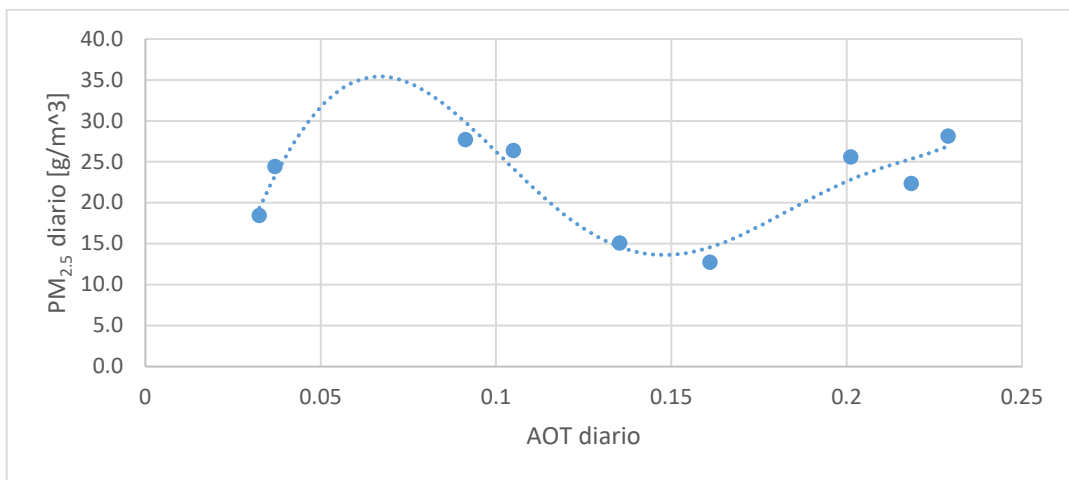
**Figura 64** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Centro.



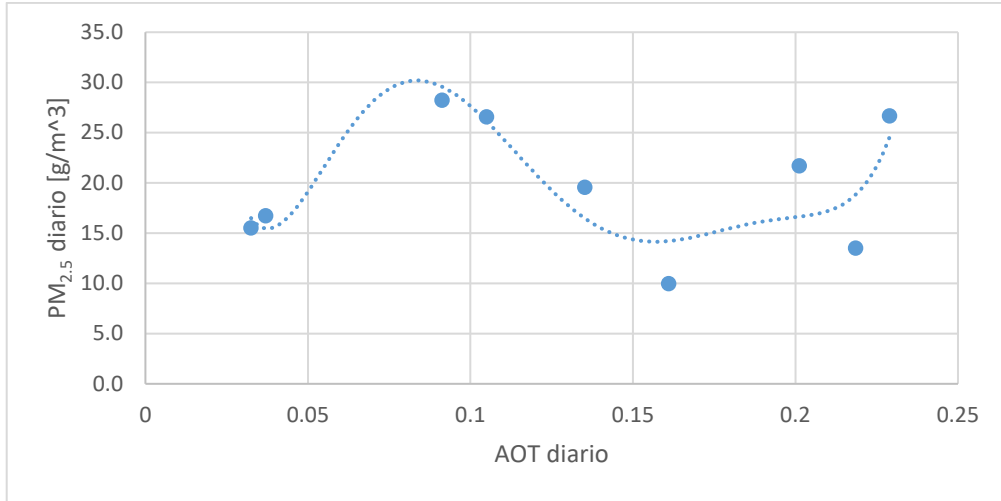
**Figura 65** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Cotocollao.



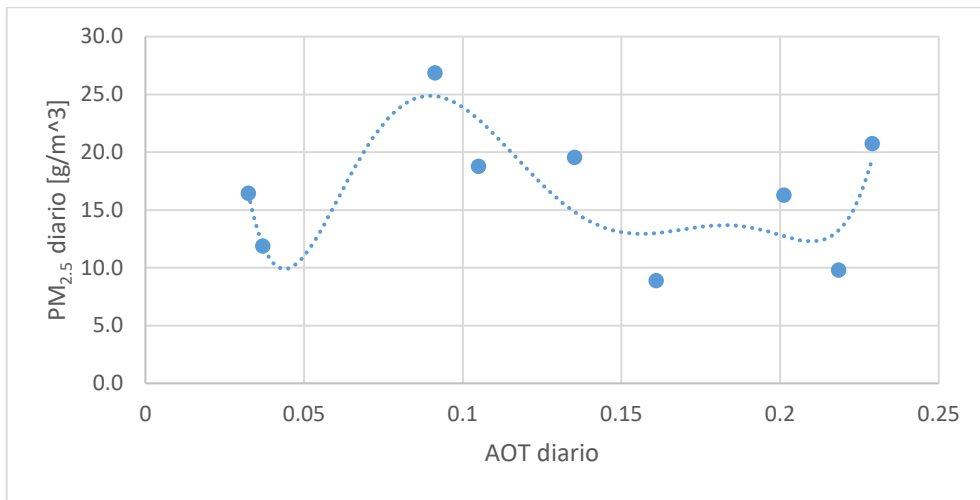
**Figura 66** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación El Camal.



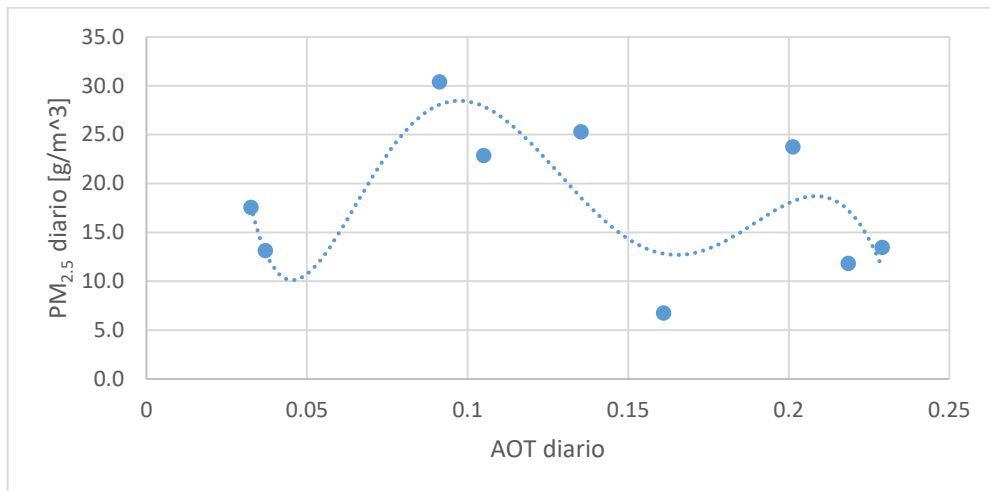
**Figura 67** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Guamaní.



**Figura 68** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Los Chillos.



**Figura 69** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación Tumbaco.

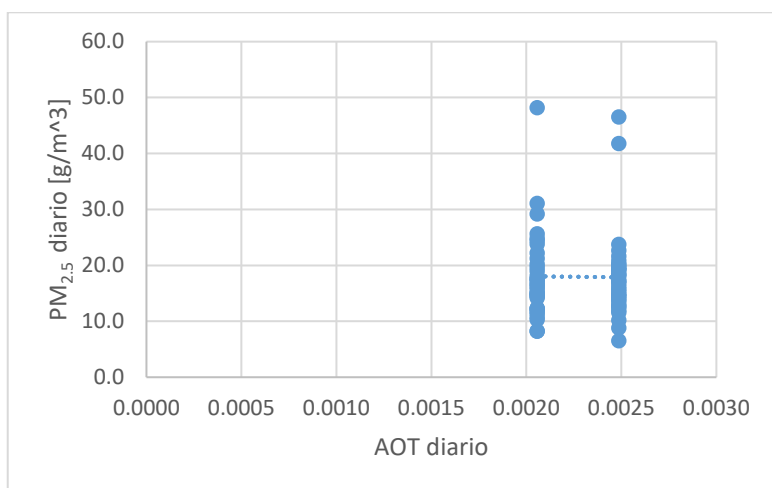


**Figura 70** Curva de regresión polinómica de sexto grado para la estación San Antonio.

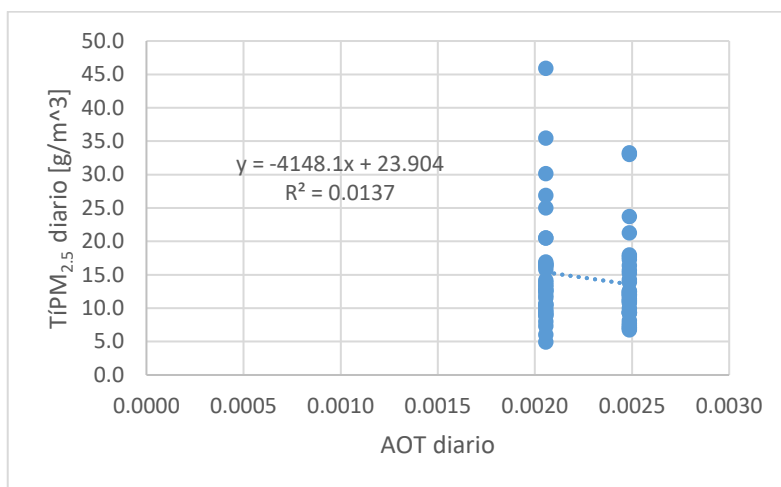
Puede notarse de manera general una diferencia significativa entre las curvas de regresión polinómica de las 9 estaciones de estudio, por lo que, es relevante usar cada ecuación de regresión obtenida para realizar el modelamiento de  $PM_{2.5}$ .

Cabe indicar que, únicamente, a la estación Carapungo se le seleccionó una regresión polinómica de quinto grado, puesto que, con una regresión polinómica de sexto grado proporcionaría concentraciones negativas, lo que es imposible y por ende se descartó. Adicionalmente, desde un punto de vista gráfico, las estaciones El Camal y Guamaní poseen una curva muy ligada a la dispersión, mientras que, para las estaciones Belisario y San Antonio, la curvas difieren significativamente de la dispersión.

En las figuras 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78 y 79 puede observarse gráficamente la regresión lineal entre el AOT de Sentinel 2 y el  $PM_{2.5}$  a nivel de superficie para las 9 estaciones de estudio.

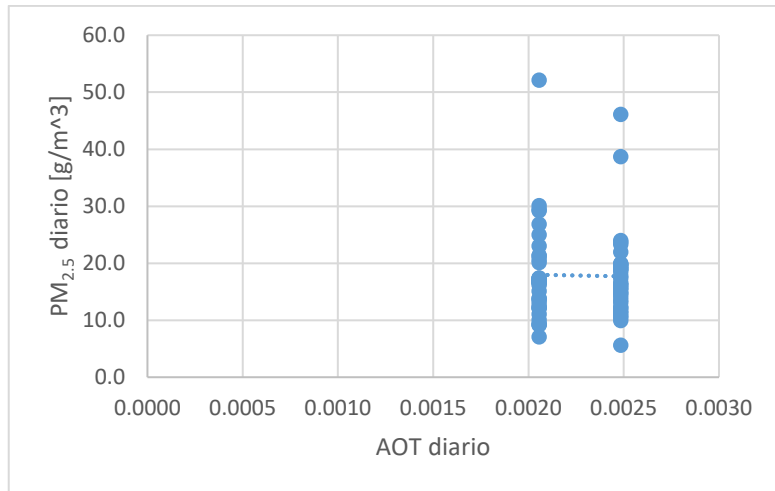


**Figura 71** Curva de regresión lineal para la estación Belisario.

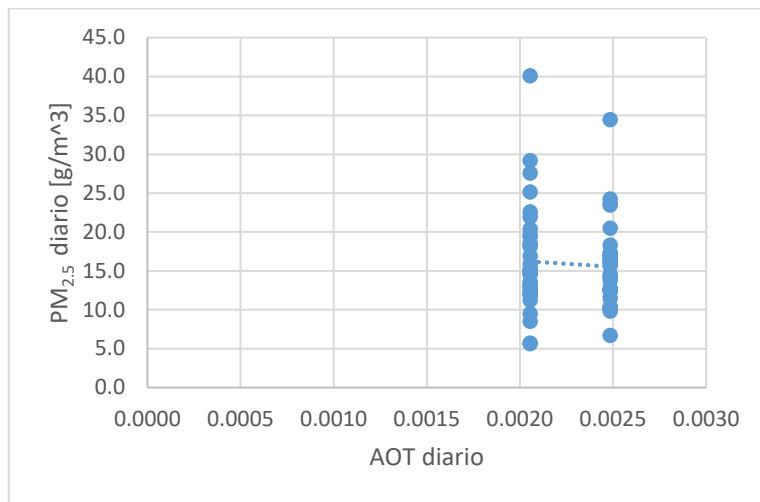


**Figura 72** Curva de regresión lineal para la estación Carapungo.

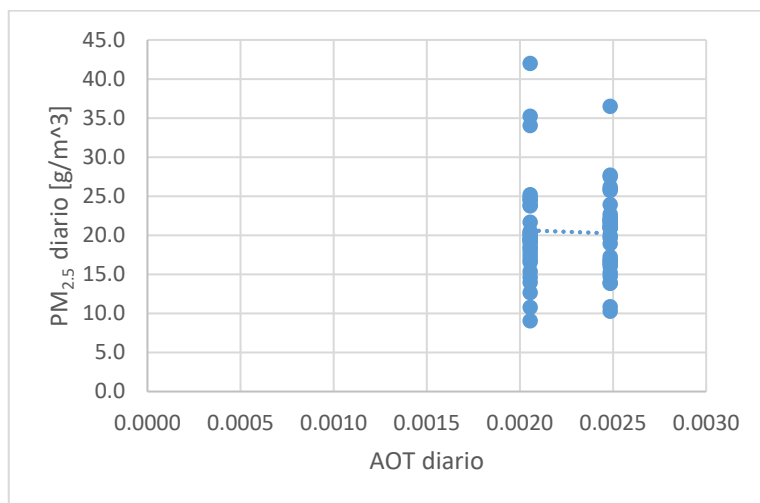




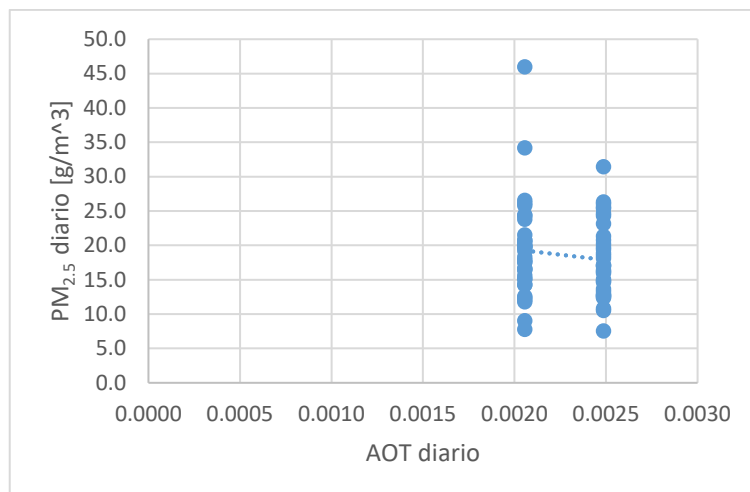
**Figura 73** Curva de regresión lineal para la estación Centro.



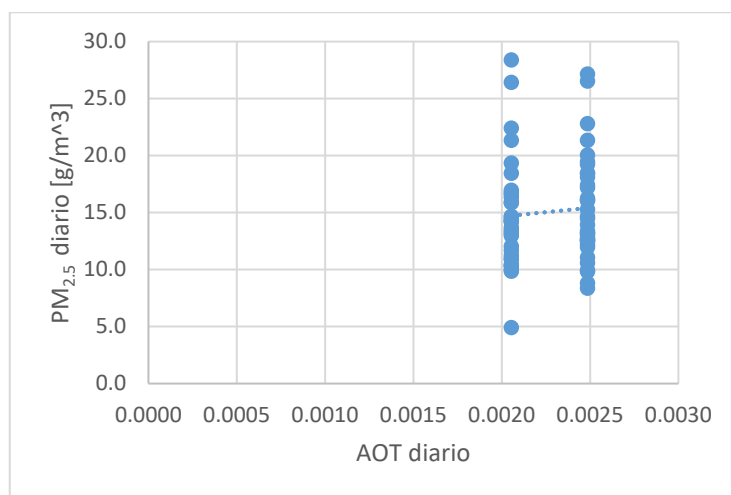
**Figura 74** Curva de regresión lineal para la estación Cotocollao.



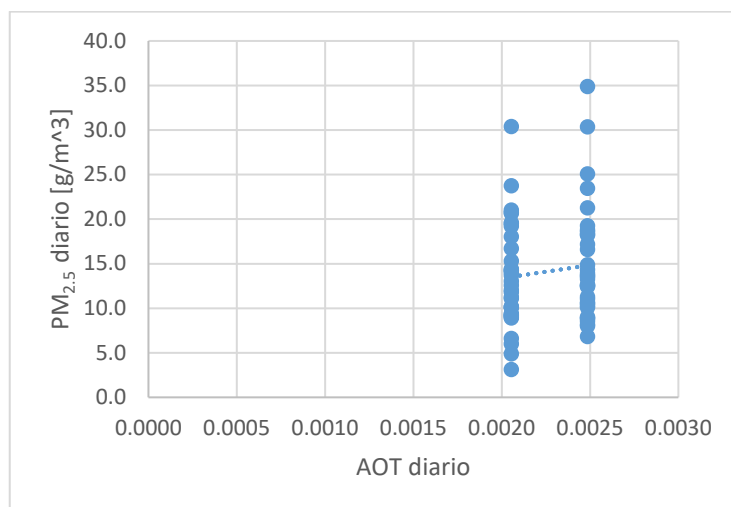
**Figura 75** Curva de regresión lineal para la estación El Camal.



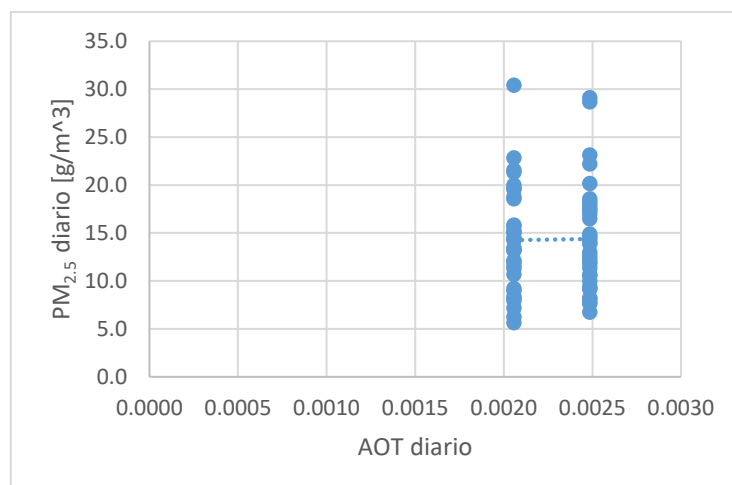
**Figura 76** Curva de regresión lineal para la estación Guamaní.



**Figura 77** Curva de regresión lineal para la estación Los Chillos.



**Figura 78** Curva de regresión lineal para la estación Tumbaco.



**Figura 79** Curva de regresión lineal para la estación San Antonio.

Puede notarse de manera general una similitud significativa entre las curvas de regresión lineal de las 9 estaciones de estudio, sin embargo, es importante considerar cada ecuación de regresión obtenida para realizar el modelamiento de  $PM_{2.5}$  debido a la tendencia ascendente y descendentes de las curvas. Cabe recalcar que, debido a la naturaleza de los datos, los diferentes tipos de regresión tienen coeficientes de correlación similares, por ello se seleccionó la regresión lineal, debido a su facilidad de manejo.

Cabe indicar que, las curvas de regresión de las Estaciones Carapungo y Guamaní presentan la mayor tendencia descendente, mientras que, las estaciones Los Chillos y San Antonio tienen la menor tendencia ascendente. Adicionalmente, es importante destacar que, únicamente, las estaciones con menor altitud, es decir, Los Chillos, Tumbaco y San Antonio disponen de una tendencia ascendente, mientras que, las que se encuentran a mayor altitud disponen de una tendencia descendente.

**Tabla 6** Coeficientes de correlación determinados para los satélites MODIS y Sentinel 2 por estación.

Estación	Coeficiente de correlación (R)	
	MODIS	Sentinel 2
Belisario	0.80	0.01
Carapungo	0.92	0.12
Centro	0.82	0.02
Cotocollao	0.84	0.06
El Camal	0.96	0.03
Guamaní	0.93	0.11

Los Chillos	0.85	0.07
Tumbaco	0.82	0.10
San Antonio	0.79	0.001

En la tabla 6 puede observarse los coeficientes de correlación y de determinación para cada una de las 9 estaciones de estudio. Puede notarse que los coeficientes de correlación obtenidos con el satélite MODIS son más confiables y acordes a lo esperado en comparación con los coeficientes de correlación del satélite Sentinel 2, y debido a que dichos valores son tan bajos por la naturaleza constante de los resultados, lo más acertado sería descartar los resultados con Sentinel 2.

Cabe recalcar que, las estaciones con los coeficientes de correlación más altos del satélite MODIS son Carapungo, el Camal y Guamaní, mientras que, las estaciones con los coeficientes de correlación más bajos son Belisario, Centro, Tumbaco y San Antonio. Sin embargo, es importante tener en cuenta que todos los coeficientes superan el 0.7, por lo que, puede considerarse que para todas las estaciones funciona el modelamiento de  $PM_{2.5}$  a partir del AOT.

Por otro lado, las estaciones con los coeficientes de correlación más altos del satélite Sentinel 2 son Carapungo, Guamaní y Tumbaco, mientras que, las estaciones con los coeficientes de correlación más bajos son Belisario, Centro y San Antonio. Pese a que en general, los coeficientes de correlación de este satélite son casi nulos, es importante, tener en cuenta que la jerarquización de estaciones es muy similar, lo que podría corroborar la factibilidad de utilizar el AOT para predecir  $PM_{2.5}$ , teniendo en cuenta, únicamente el satélite MODIS.

Las ecuaciones utilizadas para el modelamiento de  $PM_{2.5}$  fueron aquellas que describen cada una de las curvas de regresión, tanto lineal como polinómica, según sea el caso. Las ecuaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 corresponden a las curvas de regresión polinómica de cada una de las 9 estaciones de estudio: Belisario, Carapungo, Centro, Cotocollao, El Camal, Guamaní, Los Chillos, Tumbaco y San Antonio.

$$PM_{2.5} = ((57486096.14) * (AOT^6)) + ((-47952555.99) * (AOT^5)) + ((15612140.84) * (AOT^4)) + ((-2481692.85) * (AOT^3)) + ((196497.23) * (AOT^2)) + ((-7063.4) * (AOT)) + (111.31)$$

**Ecuación 1** Regresión polinómica de sexto grado para la estación Belisario.

$$PM_{2.5} = ((-13004819.56) * (AOT^5)) + ((9059191.72) * (AOT^4)) \\ + ((-2344003.94) * (AOT^3)) + ((274556) * (AOT^2)) + ((-14047.48) \\ * (AOT)) + (256.39)$$

**Ecuación 2** Regresión polinómica de quinto grado para la estación Carapungo.

$$PM_{2.5} = ((-29915590.41) * (AOT^6)) + ((25560029.16) * (AOT^5)) + ((-8891259.35) \\ * (AOT^4)) + ((1621314.31) * (AOT^3)) + ((-162789.62) * (AOT^2)) \\ + ((8251.04) * (AOT)) + (-129.74)$$

**Ecuación 3** Regresión polinómica de sexto grado para la estación Centro.

$$PM_{2.5} = ((-25997491.79) * (AOT^6)) + ((16603965.85) * (AOT^5)) + ((-3743233.25) \\ * (AOT^4)) + ((343857.88) * (AOT^3)) + ((-10424.66) * (AOT^2)) + ((-1.96) \\ * (AOT)) + (20.43)$$

**Ecuación 4** Regresión polinómica de sexto grado para la estación Cotocollao.

$$PM_{2.5} = ((-12164027.27) * (AOT^6)) + ((3840124.07) * (AOT^5)) + ((899993.37) \\ * (AOT^4)) + ((-498732.48) * (AOT)) + ((69403.96) * (AOT^2)) \\ + ((-3724.81) * (AOT)) + (87.93)$$

**Ecuación 5** Regresión polinómica de sexto grado para la estación El Camal.

$$PM_{2.5} = ((27299375.07) * (AOT^6)) + ((-21326214.89) * (AOT^5)) + ((6136998.04) \\ * (AOT^4)) + ((-759021.97) * (AOT^3)) + ((31270.26) * (AOT^2)) + ((571.5) \\ * (AOT)) + (-12.31)$$

**Ecuación 6** Regresión polinómica de sexto grado para la estación Guamaní.

$$PM_{2.5} = ((78515132.95) * (AOT^6)) + ((-63956831.84) * (AOT^5)) + ((20473181.57) \\ * (AOT^4)) + ((-3228874.39) * (AOT^3)) + ((256533.99) * (AOT^2)) \\ + ((-9345.68) * (AOT)) + (139.48)$$

**Ecuación 7** Regresión polinómica de sexto grado para la estación Los Chillos.

$$PM_{2.5} = ((102467659.38) * (AOT^6)) + ((-83903670.39) * (AOT^5)) + ((27191170.6) \\ * (AOT^4)) + ((-4398615.77) * (AOT^3)) + ((366557.43) * (AOT^2)) \\ + ((-14495.35) * (AOT)) + (223.91)$$

**Ecuación 8** Regresión polinómica de sexto grado para la estación Tumbaco.

$$PM_{2.5} = ((35799481.89) * (AOT^6)) + ((-37269578.85) * (AOT^5)) + ((14689280) * (AOT^4)) + ((-2788617.36) * (AOT^3)) + ((264094.39) * (AOT^2)) + ((-11486.35) * (AOT)) + (192.68)$$

**Ecuación 9** Regresión polinómica de sexto grado para la estación San Antonio.

Las ecuaciones 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 corresponden a las curvas de regresión lineal de cada una de las 9 estaciones de estudio: Belisario, Carapungo, Centro, Cotocollao, El Camal, Guamaní, Los Chillos, Tumbaco y San Antonio, respectivamente.

$$PM_{2.5} = (-374.95 * AOT) + (18.806)$$

**Ecuación 10** Regresión lineal para la estación Belisario.

$$PM_{2.5} = -(4148.1 * AOT) + 23.904$$

**Ecuación 11** Regresión lineal para la estación Carapungo.

$$PM_{2.5} = (-636.77 * AOT) + 19.282$$

**Ecuación 12** Regresión lineal para la estación Centro.

$$PM_{2.5} = (-1552.6 * AOT) + 19.414$$

**Ecuación 13** Regresión lineal para la estación Cotocollao.

$$PM_{2.5} = (-849.58 * AOT) + 22.361$$

**Ecuación 14** Regresión lineal para la estación El Camal.

$$PM_{2.5} = (-3137.8 * AOT) + 25.703$$

**Ecuación 15** Regresión lineal para la estación Guamaní.

$$PM_{2.5} = (1562.4 * AOT) + 11.518$$

**Ecuación 16** Regresión lineal para la estación Los Chillos.

$$PM_{2.5} = (2957 * AOT) + 7.4476$$

**Ecuación 17** Regresión lineal para la estación Tumbaco.

$$PM_{2.5} = (245.2 * AOT) + 13.758$$

**Ecuación 18** Regresión lineal para la estación San Antonio.

A partir de las 18 ecuaciones descritas se calcula el  $PM_{2.5}$  para cada estación, sin embargo, únicamente se modelo tal variable para las fechas con valores de AOT disponibles, en las

figuras 80 y 81 puede observarse ejemplos de base de datos con los valores de PM<sub>2.5</sub> monitoreado, es decir, a nivel de superficie y PM<sub>2.5</sub> modelo, es decir, calculado a partir de los valores de AOT de los satélite MODIS y Sentinel 2, respectivamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
				Belisario [ug/m <sup>3</sup> ]	Belisario model [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo model [ug/m <sup>3</sup> ]	Centro [ug/m <sup>3</sup> ]	Centro model [ug/m <sup>3</sup> ]
L	Fecha	Día julia	AO						
9	2022-01-18	18	0.033	18.2	19.9	19.0	19.0	11.8	13.1
4	2022-02-02	33	0.037	21.5	19.3		9.8	21.5	19.8
5	2022-02-03	34	0.105	31.7	25.9		30.1	26.4	24.1
4	2022-02-22	53	0.229	23.3	21.6	13.5	11.7	26.3	24.2
7	2022-03-07	66	0.161	12.7	14.4	7.0	9.4	11.5	15.1
0	2022-03-30	89	0.219	15.5	19.8	10.8	15.0	17.2	22.5
50	2022-09-06	249	0.091	24.8	29.6	25.3	25.5	25.0	27.6
53	2022-09-09	252	0.135	15.3	16.3	23.8	22.4	19.9	18.1
56	2022-12-21	355	0.201	22.5	18.8	14.4	10.7	23.1	18.3

**Figura 80** Ejemplo de base de datos de PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado a partir del AOT del satélite MODIS para las estaciones Belisario y Carapungo.

	A	B	C	D	E	F	G	H
			Belisario [ug/m <sup>3</sup> ]	Belisario model [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo model [ug/m <sup>3</sup> ]	Centro [ug/m <sup>3</sup> ]	Centro model [ug/m <sup>3</sup> ]
1	Fecha	AOT						
2	2022-01-01	0.0021	23.8	18.0	30.2	15.4	23.0	18.0
7	2022-01-06	0.0025	18.4	17.9	13.9	13.6	17.4	17.7
2	2022-01-11	0.0021	15.7	18.0	14.2	15.4	16.7	18.0
7	2022-01-16	0.0025	20.2	17.9	23.7	13.6	18.5	17.7
2	2022-01-21	0.0021	16.2	18.0	16.7	15.4	16.8	18.0
7	2022-01-26	0.0025	15.8	17.9		13.6	16.2	17.7
2	2022-01-31	0.0021	8.3	18.0		15.4	7.1	18.0
7	2022-02-05	0.0025	16.2	17.9		13.6	14.7	17.7
2	2022-02-10	0.0021	11.7	18.0	7.3	15.4	12.2	18.0
7	2022-02-15	0.0025	18.0	17.9	9.3	13.6	16.6	17.7
2	2022-02-20	0.0021	10.3	18.0	4.9	15.4	9.4	18.0
7	2022-02-25	0.0025	13.8	17.9	7.2	13.6	14.2	17.7
2	2022-03-02	0.0021	12.3	18.0	6.0	15.4	12.9	18.0
7	2022-03-07	0.0025	12.7	17.9	7.0	13.6	11.5	17.7
2	2022-03-12	0.0021	14.2	18.0	8.8	15.4	11.1	18.0
7	2022-03-17	0.0025	16.8	17.9	7.7	13.6	11.3	17.7
2	2022-03-22	0.0021	20.2	18.0	15.8	15.4	21.3	18.0
7	2022-03-27	0.0025	19.5	17.9	11.2	13.6	19.5	17.7
2	2022-04-01	0.0021	18.2	18.0	8.0	15.4	13.5	18.0
7	2022-04-06	0.0025	19.7	17.9	12.0	13.6	19.0	17.7
2	2022-04-11	0.0021	14.6	18.0	9.2	15.4	13.8	18.0
7	2022-04-16	0.0025	16.2	17.9	8.8	13.6	13.1	17.7

**Figura 81** Ejemplo de base de datos de PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado a partir del AOT del satélite Sentinel 2 para las estaciones Belisario y Carapungo.

A partir de las bases de datos de PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado, se calcula mediante una tabla dinámica, el promedio anual PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado a partir de MODIS y Sentinel 2 para cada estación, en el caso del DMQ, y únicamente de PM<sub>2.5</sub> modelado de a partir de MODIS y Sentinel 2 para cada estación en el caso de Ecuador. Esto nos permitirá la creación de los mapas de calidad del aire en el DMQ y Ecuador.

En la tabla 7 se puede observar los promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado a partir de MODIS y Sentinel 2 para cada una de las 9 estaciones de estudio. Puede notarse que existe una diferencia entre promedios de 2 a 4, siendo los de mayor valor, los promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> modelados. Cabe recalcar, que a partir de estos valores se crearon los mapas de calidad del aire.

**Tabla 7** Promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> monitoreado y modelado en el Distrito Metropolitano de Quito.

Estación	Código	Longitud	Latitud	Altitud	Promedio anual PM <sub>2.5</sub> monitoreado [µg/m <sup>3</sup> ]	Promedio anual PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS [µg/m <sup>3</sup> ]	Promedio anual PM <sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2 [µg/m <sup>3</sup> ]
Belisario	1	-78.49	-0.18	2835	17.643	20.612	17.955
Carapungo	2	-78.447	-0.098	2660	14.327	17.076	14.485
Centro	3	-78.51	-0.22	2820	17.576	20.313	17.836
Cotocollao	4	-78.497	-0.108	2739	16.028	18.539	15.889
El Camal	5	-78.51	-0.25	2840	20.578	22.613	20.432
Guamaní	6	-78.551	-0.331	3066	18.687	22.327	18.578
Los Chillos	7	-78.46	-0.3	2453	15.277	19.820	15.066
Tumbaco	8	-78.4	-0.21	2331	14.216	16.601	14.162
San Antonio	9	-78.44	-0.0092	2418	15.030	18.325	14.315

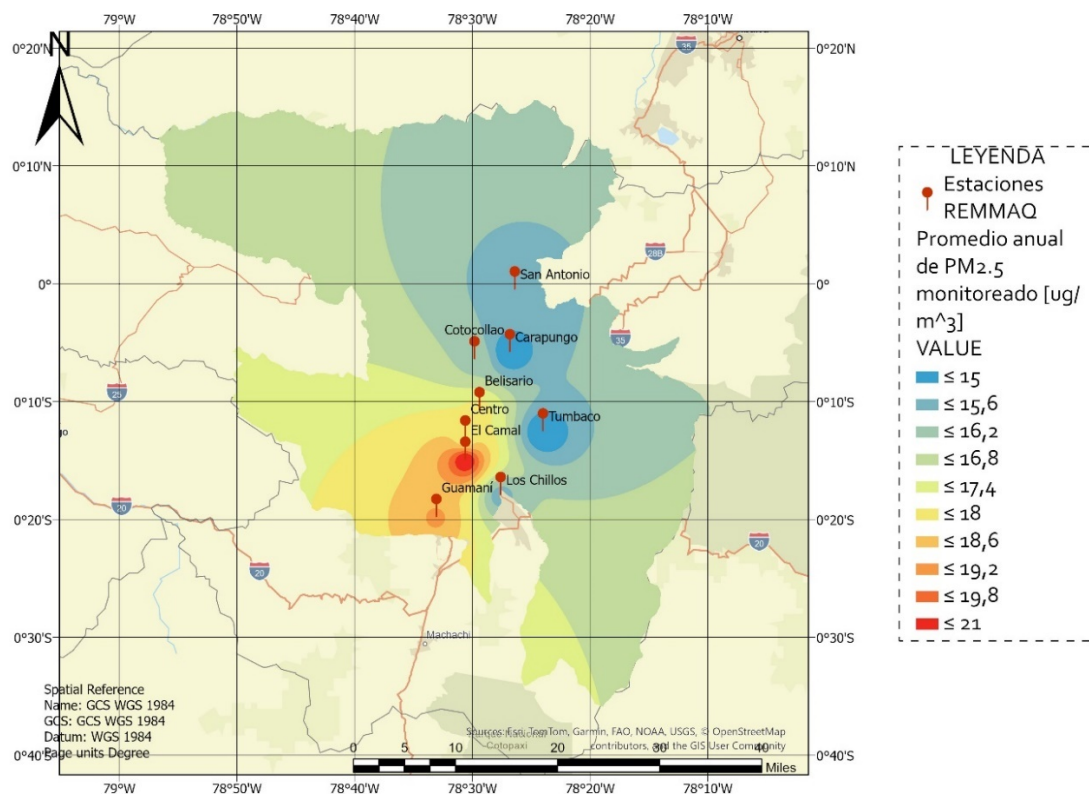
En la tabla 8 se puede observar los promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS y Sentinel 2 para cada una de las 24 estaciones, en este caso, las capitales de las 24 provincias de estudio. Puede notarse que existe una diferencia entre promedios de 2 a 8, siendo los de mayor valor, los promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> modelados. Cabe recalcar, que a partir de estos valores se crearon los mapas de calidad del aire.

**Tabla 8** Promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> y modelado a partir de MODIS y Sentinel 2 en Ecuador.

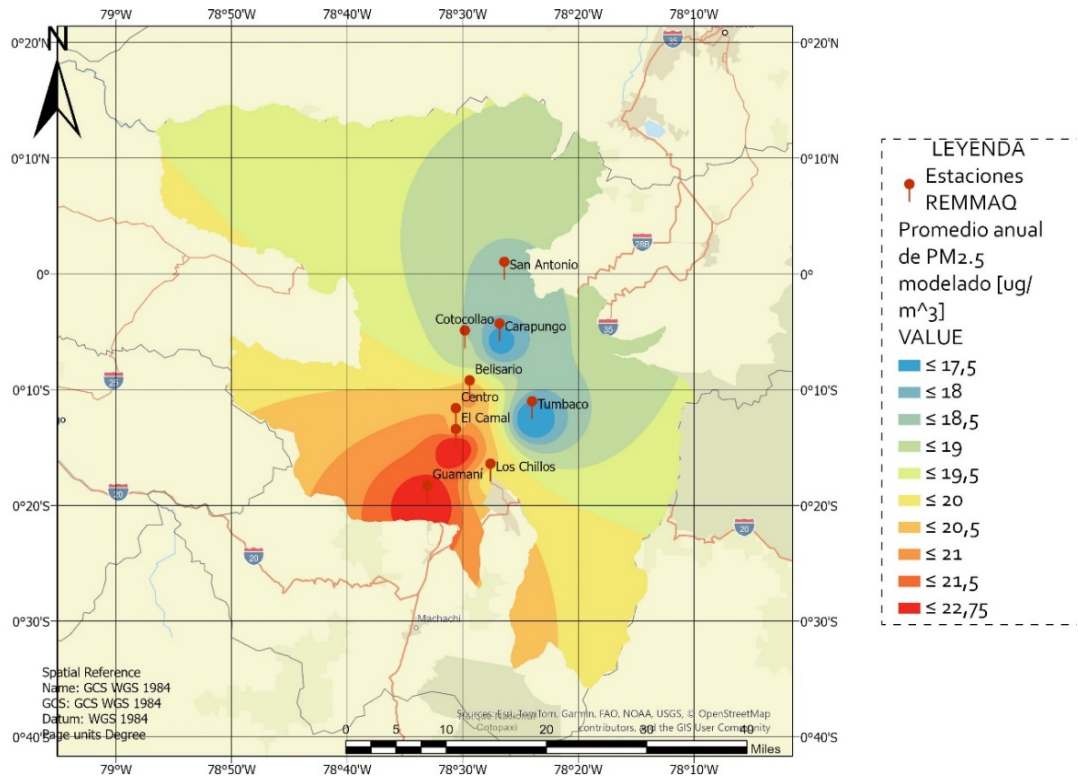
Estación	Código	Longitud	Latitud	Promedio anual PM <sub>2.5</sub> modelado	Promedio anual PM <sub>2.5</sub> modelado a
----------	--------	----------	---------	---	---



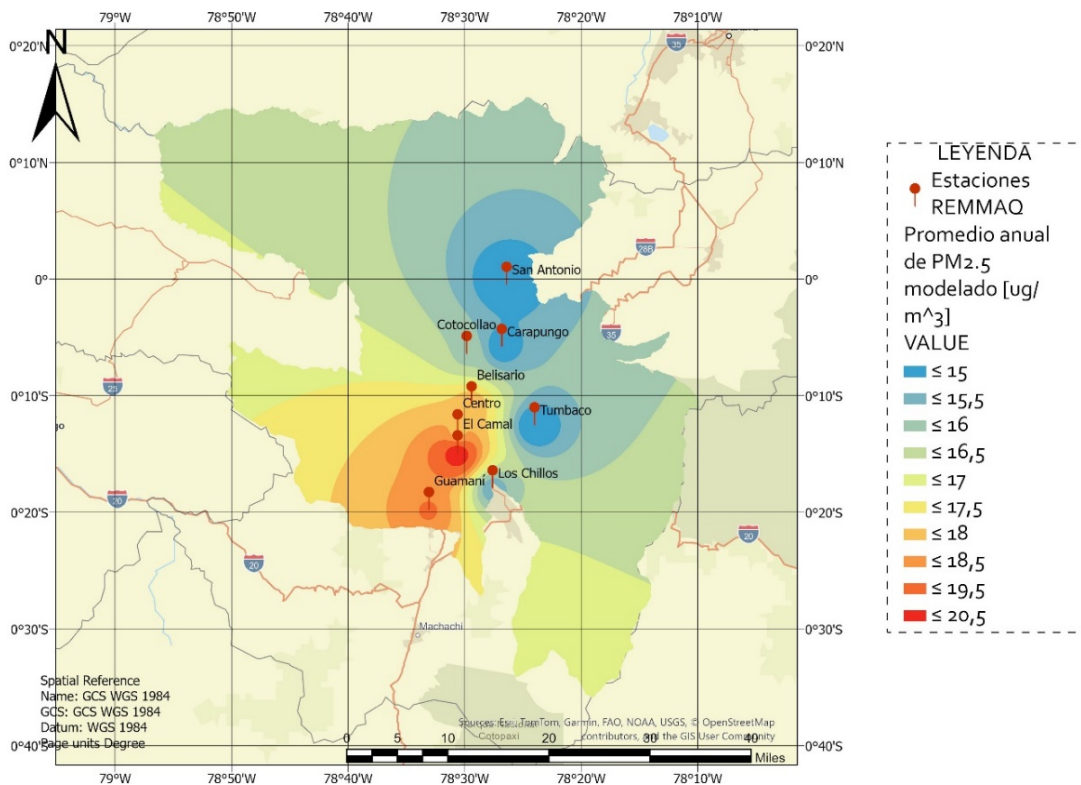
				a partir de MODIS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	partir de Sentinel 2 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Guayaquil	1	-79.888	-2.190	19.820	15.066
Quito	2	-78.513	-0.220	22.613	14.485
Cuenca	3	-79.005	-2.897	20.313	17.836
Santo Domingo de los Colorados	4	-79.172	-0.254	20.017	15.066
Machala	5	-79.967	-3.267	19.820	15.066
Portoviejo	6	-80.455	-1.056	19.820	15.066
Loja	7	-79.200	-3.983	20.313	17.836
Ambato	8	-78.620	-1.242	20.313	17.836
Esmeraldas	9	-79.653	0.967	19.820	15.066
Riobamba	10	-78.648	-1.673	20.313	17.836
Ibarra	11	-78.131	0.363	20.313	17.836
Babahoyo	12	-79.517	-1.817	19.820	15.066
Latacunga	13	-78.616	-0.932	20.313	17.836
Tulcán	14	-77.719	0.812	20.313	17.836
Nueva Loja	15	-76.883	0.085	16.601	14.162
Puerto Francisco de Orellana	16	-76.984	-0.463	16.601	14.162
Santa Elena	17	-80.858	-2.227	19.820	15.066
Azogues	18	-78.833	-2.733	20.313	17.836
Puyo	19	-78.003	-1.486	20.313	14.162
Guaranda	20	-79.000	-1.600	20.313	17.836
Tena	21	-77.816	-0.989	16.601	14.162
Macas	22	-78.133	-2.367	16.601	14.162
Zamora	23	-78.957	-4.069	16.601	14.162



**Figura 82** Mapa de calidad del aire en el DMQ en función de PM<sub>2.5</sub> diario monitoreado.



**Figura 83** Mapa de calidad del aire en el DMQ en función de PM<sub>2.5</sub> diario modelado a partir de MODIS.

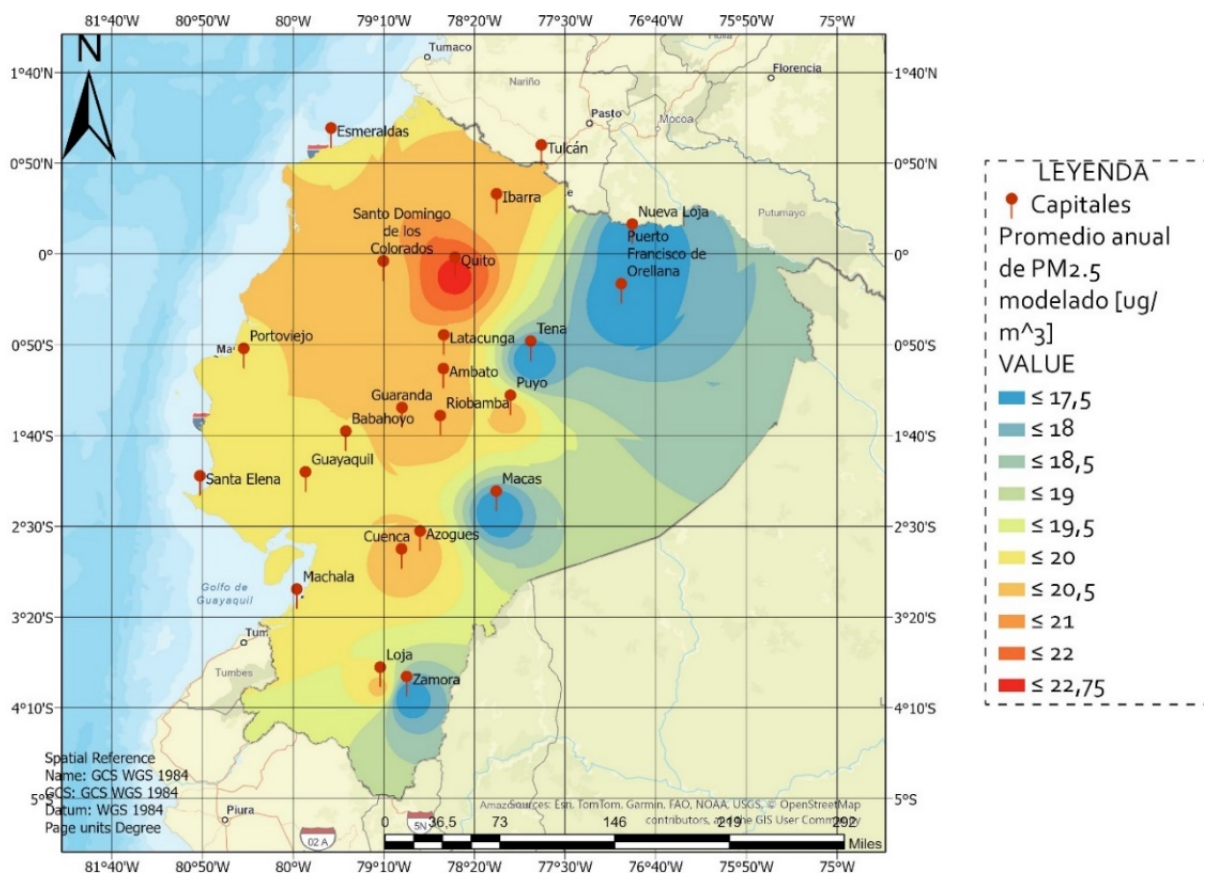


**Figura 84** Mapa de calidad del aire en el DMQ en función de PM<sub>2.5</sub> diario modelado a partir de Sentinel 2.

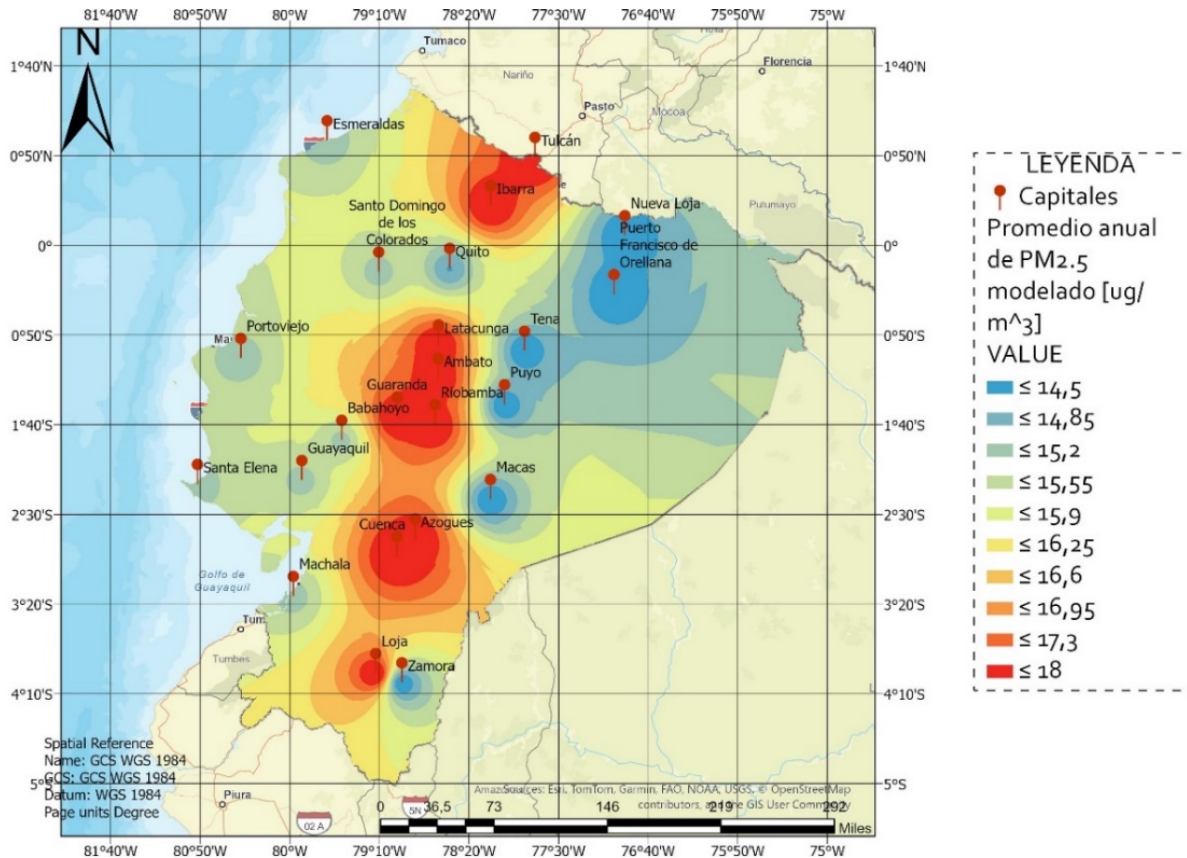
En las figuras 82, 83 y 84 se pueden observar los mapas de calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito en función del  $PM_{2.5}$  monitoreado y modelado a partir de MODIS y Sentinel 2, respectivamente, creados en ArcGIS. Se puede notar una coincidencia significativa entre la distribución espacial de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  anual de los 3 mapas, puesto que, comparten las estaciones con valores más altos.

Cabe indicar que, los 3 mapas nos permiten predecir concentraciones de  $PM_{2.5}$  a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito, sin embargo, el mapa de  $PM_{2.5}$  monitoreado nos proporcionaría concentraciones menores que las del mapa de  $PM_{2.5}$  modelado a partir de MODIS, mientras que, el mapa de  $PM_{2.5}$  modelado a partir de Sentinel 2 nos proporcionaría concentraciones muy similares. Es decir, que ambos mapas se aproximan al mapa real.

Cabe recalcar que, también existen mínimas diferencias, entre ellas, podemos notar la variación de las concentraciones en el noreste y sureste de las estaciones del mapa real con los mapas modelados.



**Figura 85** Mapa de calidad del aire en Ecuador en función de  $PM_{2.5}$  anual modelado a partir de MODIS.



**Figura 86** Mapa de calidad del aire en Ecuador en función de PM<sub>2.5</sub> anual modelado a partir de Sentinel 2.

En las figuras 85 y 86 se pueden observar los mapas de calidad del aire en Ecuador en función del PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS y Sentinel 2, respectivamente, creados en ArcGIS. Se puede notar una diferencia relevante entre la distribución espacial de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> de los 2 mapas, puesto que, el primero posee altas concentraciones alrededor de Quito, mientras que, el segundo las altas concentraciones se distribuyen a lo largo de la región Sierra.

Cabe indicar que, los 2 mapas nos permiten predecir concentraciones de PM<sub>2.5</sub> a lo largo del Ecuador continental, sin embargo, el mapa de PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS nos proporcionaría concentraciones mayores que las del mapa de PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2.

Cabe destacar que, también mínimas similitudes entre estos 2 mapas, entre ellas, podemos notar la variación de las concentraciones en el noreste y sureste de las estaciones del mapa real con los mapas modelados.

Cabe descartar que, la correlación que existe entre los promedios diarios de  $PM_{2.5}$  y AOT para MODIS es mejor que para Sentinel 2, sin embargo, cuando hablamos de promedios anuales, Sentinel 2 supera a MODIS.

Es importante mencionar que, al comparar los promedios anuales de  $PM_{2.5}$  con el límite máximo permisible en la norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente, puede notarse que los valores calculados a nivel de superficie son superados en 7 de las 9 estaciones de monitoreo, mientras que, los valores de  $PM_{2.5}$  modelados a partir del AOT de imágenes MODIS y Sentinel 2, se sobreestiman en todas las estaciones y se exceden en 6 de 9 estaciones, respectivamente. Por otra parte, a nivel nacional, sucede algo similar, con una sobreestimación de la concentración de  $PM_{2.5}$  con MODIS para todas las capitales y una subestimación con Sentinel 2 en capitales amazónicas y en el área de estudio. Dichas sobreestimaciones y subestimaciones de  $PM_{2.5}$  a partir del AOT obtenido de MODIS y Sentinel 2, respectivamente, pueden deberse a varios factores como exceso de nubosidad, exceso de iluminación y la baja disponibilidad de imágenes dentro del área y periodo de estudio, entre otras.

## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

El acceso y descarga de la información satelital sobre calidad del aire es gratuita, tanto para el satélite MODIS como para Sentinel 2, sin embargo, al comparar la cantidad, calidad, facilidad y eficiencia de las imágenes satelitales provistas por estos satélites, MODIS supera en los últimos tres aspectos a Sentinel 2, puesto que, los productos de dicho satélite son diversos y algunos de ellos poseen características específicas para una variable atmosférica como es el caso del producto MOD04\_3K que está estructurado con información exclusivamente del espesor óptico de aerosoles (AOT) lo que permite que su uso sea sencillo, rápido y preciso, ya que, proporcionó coeficientes de correlación altos, y adicionalmente, los productos MODIS son corregidos atmosféricamente continuamente. Por estas razones es que se concluye que los productos MODIS son los más factibles en la utilización de información satelital para estimar el material particulado menor a 2.5 micras a nivel de superficie, pese a que, en cantidad son superados por Sentinel 2.

Al contrastar la información satelital y a nivel de superficie se puede concluir que la estimación de material particulado menor a 2.5 micras en función del espesor óptico de aerosoles no tiene una tendencia lineal, sino más bien polinómica de sexto grado, que puede deberse la naturaleza cambiante de la atmósfera y teniendo en cuenta que siempre se encuentra fluctuando en su composición debido a los procesos de dispersión de

contaminantes. Es por ello, que dicha estimación donde se involucra esta variable intrínseca de las imágenes satelitales está íntimamente sujeta a las condiciones que se consideran para su extracción, es decir, que la precisión de la estimación se encuentra en función de la cantidad, calidad y el nivel de procesamiento que se requiere proporcionar a las imágenes satelitales. En este contexto, mientras exista la disponibilidad de varias imágenes satelitales en el área y periodo de estudio; que se encuentren preprocesadas, es decir, hayan sido corregidas atmosférica y topográficamente que eliminen el exceso de nubosidad o iluminación, se especialicen en el monitoreo de una variable atmosférica en particular y cubra una extensa resolución espacial y temporal ; y, el tipo de formato del archivo a descargar y la facilidad de tratamiento de este para la extracción de la variable en cuestión establecen el nivel de confiabilidad y reproducibilidad que se requiere para la estimación de  $PM_{2.5}$  en función del AOT.

El contraste de información satelital y a nivel de superficie sugiere que la estimación de  $PM_{2.5}$  en función del AOT a nivel local a partir de las imágenes satelitales del sensor MODIS, tanto para un promedio de medición diario como anual, es factible y válido como una alternativa confiable para el monitoreo de calidad del aire. Los coeficientes de correlación diarios resultantes con valores entre 0.79 y 0.96 y la significativa proximidad entre los mapas de calidad del aire monitoreado y modelado anuales, pese a que, existe una leve sobreestimación, implican que el modelamiento  $PM_{2.5}$  en función del AOT, en términos tanto diarios como anuales, son confiables y utilizables en el Distrito Metropolitano de Quito. Por otro lado, las imágenes satelitales del sensor Sentinel 2, al proporcionar coeficientes de correlación diarios entre 0.001 y 0.12, infieren que no es factible ni valido utilizarlas como una alternativa para el monitoreo de la calidad del aire local en términos diarios, sin embargo, en términos anuales, pese a que, existe una leve subestimación, la relevante proximidad entre los mapas de calidad del aire monitoreado y modelado anuales, el modelamiento  $PM_{2.5}$  en función del AOT son confiables y utilizables en el Distrito Metropolitano de Quito.

Se concluye que la información satelital es factible y válida como una alternativa confiable para el monitoreo de la calidad del aire a nivel nacional en términos anuales siempre y cuando las imágenes satelitales utilizadas dispongan de los aspectos de cantidad, calidad, nivel de procesamiento y eficiencia mencionadas, además, es necesario que el contraste de información satelital y a nivel de superficie en términos diarios proporcione altos coeficientes de correlación. En este contexto, la información satelital que requiere menor tratamiento de los datos debido a su formato, que proporcione un gran número de imágenes satelitales, que no requiera corrección atmosférica y/o topográfica adicional, que

proporcione el valor directo del espesor óptico de aerosoles y que monitoree una amplia extensión tanto temporal como espacial y coeficientes de correlación mayor a 0.7 definen el nivel de precisión en la estimación de la concentración del contaminante, en este caso, material particulado menor a 2.5 micras, y establecen hitos para validación de este tipo de información como una alternativa óptima para el monitoreo de la calidad del aire anual en el país. Teniendo en cuenta esto y los resultados del contraste de información obtenidos con el satélite MODIS en términos diarios y anuales a nivel local, se considera que es la fuente de información satelital más apta para implementarla a nivel nacional como una alternativa de monitoreo de calidad del aire factible, válida, gratuita y confiable.

## **4.2 Recomendaciones**

Ampliar el periodo de estudio a más de 3 años para obtener una perspectiva más completa y robusta de los cambios en la variable de interés a lo largo del tiempo.

Utilizar imágenes satelitales descargadas en formato HDF, preprocesadas por el sensor correspondiente y que proporcionen valores directos de la variable de estudio para garantizar una mayor precisión y fiabilidad en los resultados.

Explorar otros tipos de algoritmos para el procesamiento de imágenes, como el Algoritmo Simplificado de Recuperación de Aerosoles (SARA), o considerar otros formatos que no requieran el uso exclusivo de las bandas espectrales de la imagen para obtener resultados más eficientes y precisos.

Integrar parámetros meteorológicos en la modelación y estimación de  $PM_{2.5}$  a partir del AOT para mejorar la precisión y la representatividad de los resultados como una alternativa válida de monitoreo de calidad del aire a nivel nacional.

Evitar el uso de imágenes satelitales con un porcentaje de nubosidad superior al 30% para minimizar la interferencia y obtener mediciones más fiables y consistentes de la variable de interés.

Realizar estudios comparativos en otras ciudades o regiones utilizando el mismo método para corroborar y evaluar la consistencia de los hallazgos y a identificar posibles variaciones geográficas o climáticas que puedan influir en los resultados.

Fortalecer los sistemas de monitoreo a nivel local y desarrollarlos a nivel nacional para la medición continua de la calidad del aire, utilizando tanto datos satelitales como estaciones terrestres. Estos sistemas proporcionarán información localizada y actualizada sobre la concentración de contaminantes atmosféricos, lo que permitirá una gestión más efectiva de la calidad del aire a nivel nacional y local.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda Lozada, K. L., & Neto Jiménez, A. N. (2021). *Modelos parametrizados de calidad de aire en base a sensores remotos en el Distrito Metropolitano de Quito entre los años 2016 al 2019*.
- Chen, G., Li, S., Knibbs, L. D., Hamm, N. A., Cao, W., Li, T., Guo, J., Ren, H., Abramson, M. J., & Guo, Y. (2018). A machine learning method to estimate PM<sub>2.5</sub> concentrations across China with remote sensing, meteorological and land use information. *Science of the Total Environment*, 636, 52-60.
- Cornejo-Vásquez, D., Rodríguez-Espinosa, F., Guasumba, A., & Toulkeridis, T. (2022). Efectos contrastivos de la evaluación de la contaminación ambiental en dos zonas del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida*, 36(2), 98-112.
- Culma Ortiz, I. A. (2021). *Metodología para estimar material particulado PM<sub>2.5</sub> integrando datos de estaciones de monitoreo y sensores remotos en el área urbana de la ciudad de Medellín*.
- Fowler, D., Brimblecombe, P., Burrows, J., Heal, M. R., Grennfelt, P., Stevenson, D. S., Jowett, A., Nemitz, E., Coyle, M., & Liu, X. (2020). A chronology of global air quality. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2183), 20190314.
- Franco, J. F., Gidhagen, L., Morales, R., & Behrentz, E. (2019). Towards a better understanding of urban air quality management capabilities in Latin America. *Environmental Science & Policy*, 102, 43-53.
- Glencross, D, Ho, T, Camina, N, Hawrylowicz, C, & Pfeffer, P. (2020). Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radical Biology and Medicine*, 151, 56-68.
- Guevara Proaño, D. C. (2022). *Estudio de la relación entre las condiciones meteorológicas y la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: EPN, 2022.



- Heredia, M. B., Junquas, C., Prieur, C., & Condom, T. (2018). New statistical methods for precipitation bias correction applied to WRF model simulations in the Antisana region, Ecuador. *Journal of Hydrometeorology*, 19(12), 2021-2040.
- 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*, 281, 111888.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). *Censo 2022*. INEC.  
<https://censoecuador.ecudatanalytics.com>
- Levy, R., Hsu, C., Sayer, A., Mattoo, S., & Lee, J. (2017). *MODIS Atmosphere L2 Aerosol Product, NASA MODIS Adaptive Processing System, Goddard Space Flight Center*.
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Norma de Calidad del Aire Ambiente. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Acuerdo Ministerial No. 097A*. MAE.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Contaminación del aire*. OMS.  
<https://www.who.int/health-topics/air-pollution>
- Páez Pérez, Carlos. (2022a). *Notas de clase de Control de la Calidad y Contaminación del Aire Capítulo 1: Conceptos básicos* (p. 66). Escuela Politécnica Nacional.
- Páez Pérez, Carlos. (2022b). *Notas de clase de Control de la Calidad y Contaminación del Aire Capítulo 9: Medición de los contaminantes en el aire*. (p. 67). Escuela Politécnica Nacional.
- Peláez, L. M. G., Santos, J. M., de Almeida Albuquerque, T. T., Reis Jr, N. C., Andreão, W. L., & de Fátima Andrade, M. (2020). Air quality status and trends over large cities in South America. *Environmental Science & Policy*, 114, 422-435.
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291.

- Qin, W., Fang, H., Wang, L., Wei, J., Zhang, M., Su, X., Bilal, M., & Liang, X. (2021). MODIS high-resolution MAIAC aerosol product: Global validation and analysis. *Atmospheric Environment*, 264, 118684.
- Remer, L. A., Levy, R. C., Mattoo, S., Tanré, D., Gupta, P., Shi, Y., Sawyer, V., Munchak, L. A., Zhou, Y., & Kim, M. (2020). The dark target algorithm for observing the global aerosol system: Past, present, and future. *Remote sensing*, 12(18), 2900.
- Rodríguez-Guerra, A., & Cuvi, N. (2019). Contaminación del aire y justicia ambiental en Quito, Ecuador. *Fronteiras*, 8(3), 13-46.
- Segarra, J., Buchailot, M. L., Araus, J. L., & Kefauver, S. C. (2020). Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy*, 10(5), 641.
- Song, Y., Huang, B., He, Q., Chen, B., Wei, J., & Mahmood, R. (2019). Dynamic assessment of PM<sub>2.5</sub> exposure and health risk using remote sensing and geo-spatial big data. *Environmental Pollution*, 253, 288-296.
- Xue, T., Zheng, Y., Geng, G., Zheng, B., Jiang, X., Zhang, Q., & He, K. (2017). Fusing observational, satellite remote sensing and air quality model simulated data to estimate spatiotemporal variations of PM<sub>2.5</sub> exposure in China. *Remote Sensing*, 9(3), 221.
- Yang, Q., Yuan, Q., Yue, L., Li, T., Shen, H., & Zhang, L. (2019). The relationships between PM<sub>2.5</sub> and aerosol optical depth (AOD) in mainland China: About and behind the spatio-temporal variations. *Environmental Pollution*, 248, 526-535.
- Yuan, Q., Shen, H., Li, T., Li, Z., Li, S., Jiang, Y., Xu, H., Tan, W., Yang, Q., & Wang, J. (2020). Deep learning in environmental remote sensing: Achievements and challenges. *Remote Sensing of Environment*, 241, 111716.
- Zalakeviciute, R., Bastidas, M., Buenaño, A., & Rybarczyk, Y. (2020). A traffic-based method to predict and map urban air quality. *Applied Sciences*, 10(6), 2035.

## 6 ANEXOS

### ANEXO I. Promedios diarios de PM<sub>2.5</sub> de la REMMAQ.

Fecha	PM <sub>2.5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]								
	Belisario	Carapungo	Centro	Cotocollao	El Camal	Guamaní	Los Chillos	Tumbaco	San Antonio
2022-01-01	23.8	30.2	23.0	29.2	34.1	46.0		21.0	19.6
2022-01-02	15.1	13.8	8.3	15.4	17.0	15.1		10.4	13.2
2022-01-03	16.2	14.0	14.0	17.4	23.0	18.1	17.0	10.9	17.3
2022-01-04	17.2	13.6	18.5	14.8	26.3	20.6	14.7	11.1	17.5
2022-01-05	9.9	0.6	9.7	9.8	15.5	12.8	8.8	6.2	9.9
2022-01-06	18.4	13.9	17.4	17.2	18.9	19.7	18.5	14.3	17.0
2022-01-07	20.2	18.7	17.9	17.8	25.1	20.1	18.3	15.0	16.5
2022-01-08	17.0	16.6	16.1	17.5		22.5	14.3	14.2	15.0
2022-01-09	15.2	13.5	16.4	13.8		19.0	15.8	14.4	13.6
2022-01-10	10.4	6.7	8.2	8.7	13.6	12.9	7.9	6.2	8.2
2022-01-11	15.7	14.2	16.7	13.2	21.7	20.7	9.9	11.2	15.2
2022-01-12	14.3	10.5	13.4	10.4	16.6	17.6	11.4	8.0	14.8
2022-01-13	11.8	8.6	9.7	7.6	13.3	16.1	9.8	6.1	6.7
2022-01-14	20.1	18.2	19.8	15.0	22.2	19.9	20.3	16.5	12.1
2022-01-15	20.3	21.0	19.7	20.9	20.6	20.6	20.4	18.6	18.3
2022-01-16	20.2	23.7	18.5	23.5	21.7	16.0	15.3	16.6	17.4
2022-01-17	21.1	18.6	21.8	21.0	25.5	20.6	19.6	16.1	21.4
2022-01-18	18.2	19.0	11.8	16.6	23.8	18.5	15.5	16.5	17.6
2022-01-19	13.2	14.9	13.5	15.6	18.4	15.2	15.4	12.0	12.8
2022-01-20	9.2	13.7	12.4	11.2	15.9	11.8	13.4	10.2	15.9
2022-01-21	16.2	16.7	16.8	16.9	17.4	20.4	14.7	11.1	15.8
2022-01-22	14.6	12.7	13.9	13.0	18.0	18.1	14.6	11.6	9.6
2022-01-23	16.7	16.9	7.9	13.9	20.8	17.9	17.0	13.2	11.9

2022-01-24	17.5	16.9	15.6	15.5	19.8	21.4	17.3	12.5	21.2
2022-01-25	9.2	7.4	9.1	6.4	15.2	14.2	6.8	5.6	9.8
2022-01-26	15.8		16.2	12.5	23.9	20.2	14.5	10.6	10.6
2022-01-27	11.2		10.5	7.1	15.6	12.0	8.9	5.8	7.6
2022-01-28	9.0		9.1	6.3	11.9	13.1	8.1	4.7	
2022-01-29	8.6		8.0	5.7	12.6	12.7	8.9	5.3	8.9
2022-01-30	7.1		7.0	5.5	11.2	9.3	7.3	4.2	5.6
2022-01-31	8.3		7.1	5.7	15.4	12.4	4.9	3.1	8.2
2022-02-01	10.5		9.7	7.4	14.9	12.0	8.0	6.0	5.9
2022-02-02	21.5		21.5	18.8	22.3	24.4	16.7	11.9	13.1
2022-02-03	31.7		26.4	26.5	29.1	26.4	26.6	18.8	22.8
2022-02-04	23.5		20.8	15.0	25.4	26.3	19.9	13.0	14.5
2022-02-05	16.2		14.7	12.7	16.8	18.9	16.1	13.7	7.6
2022-02-06	10.1		10.0	8.7	12.9	14.7	11.5	8.3	5.6
2022-02-07	19.3		18.8	13.1	21.2	19.7	20.0	10.7	10.3
2022-02-08	16.4		16.4	10.3	20.3	16.3	11.2	6.3	8.8
2022-02-09	16.1	2.8	16.0	15.5	17.5	19.7	13.2	9.0	9.8
2022-02-10	11.7	7.3	12.2	9.5	16.6	15.2	10.4	6.0	6.2
2022-02-11	12.5	6.2	9.6	7.7	14.6	14.4	11.5	6.1	9.2
2022-02-12	11.8	6.5	11.3	8.3	15.3	15.0	10.7	6.7	9.9
2022-02-13	8.9	6.1	8.1	8.1	14.0	12.5	9.3	7.1	5.9
2022-02-14	14.9	9.2	14.6	11.9	16.1	14.1	11.6	8.3	7.4
2022-02-15	18.0	9.3	16.6	14.1	22.7	21.3	12.0	10.3	8.1
2022-02-16	23.2	13.4	22.3	18.4	27.7	24.5	20.6	15.1	14.4
2022-02-17	23.8	13.9	22.7	16.1	23.8	23.5	20.3	14.5	16.1
2022-02-18	21.2	8.0	18.3	10.6	21.5	19.3	17.8	10.5	6.9
2022-02-19	9.0	7.2	10.2	8.6	13.4	14.7	11.8	6.5	8.1
2022-02-20	10.3	4.9	9.4	5.8	12.7	12.6	10.0	4.9	5.6
2022-02-21	11.3	6.3	10.9	8.2	16.5	13.8	11.4	6.5	8.7

2022-02-22	23.3	13.5	26.3	17.6	24.5	28.2	26.7	20.8	13.5
2022-02-23	26.4	16.8	29.1	21.8	31.9	30.7	24.1	21.6	16.8
2022-02-24	14.2	6.5	12.9	9.4	16.3	15.6	10.4	6.0	8.5
2022-02-25	13.8	7.2	14.2	10.4	21.0	18.5	12.5	8.5	9.1
2022-02-26	13.3	7.6	13.9	12.2	18.0	19.7	11.3	12.8	6.6
2022-02-27	12.1	6.6	12.6	9.7	19.7	15.4	9.8	9.8	6.6
2022-02-28	10.0	7.1	11.6	8.1	19.9	16.6	12.2	10.9	11.8
2022-03-01	9.7	6.4	8.2	8.3	13.6	14.9	1.5	9.7	11.2
2022-03-02	12.3	6.0	12.9	8.5	19.0	16.6	10.3	6.6	7.2
2022-03-03	11.8	6.3	11.6	9.6	17.3	14.9	7.9	7.2	7.8
2022-03-04	14.5	8.8	13.2	12.2	15.5	17.4	11.6	9.2	10.0
2022-03-05	15.0	2.9	12.3	9.5	17.9	15.7	9.6	7.9	6.5
2022-03-06	9.7	6.6	9.5	9.7	13.3	15.0	8.1	9.4	6.8
2022-03-07	12.7	7.0	11.5	9.9	14.8	12.7	10.0	8.9	6.7
2022-03-08	13.0	9.2	11.2	12.8	18.1	17.4	11.8	9.6	7.4
2022-03-09	14.7	12.6	15.6	15.4	25.4	20.2	11.2	12.2	15.9
2022-03-10	13.4	10.3	13.7	13.6	18.9	22.0	11.0	12.0	12.5
2022-03-11	14.8	8.1	12.8	11.5	19.8	15.1	12.6	11.2	8.0
2022-03-12	14.2	8.8	11.1	11.2	14.6	14.3	13.3	9.3	11.6
2022-03-13	5.4	11.2	10.9	8.8	18.0	15.4	10.4	10.8	11.1
2022-03-14	17.7	9.1	15.1	14.0	21.1	20.0	11.2	9.8	11.9
2022-03-15	10.8	6.6	11.0	9.8	17.8	14.4	9.1	8.8	8.4
2022-03-16	11.1	8.5	14.1	10.5	16.1	19.9	11.9	10.4	12.0
2022-03-17	16.8	7.7	11.3	10.4	16.0	15.0	8.4	6.8	9.2
2022-03-18	23.7	12.3	20.0	16.7	24.6	25.6	16.5	17.7	13.0
2022-03-19	15.8	8.6	15.1	11.9	19.1	21.3	11.1	8.3	8.5
2022-03-20	12.1	7.1	11.2	10.1	17.5	13.8	10.7	8.1	6.7
2022-03-21	12.5	9.7	13.8	12.2	17.7	15.7	10.2	10.2	9.4
2022-03-22	20.2	15.8	21.3	18.6	24.5	24.4	16.7	14.3	12.0

2022-03-23	18.6	11.0	16.1	14.6	21.4	17.6	14.0	11.9	13.7
2022-03-24	14.9	7.8	14.7	10.8	18.7	20.0	9.2	7.5	10.4
2022-03-25	22.0	11.6	20.7	16.3	26.4	25.9	16.4	11.9	14.3
2022-03-26	16.0	7.6	17.6	11.0	19.8	19.5	10.4	5.8	10.0
2022-03-27	19.5	11.2	19.5	16.8	25.7	23.2	13.4	13.3	11.8
2022-03-28	21.1	14.4	19.9	16.0	23.7	20.9	17.6	14.3	14.4
2022-03-29	15.2	7.5	13.8	10.9	15.1	13.5	11.6	8.0	9.1
2022-03-30	15.5	10.8	17.2	13.1	25.0	22.3	13.5	9.8	11.8
2022-03-31	23.6	12.4	23.3	18.7	27.0	21.8	14.7	14.5	14.7
2022-04-01	18.2	8.0	13.5	12.2	18.3	17.9	11.3	10.2	7.9
2022-04-02	12.3	10.0	11.7	13.0	17.6	14.8	13.5	11.6	9.6
2022-04-03	14.0	11.0	12.4	12.0	16.3	11.7	13.1	12.0	11.8
2022-04-04	19.5	12.2	17.6	18.6	22.9	20.2	17.0	12.8	13.8
2022-04-05	16.2	10.9	15.2	16.3	19.9	12.7	13.2	11.0	12.3
2022-04-06	19.7	12.0	19.0	16.4	21.3	17.1	17.2	12.4	14.0
2022-04-07	24.4	11.9	17.0	16.9	21.4	18.5	16.8	12.5	13.6
2022-04-08	21.7	12.2	21.2	14.4	25.6	20.3	15.9	13.0	15.2
2022-04-09	15.7	9.5	12.3	11.2	17.5	17.0	11.6	9.3	9.5
2022-04-10	15.3	6.9	10.6	8.0	11.7	12.1	9.8	8.0	8.0
2022-04-11	14.6	9.2	13.8	13.6	17.8	14.3	11.7	9.0	13.3
2022-04-12	16.0	9.5	14.5	12.6	21.1	18.4	12.5	9.1	13.9
2022-04-13	19.5	13.4	18.7	17.5	23.8	24.7	18.9	17.8	18.7
2022-04-14	14.9	13.3	14.0	15.8	18.3	16.0	16.7	13.8	17.2
2022-04-15	11.7	12.5	10.9	13.4	16.6	10.8	14.7	14.4	17.8
2022-04-16	10.2	9.9	12.1	12.6	16.4	12.7	13.9	10.6	12.0
2022-04-17	11.7	9.0	12.1	9.7	15.5	12.4	9.3	8.0	9.3
2022-04-18	13.5	7.9	12.6	9.0	17.1	14.9	11.9	9.3	13.1
2022-04-19	13.4	7.6	14.0	11.8	19.6	16.2	10.0	10.3	10.0
2022-04-20	16.6	9.5	15.1	0.8	19.9	18.7	14.0	11.0	10.8

2022-04-21	14.9	9.0	12.1	12.9	19.5	20.0	12.1	8.9	9.2
2022-04-22	12.5	7.2	10.6	10.3	14.7	18.4	8.1	7.4	8.3
2022-04-23	12.6	9.0	13.9	11.2	20.5	20.8	10.8	7.5	12.2
2022-04-24	11.8	7.5	12.5	10.6	5.4	16.5	12.5	8.9	5.0
2022-04-25	16.5	11.2	15.6	14.9	22.8	19.9	14.3	11.1	12.3
2022-04-26	18.5	15.2	15.5	16.8	21.9	14.8	13.2	13.6	18.6
2022-04-27	16.1	9.6	16.8	11.8	18.2	18.8	15.3	12.8	11.6
2022-04-28	18.9	9.8	22.8	12.9	28.0	25.7	19.3	11.3	10.7
2022-04-29	13.6	15.1	14.1	16.3	20.3	10.1	15.2	16.6	17.0
2022-04-30	6.2	8.5	5.6	8.3	12.9	6.6	8.2	10.0	13.2
2022-05-01	12.3	10.6	9.2	12.1	10.8	11.8	10.4	11.8	13.2
2022-05-02	13.5	13.7	11.6	15.5	14.0	14.4	13.5	14.2	14.4
2022-05-03	17.0	14.3	12.5	16.4	17.1	13.4	16.0	17.1	18.3
2022-05-04	17.5	12.8	18.7	18.1	22.8	18.7	16.6	16.1	16.9
2022-05-05	16.9	9.5	17.1	14.4	24.9	25.6	13.0	10.2	11.1
2022-05-06	22.7	12.3	23.9	16.9	27.7	24.6	18.1	12.7	14.9
2022-05-07	14.2	12.2	13.0	13.5	19.8	10.8	12.6	13.4	13.6
2022-05-08	13.5	14.3	13.3	12.6	17.5	10.6	11.7	14.7	16.0
2022-05-09	16.9	11.9	13.6	20.4	23.9	15.6	12.5	13.6	18.0
2022-05-10	19.8	13.8	21.1	16.6	24.1	16.0	17.8	14.9	14.0
2022-05-11	14.5	9.5	13.7	12.4	16.9	18.3	13.1	9.2	15.1
2022-05-12	27.7	13.4	17.8	18.1	26.3	18.8	16.8	13.3	15.3
2022-05-13	14.3	13.8	14.9	17.8	21.0	13.6	18.3	16.5	20.8
2022-05-14	16.9	9.6	14.5	13.2	20.9	14.0	12.0	11.9	9.4
2022-05-15	30.7	7.9	11.5	10.7	16.9	20.5	6.7	6.6	9.2
2022-05-16		7.4	12.3	10.3	15.2	12.8	10.6	8.9	9.4
2022-05-17	20.8	9.8	16.2	13.4	18.7	15.3	9.6	8.5	14.6
2022-05-18	19.0	8.5	17.2	13.6	20.1	14.4	14.0	8.6	9.3
2022-05-19	13.9	7.6	14.7	11.5	18.9	13.7	8.7	6.9	12.1

2022-05-20	18.0	11.4	16.8	15.2	22.0	18.2	13.0	9.7	9.8
2022-05-21	17.7	13.5	17.2	19.4	20.3	17.7	13.5	13.7	14.4
2022-05-22	15.7	11.8	15.5	14.4	19.0	17.4	13.4	13.6	12.6
2022-05-23	13.9	8.5	12.4	8.6	16.0	17.2	15.9	13.7	7.3
2022-05-24	19.1	13.2	17.6	15.2	24.9	18.5	16.6	15.5	15.3
2022-05-25	12.6	12.3	11.3	16.9	18.5	12.7	14.1	11.0	13.9
2022-05-26	14.5	9.4	13.5	16.5	17.2	14.7	12.6	10.1	10.6
2022-05-27	12.7	14.5	11.0	14.2	19.9	15.2	13.2	12.6	14.2
2022-05-28	13.5	14.6	14.6	15.4	21.4	12.3	15.0	16.1	16.8
2022-05-29	12.6	13.2		15.4	17.5	14.7	12.3	14.9	12.2
2022-05-30	24.2	15.2	30.1	18.0	33.9	16.8	20.9	18.2	15.9
2022-05-31	24.8	16.3	25.0	19.6	35.2	26.5	14.3	16.7	18.6
2022-06-01	25.5	10.8	29.6	16.7	29.1	24.1	20.6	17.5	12.7
2022-06-02	14.8	7.5	17.3	11.2	21.9	19.5	13.3	9.9	11.9
2022-06-03	17.7	10.0	16.3	13.4	19.6	16.4	13.4	13.0	11.5
2022-06-04	13.0	8.4	12.9	11.2	21.3	20.0	13.9	9.8	9.2
2022-06-05	14.5	11.4	16.1	12.7	20.9	16.1	12.7	11.3	13.0
2022-06-06	20.3	14.2	20.2	20.0	27.3	19.8	19.2	16.4	14.6
2022-06-07	19.6	17.2	22.5	18.8	26.9	20.0	15.8	15.2	17.8
2022-06-08	18.8	11.5	17.7	15.6	19.7	21.1	13.8	10.0	9.1
2022-06-09	15.7	8.4	12.5	10.8	21.9	16.0	8.9	9.0	8.1
2022-06-10	16.8	9.7	16.7	12.0	19.8	19.8	10.9	9.1	8.3
2022-06-11	18.7	11.8	21.8	18.5	29.5	21.2	18.0	13.9	12.4
2022-06-12	11.4	11.0	13.3	13.5	18.4		11.9	12.3	9.5
2022-06-13	17.1	10.9	15.8	15.2	17.8	16.3	13.4	10.3	13.0
2022-06-14	19.1	14.1	15.7	17.0	21.6	16.2	14.0	11.8	13.6
2022-06-15	17.3	12.6	14.8	16.0	20.9	20.8	12.2	12.6	12.3
2022-06-16	14.2	11.8	15.3	17.7	20.3	24.5	13.9	13.8	14.2
2022-06-17	16.4	11.1	15.9	15.3	21.2	21.2	12.3	14.4	14.8



2022-06-18	12.0	7.3	11.0	11.0	15.3	16.4	10.0	8.0	7.9
2022-06-19	11.4	11.3	12.2	10.1	18.3	26.7	11.7	10.1	10.7
2022-06-20	10.8	20.5	17.3	15.3	24.6	19.2	14.7	15.3	18.7
2022-06-21	14.4	15.7	16.9	16.5	26.4	15.5	15.3	20.0	25.8
2022-06-22	16.6	14.1	17.1	16.9	18.8	18.3	18.2	12.7	11.4
2022-06-23	12.1	8.6	12.2	11.3	16.5	12.9	11.2	9.1	15.2
2022-06-24	10.2	6.0	11.1	7.4	15.3	16.0	9.0	8.4	8.4
2022-06-25	6.5	6.8	5.6	6.7	10.3	7.5	8.8	8.0	7.7
2022-06-26	5.3	6.1	6.7	7.7	10.2	5.7	7.4	9.2	8.4
2022-06-27	9.5	10.2	10.2	12.5	17.7	12.5	11.0	10.1	11.0
2022-06-28	17.6	11.2	17.4	16.8	27.6	23.0	13.3	11.7	13.9
2022-06-29	13.3	13.7	14.1	14.5	17.2	26.4	12.2	11.9	14.8
2022-06-30	15.6	11.9	15.6	15.7	19.8	14.4	15.1	12.9	13.3
2022-07-01	19.0	15.1	20.7	16.9	23.4	14.5	11.3	14.1	16.7
2022-07-02	12.0	13.7	12.3	15.8	17.4	11.3	14.6	12.2	17.5
2022-07-03	7.5	8.6	8.3	8.5	11.9	9.9	11.2	10.5	9.7
2022-07-04	10.7	8.9	8.1	10.9	14.5	13.6	10.5	11.0	9.7
2022-07-05	11.9	11.8	10.8	14.4	13.8	12.4	12.9	11.0	12.6
2022-07-06	12.1	10.0	11.6	12.1	16.3	12.4	13.2	10.3	11.5
2022-07-07	10.4	11.8	7.6	11.2	12.3	8.1	13.2	13.1	14.0
2022-07-08	7.6	13.3	8.5	18.9	12.2	8.4	15.8	14.1	15.1
2022-07-09	10.3	11.9	10.1	12.2	13.1	9.9	14.6	13.5	12.4
2022-07-10	12.2	10.3	10.1	13.0	14.0	12.0	13.7	14.2	14.4
2022-07-11	19.7	11.5	17.3	16.5	22.0	20.5	14.7	9.5	13.7
2022-07-12	15.8	12.1	14.6	14.1	17.8	15.1	12.1	9.6	9.5
2022-07-13	20.7	13.6	21.8	15.4	28.9	21.4	15.8	15.0	16.0
2022-07-14	21.3	13.8	19.3	17.3	20.9	16.8	15.5	12.8	13.3
2022-07-15	17.2	12.5	17.8	15.7	21.8	19.4	16.3	14.9	14.6
2022-07-16	20.9	14.2	20.0	14.8	28.5	22.8	14.7	14.7	13.2

2022-07-17	10.5	10.8	9.7	12.6	15.4	9.5	12.1	13.1	13.7
2022-07-18	6.7	10.0	8.1	10.4	12.7	6.1	10.3	7.5	10.6
2022-07-19	7.1	6.8	13.1	9.7	12.8	5.5	8.5	8.6	12.1
2022-07-20	8.2	11.5	9.2	14.6	9.0	9.0	16.3	12.0	10.7
2022-07-21	13.2	16.2	13.4	15.0	15.8	12.7	14.8	12.0	21.8
2022-07-22	17.3	13.1	20.9	16.3	18.5	17.2	14.4	11.6	15.2
2022-07-23	17.4	14.3	15.4	15.2	20.5	14.8	15.9	13.2	10.7
2022-07-24	10.2	9.2	11.3	9.6	16.1		9.8	9.6	9.0
2022-07-25	14.9	12.1	19.0	14.6	21.2	13.3	12.6	13.9	13.8
2022-07-26	12.6	11.2	12.5	11.9	15.8	13.1	9.0	8.3	11.2
2022-07-27	15.1	8.2	13.7	10.4	15.3	13.0	8.7	6.3	8.4
2022-07-28	15.9	11.3	16.8	13.4	24.8	14.9	13.3	7.6	8.2
2022-07-29	13.3	14.4	12.2	16.5	17.6	12.6	12.2	14.5	17.3
2022-07-30	11.4	16.4	12.2	14.6	20.5	7.8	13.0	19.6	13.4
2022-07-31	14.1	12.8	11.7	13.3	14.8		12.8	11.6	13.5
2022-08-01	20.6	25.1	16.0	19.8	16.1	15.9	8.2	25.1	23.9
2022-08-02	15.5	24.3	15.9	21.6	13.1	12.5	8.7	22.7	22.5
2022-08-03	18.7	21.4	18.4	18.0	12.8	15.7	10.7	22.5	15.6
2022-08-04	15.3	17.7	15.6	16.2	10.8	12.5	9.8	25.1	10.0
2022-08-05	13.0	19.3	12.8	14.9	9.9	9.5	10.6	23.6	
2022-08-06	17.8	21.5	16.9	19.4	13.3	13.4	12.6	24.1	
2022-08-07	24.4	27.8	27.6	24.9	18.6	20.7	12.4	21.4	
2022-08-08	29.3	22.6	29.1	27.9	19.0	21.3	10.4	19.4	
2022-08-09	29.2	26.9	30.1	27.6	19.4	24.3	11.0	19.2	
2022-08-10	27.2	24.3	25.4	25.6	20.3	19.1	9.9	18.2	
2022-08-11	25.3	27.9	24.8	28.2	18.5	23.3	12.6	23.7	
2022-08-12	34.3	32.9	38.7	27.5	32.2	30.9	23.0	35.9	
2022-08-13	45.9	40.4	45.1	43.0	28.7	38.9	24.7	40.4	
2022-08-14	41.8	33.2	38.7		27.5	25.6	19.2	34.9	

2022-08-15	25.3	30.9	22.0	35.3	19.0	16.3	14.6	28.3	
2022-08-16	21.9	29.7	25.0	27.2	20.0	17.5	11.7	22.0	25.4
2022-08-17	26.2	31.2	29.1	27.8	20.8	22.7	14.9	23.6	24.2
2022-08-18	25.4	28.8	27.7	23.7	19.1	23.2	15.7	27.8	25.8
2022-08-19	31.1	25.0	29.2	25.2	19.3	19.7	14.3	23.8	19.6
2022-08-20	30.3	26.6	26.7	24.2	15.9	20.0	8.6	21.2	19.5
2022-08-21	38.9	29.2	35.1	27.3	25.5	32.4	17.6	32.6	20.7
2022-08-22	43.6	38.0	45.9	40.7	37.4	35.9	18.3	40.2	35.9
2022-08-23	60.6	45.7	59.3	43.7	51.7	41.4	21.9	40.1	37.8
2022-08-24	46.5	33.0	46.1	34.4	36.5	31.4	17.4	30.3	29.1
2022-08-25	34.1	31.1	32.9	31.4	25.4	22.4	17.0	28.4	26.7
2022-08-26	26.5	32.5	32.6	30.6	25.5	22.5	17.0	33.5	29.8
2022-08-27	32.8	37.3	33.7	33.4	26.2	25.1	19.0	36.6	38.0
2022-08-28	34.5	35.1	32.9	32.3	25.6	28.5	16.5	34.5	29.5
2022-08-29	48.2	35.5	52.1	40.1	42.0	34.2	21.4	30.4	30.4
2022-08-30		43.0	53.3	43.8	38.2	34.5	19.4	37.4	28.2
2022-08-31		34.1	38.6	38.0	27.3	30.2	19.3	37.2	26.7
2022-09-01	23.1	20.0	25.0	25.0	29.5	28.1	22.9	22.8	22.3
2022-09-02	25.3	23.1	26.1	23.3	30.6	23.4	21.6	21.7	20.8
2022-09-03	13.9	21.3	19.7	12.5	16.8	10.8	16.1	18.8	17.5
2022-09-04	10.2	34.1	9.4	13.3	13.8		12.2	10.3	17.1
2022-09-05	21.0	33.4	19.9	26.4	25.3	29.9	28.1	24.4	27.2
2022-09-06	24.8	25.3	25.0	23.6	25.1	27.7	28.2	26.9	30.4
2022-09-07	15.4	33.8	18.1	22.9	26.3	16.8	22.0	17.8	23.0
2022-09-08	19.6	45.9	26.8	22.6	25.2	16.6	18.5	19.5	21.3
2022-09-09	15.3	23.8	19.9	22.1	18.9	15.1	19.5	19.6	25.3
2022-09-10	8.4		18.4	8.4	11.0	10.0	13.3	11.9	17.8
2022-09-11	8.3		13.6	11.3	13.5	12.3	12.7	11.6	14.5
2022-09-12	20.1		24.2	22.5	26.7	24.9	19.2	17.4	18.1

2022-09-13	19.2	9.3	23.7	24.3	22.1	18.1	18.4	18.2	23.1
2022-09-14	23.1	18.3	22.6	21.8	24.3	18.3	17.6	17.7	19.9
2022-09-15	17.8	15.0	16.3	20.2	22.6	13.2	14.5	13.8	15.7
2022-09-16	18.6	11.8	20.8	13.9	18.9	16.7	14.3	10.8	10.0
2022-09-17	26.0	17.4	25.5	21.4	27.0	28.0	22.1	15.7	16.5
2022-09-18	17.3	16.5	16.8	18.1	19.5	15.0	14.4	14.4	13.2
2022-09-19	18.8	14.4	17.5	14.7	24.7	19.5	16.7	15.6	15.5
2022-09-20	22.4	14.1	23.1	18.6	24.7	24.7	20.3	14.4	13.2
2022-09-21	28.5	18.1	25.8	20.5	26.3	27.1	23.2	20.1	16.7
2022-09-22	27.5	18.8	24.0	23.0	28.7	26.7	18.9	18.7	19.5
2022-09-23	20.8	17.9	19.9	23.6	22.2	17.0	19.5	18.6	18.2
2022-09-24	18.4	22.6	19.8	20.9	26.5	22.1	22.5	21.2	17.9
2022-09-25	25.9	23.3	35.0	25.4	33.2	23.7	29.0	25.4	21.8
2022-09-26	15.4	20.1	20.3	21.6	19.8	11.2	16.0	16.8	19.3
2022-09-27	11.9	14.9	13.7	16.9	18.5	12.7	20.7	14.1	17.1
2022-09-28	21.3	20.5	20.6	22.0	24.8	23.8	26.4	20.8	21.5
2022-09-29	21.8	12.8	20.8	17.0	24.2	28.8	26.0	13.3	11.6
2022-09-30	25.0	19.3	23.8	22.9	27.4	23.6	21.4	20.0	22.0
2022-10-01	6.3	11.5	7.6	10.4	13.6	10.4	12.3	9.3	12.6
2022-10-02	6.8	7.1	6.7	7.4	11.2	8.2	10.5	8.8	15.2
2022-10-03	8.8	10.8	9.9	12.4	13.9	10.5	14.7	12.5	16.5
2022-10-04	14.0	14.7	14.6	16.7	21.5	14.7	23.6	19.3	15.8
2022-10-05	23.7	15.4	25.3	17.7	28.8	24.2	23.1	19.0	15.7
2022-10-06	25.3	19.1	28.6	21.9	33.6	37.4	27.9	24.3	18.7
2022-10-07	29.9	21.6	36.0	25.6	38.8	38.7	30.4	27.7	20.4
2022-10-08	19.0	13.1	20.1	14.9	23.9	19.8	22.4	14.0	12.1
2022-10-09	14.7	15.9	13.5	16.5	20.0	15.0	18.1	13.5	15.1
2022-10-10	9.9	10.9	11.1	12.7	19.2	12.7	12.7	11.1	14.8
2022-10-11	9.0	14.5	8.1	16.1	15.5	11.1	16.9	14.9	18.4

2022-10-12	17.5	16.9	15.7	18.2	21.5	16.2	19.5	17.4	16.7
2022-10-13	20.1	11.0	22.0	13.8	25.9	24.3	27.2	23.5	11.3
2022-10-14	22.9	15.9	24.2	17.1	31.2	26.0	24.1	18.1	15.4
2022-10-15	13.0	11.5	13.2	13.9	18.6	14.3	16.3	11.7	13.4
2022-10-16	13.7	13.1	13.5	15.1	19.0	10.9	14.4	14.5	13.4
2022-10-17	19.3	11.4	18.2	13.6	20.7	22.1	13.8	11.8	12.4
2022-10-18	17.6	10.5	16.2	13.3	20.2	16.4	15.9	10.1	9.0
2022-10-19	14.7	10.5	14.9	8.8	20.6	16.3	14.7	8.7	11.9
2022-10-20	14.5	9.3	12.9	10.6	15.3	13.9	11.4	8.2	9.6
2022-10-21	13.0	8.1	14.7	12.7	16.5	14.3	11.2	8.9	10.5
2022-10-22	12.2	7.6	8.6	9.1	19.6	14.3	10.7	9.7	8.3
2022-10-23	11.6	9.4		11.5	19.9	16.4	13.2	9.0	8.2
2022-10-24	15.9	9.7	17.2	12.9	18.4	19.4	13.7	9.8	
2022-10-25	20.1	12.6	21.4	16.8	26.5	21.1	16.7	11.7	15.4
2022-10-26	15.9	8.7	15.4	11.4	20.4	17.9	10.8	7.6	9.8
2022-10-27	17.6	11.8	14.9	13.6	21.0	19.5	13.1	10.2	14.2
2022-10-28	22.2	12.7	21.3	15.9	23.8	26.1	17.0	12.6	15.0
2022-10-29	16.7	13.9	16.2	18.2	23.0	19.6	15.8	14.3	15.5
2022-10-30	14.4	11.1	14.6	16.0	18.6	19.8	14.4	12.2	13.9
2022-10-31	17.0	17.1	17.5	15.4	23.3	23.9	15.1	13.5	16.5
2022-11-01	22.1	19.5	21.5	22.9	28.8	21.4	19.9	19.4	21.9
2022-11-02	12.6	16.4	10.5	17.0	16.4	13.6	22.8	21.3	17.9
2022-11-03	9.1	9.6	9.7	14.0	11.1	10.1	12.4	11.7	15.6
2022-11-04	14.3	9.9	15.3	10.9	15.8	16.6	15.6	10.5	11.1
2022-11-05	14.0	10.7	8.9	12.7	22.7	17.4	18.0	12.2	13.1
2022-11-06	18.3	12.9		16.5	21.1	21.4	20.2	15.1	13.8
2022-11-07	17.5	13.3	18.6	16.4	23.0	17.9	17.9	15.2	15.8
2022-11-08	20.5	12.3	17.3	17.7	23.0	19.4	17.0	13.4	16.3
2022-11-09	21.0	12.1	18.3	16.1	21.4	22.2	19.8	12.5	20.7

2022-11-10	22.8	13.2	24.4	17.2	26.6	20.2	18.2	12.8	17.7
2022-11-11	22.9	20.4	20.6	19.8	26.7	26.6	21.1	17.3	27.1
2022-11-12	21.6	14.3	19.9	17.3	19.7	26.3	26.5	19.3	22.2
2022-11-13	20.7	15.0	20.5	17.2	28.7	32.6	21.2	16.9	23.8
2022-11-14	20.6	16.9	19.8	22.4	23.3	19.3	22.2	15.5	25.5
2022-11-15	23.8	17.0	22.7	19.6	28.6	21.9	22.3	14.4	24.1
2022-11-16	19.1	9.9	16.2	14.3	19.3	17.0	14.2	9.6	18.0
2022-11-17	24.5	12.6	17.4	15.0	18.5	15.6	14.2	13.0	15.7
2022-11-18	22.7	19.3	22.0	21.9	23.9	27.4	24.9	20.7	22.7
2022-11-19	23.9	21.1	24.8	24.7	27.2	22.0	26.0	25.2	30.2
2022-11-20	19.6	13.8	18.4	16.7	24.5	18.2	20.2	16.3	15.3
2022-11-21	24.2	16.6	26.1	19.8	26.0	24.9	19.6	17.3	21.4
2022-11-22	23.8	15.7	23.3	18.3	26.2	25.4	21.4	17.2	20.2
2022-11-23	23.8	20.4	24.6	22.4		24.5	23.0	21.3	25.1
2022-11-24	24.1	17.6	23.4	21.9		20.6	18.8	17.7	21.9
2022-11-25	25.5	18.9	26.5	22.2		26.8	27.5	20.4	24.5
2022-11-26	15.1	17.8	15.5	19.5		15.2	23.7	21.1	26.1
2022-11-27	16.5	13.9	16.5	18.3		17.5	19.4	18.0	20.0
2022-11-28	25.6	18.7	25.1	21.6		30.3	27.1	21.3	21.6
2022-11-29	27.7	20.7	26.6	24.5		31.4	27.0	21.3	25.2
2022-11-30	21.4	16.2	21.0	17.7		25.0	21.2	16.9	23.4
2022-12-01	19.0	14.2	19.3	18.0		21.0	18.5	14.0	19.4
2022-12-02	13.2	8.1	13.0	10.1		17.1	11.1	8.2	14.4
2022-12-03	15.7	9.7	15.3	11.7		15.9	12.7	10.6	16.9
2022-12-04	16.5	14.4	17.0	14.1		17.5	17.3	19.8	19.6
2022-12-05	18.6	15.6	20.2	18.8		23.7	22.4	17.6	22.3
2022-12-06	24.9	21.9	23.9	23.3		27.2	26.3	23.3	25.5
2022-12-07	25.7	16.9	29.4	20.4		25.8	28.4	20.7	22.8
2022-12-08	23.6	15.6	21.0	20.1		20.4	18.8	15.9	22.2

2022-12-09	17.9	12.3	17.6	15.1		23.5	19.7	12.5	18.4
2022-12-10	19.6	13.5	19.4	16.1		19.4	17.9	14.7	21.9
2022-12-11	15.9	11.3	15.1	14.0		14.0	15.0	12.1	15.2
2022-12-12	18.0	12.2	16.5	15.1		18.4	14.5	11.4	20.7
2022-12-13	19.0	14.3	17.1	17.5		18.6	15.3	14.4	20.8
2022-12-14	14.6	11.4	14.6	14.7		12.7	16.8	11.1	15.2
2022-12-15	17.9	11.8	19.1	13.7		19.4	17.6	11.4	17.1
2022-12-16	16.9	10.8	17.1	15.2		19.4	15.6	11.3	17.8
2022-12-17	15.0	12.5	17.3	12.0		20.7	15.9	10.1	14.2
2022-12-18	14.0	10.9	15.2	13.8		18.1	17.2	13.5	11.5
2022-12-19	20.9	16.5	20.0	17.0		18.5	15.5	16.8	19.3
2022-12-20	19.6	15.5	17.9	17.1		17.5	17.8	16.3	23.5
2022-12-21	22.5	14.4	23.1	18.7		25.6	21.7	16.3	23.7
2022-12-22	19.2	17.3	19.2	20.5		26.0	20.1	18.2	28.7
2022-12-23	21.4	18.2	22.7	25.1		21.1	18.7	21.2	28.0
2022-12-24	21.7	15.8	21.0	20.3		20.7	18.3	15.2	22.1
2022-12-25	10.4	7.3	11.6	8.6		19.3	13.2	6.5	10.7
2022-12-26	12.1	12.7	16.1	8.6		19.3	12.6	8.4	7.5
2022-12-27	15.1	11.9	15.1	11.9		21.5	16.6	9.4	11.3
2022-12-28	23.8	17.4	24.7	20.5		26.7	20.1	16.2	20.5
2022-12-29	21.6	16.3	23.6	22.1		28.8	21.2	16.8	20.8
2022-12-30	21.2	16.2	22.3	20.2		24.3	20.9	17.8	20.1
2022-12-31	14.8	9.9	15.8	13.4		23.4	17.9	12.6	13.1

**ANEXO II. Lista de imágenes satelitales del sensor MODIS descargadas.**

Fecha	Día juliano	Nombre imagen satelital MOD04_3K
-------	-------------	----------------------------------

2022-01-01	1	MOD04_3K.A2022001.1510.061.2022002015253.hdf
2022-01-02	2	MOD04_3K.A2022002.1555.061.2022003014427.hdf
2022-01-03	3	MOD04_3K.A2022003.1455.061.2022004023015.hdf
2022-01-03	3	MOD04_3K.A2022003.1500.061.2022004022923.hdf
2022-01-04	4	MOD04_3K.A2022004.1540.061.2022005014930.hdf
2022-01-05	5	MOD04_3K.A2022005.1445.061.2022006014934.hdf
2022-01-06	6	MOD04_3K.A2022006.1530.061.2022007013945.hdf
2022-01-07	7	MOD04_3K.A2022007.1610.061.2022008014958.hdf
2022-01-08	8	MOD04_3K.A2022008.1515.061.2022009013912.hdf
2022-01-09	9	MOD04_3K.A2022009.1600.061.2022010015205.hdf
2022-01-10	10	MOD04_3K.A2022010.1505.061.2022011021213.hdf
2022-01-11	11	MOD04_3K.A2022011.1545.061.2022012051418.hdf
2022-01-12	12	MOD04_3K.A2022012.1450.061.2022014151510.hdf
2022-01-13	13	MOD04_3K.A2022013.1535.061.2022018152030.hdf
2022-01-14	14	MOD04_3K.A2022014.1440.061.2022018162025.hdf
2022-01-14	14	MOD04_3K.A2022014.1615.061.2022018161831.hdf
2022-01-15	15	MOD04_3K.A2022015.1520.061.2022018173133.hdf
2022-01-15	15	MOD04_3K.A2022015.1525.061.2022018173145.hdf
2022-01-16	16	MOD04_3K.A2022016.1605.061.2022018162754.hdf
2022-01-17	17	MOD04_3K.A2022017.1510.061.2022018171302.hdf
2022-01-18	18	MOD04_3K.A2022018.1550.061.2022019022810.hdf
2022-01-18	18	MOD04_3K.A2022018.1555.061.2022019022737.hdf
2022-01-19	19	MOD04_3K.A2022019.1455.061.2022024185256.hdf
2022-01-19	19	MOD04_3K.A2022019.1500.061.2022024185237.hdf
2022-01-20	20	MOD04_3K.A2022020.1540.061.2022024183124.hdf
2022-01-21	21	MOD04_3K.A2022021.1445.061.2022024184236.hdf
2022-01-22	22	MOD04_3K.A2022022.1530.061.2022024190535.hdf
2022-01-23	23	MOD04_3K.A2022023.1610.061.2022026214938.hdf
2022-01-24	24	MOD04_3K.A2022024.1515.061.2022026215616.hdf



2022-01-25	25	MOD04_3K.A2022025.1600.061.2022026221912.hdf
2022-01-26	26	MOD04_3K.A2022026.1505.061.2022027021244.hdf
2022-01-27	27	MOD04_3K.A2022027.1545.061.2022028110920.hdf
2022-01-28	28	MOD04_3K.A2022028.1450.061.2022029020121.hdf
2022-01-29	29	MOD04_3K.A2022029.1535.061.2022030032621.hdf
2022-01-30	30	MOD04_3K.A2022030.1440.061.2022031022535.hdf
2022-01-30	30	MOD04_3K.A2022030.1615.061.2022031022621.hdf
2022-01-31	31	MOD04_3K.A2022031.1520.061.2022032032958.hdf
2022-02-01	32	MOD04_3K.A2022032.1605.061.2022033043857.hdf
2022-02-02	33	MOD04_3K.A2022033.1510.061.2022035151759.hdf
2022-02-03	34	MOD04_3K.A2022034.1550.061.2022035162620.hdf
2022-02-03	34	MOD04_3K.A2022034.1555.061.2022035162620.hdf
2022-02-04	35	MOD04_3K.A2022035.1455.061.2022036022306.hdf
2022-02-05	36	MOD04_3K.A2022036.1540.061.2022037050210.hdf
2022-02-06	37	MOD04_3K.A2022037.1445.061.2022039114233.hdf
2022-02-07	38	MOD04_3K.A2022038.1525.061.2022039113356.hdf
2022-02-07	38	MOD04_3K.A2022038.1530.061.2022039113422.hdf
2022-02-08	39	MOD04_3K.A2022039.1435.061.2022040020152.hdf
2022-02-08	39	MOD04_3K.A2022039.1610.061.2022040020111.hdf
2022-02-09	40	MOD04_3K.A2022040.1515.061.2022041021941.hdf
2022-02-10	41	MOD04_3K.A2022041.1600.061.2022042021048.hdf
2022-02-11	42	MOD04_3K.A2022042.1500.061.2022043014804.hdf
2022-02-11	42	MOD04_3K.A2022042.1505.061.2022043015628.hdf
2022-02-12	43	MOD04_3K.A2022043.1545.061.2022044014056.hdf
2022-02-13	44	MOD04_3K.A2022044.1450.061.2022045014522.hdf
2022-02-14	45	MOD04_3K.A2022045.1535.061.2022046014543.hdf
2022-02-15	46	MOD04_3K.A2022046.1440.061.2022047015947.hdf
2022-02-15	46	MOD04_3K.A2022046.1615.061.2022047020110.hdf
2022-02-16	47	MOD04_3K.A2022047.1520.061.2022048015010.hdf

2022-02-17	48	MOD04_3K.A2022048.1605.061.2022049020338.hdf
2022-02-18	49	MOD04_3K.A2022049.1510.061.2022050050931.hdf
2022-02-19	50	MOD04_3K.A2022050.1550.061.2022051014009.hdf
2022-02-19	50	MOD04_3K.A2022050.1555.061.2022051014026.hdf
2022-02-20	51	MOD04_3K.A2022051.1455.061.2022054191127.hdf
2022-02-21	52	MOD04_3K.A2022052.1540.061.2022054204148.hdf
2022-02-22	53	MOD04_3K.A2022053.1445.061.2022054202519.hdf
2022-02-22	53	MOD04_3K.A2022053.1620.061.2022054202734.hdf
2022-02-23	54	MOD04_3K.A2022054.1525.061.2022056220914.hdf
2022-02-23	54	MOD04_3K.A2022054.1530.061.2022056220909.hdf
2022-02-24	55	MOD04_3K.A2022055.1610.061.2022056232848.hdf
2022-02-25	56	MOD04_3K.A2022056.1515.061.2022057014835.hdf
2022-02-26	57	MOD04_3K.A2022057.1600.061.2022058014551.hdf
2022-02-27	58	MOD04_3K.A2022058.1500.061.2022059013406.hdf
2022-02-27	58	MOD04_3K.A2022058.1505.061.2022059013325.hdf
2022-02-28	59	MOD04_3K.A2022059.1545.061.2022060014527.hdf
2022-03-01	60	MOD04_3K.A2022060.1450.061.2022061155500.hdf
2022-03-02	61	MOD04_3K.A2022061.1535.061.2022062013303.hdf
2022-03-03	62	MOD04_3K.A2022062.1440.061.2022063014617.hdf
2022-03-03	62	MOD04_3K.A2022062.1615.061.2022063014628.hdf
2022-03-04	63	MOD04_3K.A2022063.1520.061.2022064014407.hdf
2022-03-05	64	MOD04_3K.A2022064.1605.061.2022065014833.hdf
2022-03-06	65	MOD04_3K.A2022065.1510.061.2022066014347.hdf
2022-03-07	66	MOD04_3K.A2022066.1550.061.2022067014121.hdf
2022-03-08	67	MOD04_3K.A2022067.1455.061.2022068015917.hdf
2022-03-09	68	MOD04_3K.A2022068.1540.061.2022069014637.hdf
2022-03-10	69	MOD04_3K.A2022069.1445.061.2022070015511.hdf
2022-03-10	69	MOD04_3K.A2022069.1620.061.2022070015625.hdf
2022-03-11	70	MOD04_3K.A2022070.1525.061.2022071014556.hdf

2022-03-12	71	MOD04_3K.A2022071.1610.061.2022072013942.hdf
2022-03-13	72	MOD04_3K.A2022072.1515.061.2022073014430.hdf
2022-03-14	73	MOD04_3K.A2022073.1555.061.2022074015049.hdf
2022-03-14	73	MOD04_3K.A2022073.1600.061.2022074015151.hdf
2022-03-15	74	MOD04_3K.A2022074.1500.061.2022091231835.hdf
2022-03-15	74	MOD04_3K.A2022074.1505.061.2022091231928.hdf
2022-03-16	75	MOD04_3K.A2022075.1545.061.2022091232901.hdf
2022-03-17	76	MOD04_3K.A2022076.1450.061.2022091234103.hdf
2022-03-18	77	MOD04_3K.A2022077.1530.061.2022091235249.hdf
2022-03-18	77	MOD04_3K.A2022077.1535.061.2022091235247.hdf
2022-03-19	78	MOD04_3K.A2022078.1440.061.2022092000342.hdf
2022-03-19	78	MOD04_3K.A2022078.1615.061.2022092000518.hdf
2022-03-20	79	MOD04_3K.A2022079.1520.061.2022092001407.hdf
2022-03-21	80	MOD04_3K.A2022080.1605.061.2022092002738.hdf
2022-03-22	81	MOD04_3K.A2022081.1505.061.2022092003941.hdf
2022-03-22	81	MOD04_3K.A2022081.1510.061.2022092003941.hdf
2022-03-23	82	MOD04_3K.A2022082.1550.061.2022092015415.hdf
2022-03-24	83	MOD04_3K.A2022083.1455.061.2022092013733.hdf
2022-03-25	84	MOD04_3K.A2022084.1540.061.2022092064335.hdf
2022-03-26	85	MOD04_3K.A2022085.1445.061.2022087144602.hdf
2022-03-26	85	MOD04_3K.A2022085.1620.061.2022087000440.hdf
2022-03-27	86	MOD04_3K.A2022086.1525.061.2022087203332.hdf
2022-03-28	87	MOD04_3K.A2022087.1610.061.2022088022753.hdf
2022-03-29	88	MOD04_3K.A2022088.1515.061.2022089014300.hdf
2022-03-30	89	MOD04_3K.A2022089.1555.061.2022090014406.hdf
2022-03-30	89	MOD04_3K.A2022089.1600.061.2022090015003.hdf
2022-03-31	90	MOD04_3K.A2022090.1500.061.2022094231350.hdf
2022-04-01	91	MOD04_3K.A2022091.1545.061.2022095002836.hdf
2022-04-02	92	MOD04_3K.A2022092.1450.061.2022095003546.hdf

2022-04-02	92	MOD04_3K.A2022092.1625.061.2022095004033.hdf
2022-04-03	93	MOD04_3K.A2022093.1530.061.2022095004754.hdf
2022-04-03	93	MOD04_3K.A2022093.1535.061.2022095004735.hdf
2022-04-04	94	MOD04_3K.A2022094.1615.061.2022095020514.hdf
2022-04-05	95	MOD04_3K.A2022095.1520.061.2022096013643.hdf
2022-04-06	96	MOD04_3K.A2022096.1605.061.2022097014850.hdf
2022-04-07	97	MOD04_3K.A2022097.1505.061.2022120131040.hdf
2022-04-07	97	MOD04_3K.A2022097.1510.061.2022120131136.hdf
2022-04-08	98	MOD04_3K.A2022098.1550.061.2022101191109.hdf
2022-04-09	99	MOD04_3K.A2022099.1455.061.2022101191918.hdf
2022-04-10	100	MOD04_3K.A2022100.1540.061.2022101195040.hdf
2022-04-11	101	MOD04_3K.A2022101.1445.061.2022102020213.hdf
2022-04-11	101	MOD04_3K.A2022101.1620.061.2022102015303.hdf
2022-04-12	102	MOD04_3K.A2022102.1525.061.2022103014148.hdf
2022-04-13	103	MOD04_3K.A2022103.1610.061.2022104014427.hdf
2022-04-14	104	MOD04_3K.A2022104.1515.061.2022105013949.hdf
2022-04-15	105	MOD04_3K.A2022105.1555.061.2022106015336.hdf
2022-04-16	106	MOD04_3K.A2022106.1500.061.2022107013854.hdf
2022-04-17	107	MOD04_3K.A2022107.1545.061.2022108014313.hdf
2022-04-18	108	MOD04_3K.A2022108.1450.061.2022109013729.hdf
2022-04-18	108	MOD04_3K.A2022108.1625.061.2022109014115.hdf
2022-04-19	109	MOD04_3K.A2022109.1530.061.2022110015059.hdf
2022-04-19	109	MOD04_3K.A2022109.1535.061.2022110015133.hdf
2022-04-20	110	MOD04_3K.A2022110.1615.061.2022111014506.hdf
2022-04-21	111	MOD04_3K.A2022111.1520.061.2022112013840.hdf
2022-04-22	112	MOD04_3K.A2022112.1600.061.2022113014934.hdf
2022-04-22	112	MOD04_3K.A2022112.1605.061.2022113014952.hdf
2022-04-23	113	MOD04_3K.A2022113.1505.061.2022114014904.hdf
2022-04-23	113	MOD04_3K.A2022113.1510.061.2022114015453.hdf

2022-04-24	114	MOD04_3K.A2022114.1550.061.2022115014301.hdf
2022-04-25	115	MOD04_3K.A2022115.1455.061.2022116034836.hdf
2022-04-26	116	MOD04_3K.A2022116.1540.061.2022117054259.hdf
2022-04-27	117	MOD04_3K.A2022117.1445.061.2022118014936.hdf
2022-04-27	117	MOD04_3K.A2022117.1620.061.2022118015038.hdf
2022-04-28	118	MOD04_3K.A2022118.1525.061.2022119015207.hdf
2022-04-29	119	MOD04_3K.A2022119.1610.061.2022120015938.hdf
2022-04-30	120	MOD04_3K.A2022120.1515.061.2022121021600.hdf
2022-05-01	121	MOD04_3K.A2022121.1555.061.2022122015800.hdf
2022-05-02	122	MOD04_3K.A2022122.1500.061.2022123013450.hdf
2022-05-03	123	MOD04_3K.A2022123.1545.061.2022124013911.hdf
2022-05-04	124	MOD04_3K.A2022124.1450.061.2022125014450.hdf
2022-05-04	124	MOD04_3K.A2022124.1625.061.2022125014450.hdf
2022-05-05	125	MOD04_3K.A2022125.1530.061.2022126013643.hdf
2022-05-06	126	MOD04_3K.A2022126.1615.061.2022127014542.hdf
2022-05-07	127	MOD04_3K.A2022127.1520.061.2022128014723.hdf
2022-05-08	128	MOD04_3K.A2022128.1600.061.2022129015027.hdf
2022-05-08	128	MOD04_3K.A2022128.1605.061.2022129015024.hdf
2022-05-09	129	MOD04_3K.A2022129.1505.061.2022130020203.hdf
2022-05-10	130	MOD04_3K.A2022130.1550.061.2022131020551.hdf
2022-05-11	131	MOD04_3K.A2022131.1455.061.2022132015159.hdf
2022-05-12	132	MOD04_3K.A2022132.1535.061.2022133021311.hdf
2022-05-12	132	MOD04_3K.A2022132.1540.061.2022133021351.hdf
2022-05-13	133	MOD04_3K.A2022133.1620.061.2022134015426.hdf
2022-05-14	134	MOD04_3K.A2022134.1525.061.2022135015417.hdf
2022-05-15	135	MOD04_3K.A2022135.1610.061.2022136014418.hdf
2022-05-16	136	MOD04_3K.A2022136.1510.061.2022137013923.hdf
2022-05-16	136	MOD04_3K.A2022136.1515.061.2022137014458.hdf
2022-05-17	137	MOD04_3K.A2022137.1555.061.2022138141935.hdf

2022-05-18	138	MOD04_3K.A2022138.1500.061.2022139014746.hdf
2022-05-19	139	MOD04_3K.A2022139.1545.061.2022140015334.hdf
2022-05-20	140	MOD04_3K.A2022140.1445.061.2022141014443.hdf
2022-05-20	140	MOD04_3K.A2022140.1450.061.2022141014450.hdf
2022-05-20	140	MOD04_3K.A2022140.1625.061.2022141014446.hdf
2022-05-21	141	MOD04_3K.A2022141.1530.061.2022143132413.hdf
2022-05-23	143	MOD04_3K.A2022143.1520.061.2022144014122.hdf
2022-05-24	144	MOD04_3K.A2022144.1600.061.2022145014646.hdf
2022-05-25	145	MOD04_3K.A2022145.1505.061.2022146014328.hdf
2022-05-26	146	MOD04_3K.A2022146.1550.061.2022147014959.hdf
2022-05-27	147	MOD04_3K.A2022147.1455.061.2022148023951.hdf
2022-05-28	148	MOD04_3K.A2022148.1535.061.2022149015443.hdf
2022-05-29	149	MOD04_3K.A2022149.1620.061.2022152013452.hdf
2022-05-30	150	MOD04_3K.A2022150.1525.061.2022152002306.hdf
2022-05-31	151	MOD04_3K.A2022151.1605.061.2022152063159.hdf
2022-05-31	151	MOD04_3K.A2022151.1610.061.2022152104249.hdf
2022-06-01	152	MOD04_3K.A2022152.1510.061.2022153014301.hdf
2022-06-02	153	MOD04_3K.A2022153.1555.061.2022159222715.hdf
2022-06-03	154	MOD04_3K.A2022154.1500.061.2022157233108.hdf
2022-06-04	155	MOD04_3K.A2022155.1540.061.2022158131638.hdf
2022-06-04	155	MOD04_3K.A2022155.1545.061.2022158131436.hdf
2022-06-05	156	MOD04_3K.A2022156.1445.061.2022158132029.hdf
2022-06-05	156	MOD04_3K.A2022156.1450.061.2022158132114.hdf
2022-06-06	157	MOD04_3K.A2022157.1530.061.2022158132900.hdf
2022-06-07	158	MOD04_3K.A2022158.1615.061.2022159015311.hdf
2022-06-08	159	MOD04_3K.A2022159.1515.061.2022160014757.hdf
2022-06-08	159	MOD04_3K.A2022159.1520.061.2022160014837.hdf
2022-06-09	160	MOD04_3K.A2022160.1600.061.2022161015602.hdf
2022-06-10	161	MOD04_3K.A2022161.1505.061.2022162020242.hdf

2022-06-11	162	MOD04_3K.A2022162.1550.061.2022163015715.hdf
2022-06-12	163	MOD04_3K.A2022163.1450.061.2022164015835.hdf
2022-06-12	163	MOD04_3K.A2022163.1455.061.2022164015837.hdf
2022-06-13	164	MOD04_3K.A2022164.1535.061.2022165045139.hdf
2022-06-14	165	MOD04_3K.A2022165.1440.061.2022166014627.hdf
2022-06-15	166	MOD04_3K.A2022166.1525.061.2022167014328.hdf
2022-06-16	167	MOD04_3K.A2022167.1605.061.2022168015020.hdf
2022-06-16	167	MOD04_3K.A2022167.1610.061.2022168015455.hdf
2022-06-17	168	MOD04_3K.A2022168.1510.061.2022169015414.hdf
2022-06-18	169	MOD04_3K.A2022169.1555.061.2022173202520.hdf
2022-06-19	170	MOD04_3K.A2022170.1500.061.2022173213429.hdf
2022-06-20	171	MOD04_3K.A2022171.1540.061.2022173213949.hdf
2022-06-20	171	MOD04_3K.A2022171.1545.061.2022173213946.hdf
2022-06-21	172	MOD04_3K.A2022172.1445.061.2022173214938.hdf
2022-06-22	173	MOD04_3K.A2022173.1530.061.2022174020937.hdf
2022-06-23	174	MOD04_3K.A2022174.1615.061.2022175014402.hdf
2022-06-24	175	MOD04_3K.A2022175.1515.061.2022176014819.hdf
2022-06-24	175	MOD04_3K.A2022175.1520.061.2022176015327.hdf
2022-06-25	176	MOD04_3K.A2022176.1600.061.2022177015402.hdf
2022-06-26	177	MOD04_3K.A2022177.1505.061.2022178015419.hdf
2022-06-27	178	MOD04_3K.A2022178.1550.061.2022179015451.hdf
2022-06-28	179	MOD04_3K.A2022179.1450.061.2022180141324.hdf
2022-06-28	179	MOD04_3K.A2022179.1455.061.2022180141427.hdf
2022-06-29	180	MOD04_3K.A2022180.1535.061.2022181020429.hdf
2022-06-30	181	MOD04_3K.A2022181.1440.061.2022182020016.hdf
2022-07-01	182	MOD04_3K.A2022182.1525.061.2022183014940.hdf
2022-07-02	183	MOD04_3K.A2022183.1605.061.2022184014827.hdf
2022-07-03	184	MOD04_3K.A2022184.1510.061.2022185014906.hdf
2022-07-04	185	MOD04_3K.A2022185.1555.061.2022186015303.hdf

2022-07-05	186	MOD04_3K.A2022186.1500.061.2022187202921.hdf
2022-07-06	187	MOD04_3K.A2022187.1540.061.2022188021518.hdf
2022-07-07	188	MOD04_3K.A2022188.1445.061.2022189015338.hdf
2022-07-08	189	MOD04_3K.A2022189.1530.061.2022190020206.hdf
2022-07-09	190	MOD04_3K.A2022190.1435.061.2022191020527.hdf
2022-07-09	190	MOD04_3K.A2022190.1610.061.2022191020619.hdf
2022-07-10	191	MOD04_3K.A2022191.1515.061.2022192014502.hdf
2022-07-11	192	MOD04_3K.A2022192.1600.061.2022193015727.hdf
2022-07-12	193	MOD04_3K.A2022193.1505.061.2022194030607.hdf
2022-07-13	194	MOD04_3K.A2022194.1545.061.2022195105237.hdf
2022-07-13	194	MOD04_3K.A2022194.1550.061.2022195104435.hdf
2022-07-14	195	MOD04_3K.A2022195.1450.061.2022196015632.hdf
2022-07-15	196	MOD04_3K.A2022196.1535.061.2022197015239.hdf
2022-07-16	197	MOD04_3K.A2022197.1440.061.2022198013520.hdf
2022-07-17	198	MOD04_3K.A2022198.1520.061.2022200221427.hdf
2022-07-17	198	MOD04_3K.A2022198.1525.061.2022200221354.hdf
2022-07-18	199	MOD04_3K.A2022199.1430.061.2022200234653.hdf
2022-07-18	199	MOD04_3K.A2022199.1605.061.2022200234945.hdf
2022-07-19	200	MOD04_3K.A2022200.1510.061.2022201024337.hdf
2022-07-20	201	MOD04_3K.A2022201.1555.061.2022202015414.hdf
2022-07-21	202	MOD04_3K.A2022202.1455.061.2022203014528.hdf
2022-07-21	202	MOD04_3K.A2022202.1500.061.2022203014528.hdf
2022-07-22	203	MOD04_3K.A2022203.1540.061.2022204020418.hdf
2022-07-23	204	MOD04_3K.A2022204.1445.061.2022205013721.hdf
2022-07-24	205	MOD04_3K.A2022205.1530.061.2022206014558.hdf
2022-07-25	206	MOD04_3K.A2022206.1435.061.2022207013601.hdf
2022-07-25	206	MOD04_3K.A2022206.1610.061.2022207013533.hdf
2022-07-26	207	MOD04_3K.A2022207.1515.061.2022208020515.hdf
2022-07-27	208	MOD04_3K.A2022208.1600.061.2022209015601.hdf



2022-07-28	209	MOD04_3K.A2022209.1505.061.2022215051501.hdf
2022-07-29	210	MOD04_3K.A2022210.1545.061.2022215071302.hdf
2022-07-30	211	MOD04_3K.A2022211.1450.061.2022215065018.hdf
2022-07-31	212	MOD04_3K.A2022212.1535.061.2022215072218.hdf
2022-08-01	213	MOD04_3K.A2022213.1440.061.2022215065336.hdf
2022-08-01	213	MOD04_3K.A2022213.1615.061.2022215065449.hdf
2022-08-02	214	MOD04_3K.A2022214.1520.061.2022215070835.hdf
2022-08-02	214	MOD04_3K.A2022214.1525.061.2022215070834.hdf
2022-08-03	215	MOD04_3K.A2022215.1605.061.2022216014815.hdf
2022-08-04	216	MOD04_3K.A2022216.1510.061.2022217013543.hdf
2022-08-05	217	MOD04_3K.A2022217.1550.061.2022218012834.hdf
2022-08-05	217	MOD04_3K.A2022217.1555.061.2022218012831.hdf
2022-08-06	218	MOD04_3K.A2022218.1455.061.2022219015409.hdf
2022-08-06	218	MOD04_3K.A2022218.1500.061.2022219015341.hdf
2022-08-07	219	MOD04_3K.A2022219.1540.061.2022220015455.hdf
2022-08-08	220	MOD04_3K.A2022220.1445.061.2022221131153.hdf
2022-08-09	221	MOD04_3K.A2022221.1530.061.2022222015504.hdf
2022-08-10	222	MOD04_3K.A2022222.1435.061.2022223140505.hdf
2022-08-10	222	MOD04_3K.A2022222.1610.061.2022223140504.hdf
2022-08-11	223	MOD04_3K.A2022223.1515.061.2022228182938.hdf
2022-08-12	224	MOD04_3K.A2022224.1600.061.2022228182510.hdf
2022-08-13	225	MOD04_3K.A2022225.1505.061.2022227033249.hdf
2022-08-14	226	MOD04_3K.A2022226.1545.061.2022227033908.hdf
2022-08-15	227	MOD04_3K.A2022227.1450.061.2022228021416.hdf
2022-08-16	228	MOD04_3K.A2022228.1535.061.2022231170313.hdf
2022-08-17	229	MOD04_3K.A2022229.1440.061.2022231182214.hdf
2022-08-17	229	MOD04_3K.A2022229.1615.061.2022231181940.hdf
2022-08-18	230	MOD04_3K.A2022230.1520.061.2022231183036.hdf
2022-08-19	231	MOD04_3K.A2022231.1605.061.2022234155005.hdf

2022-08-20	232	MOD04_3K.A2022232.1510.061.2022234185327.hdf
2022-08-21	233	MOD04_3K.A2022233.1550.061.2022234190929.hdf
2022-08-21	233	MOD04_3K.A2022233.1555.061.2022234190915.hdf
2022-08-22	234	MOD04_3K.A2022234.1455.061.2022235023545.hdf
2022-08-23	235	MOD04_3K.A2022235.1540.061.2022236015228.hdf
2022-08-24	236	MOD04_3K.A2022236.1445.061.2022237211841.hdf
2022-08-25	237	MOD04_3K.A2022237.1525.061.2022238020330.hdf
2022-08-25	237	MOD04_3K.A2022237.1530.061.2022238022002.hdf
2022-08-26	238	MOD04_3K.A2022238.1435.061.2022239020456.hdf
2022-08-26	238	MOD04_3K.A2022238.1610.061.2022239020521.hdf
2022-08-27	239	MOD04_3K.A2022239.1515.061.2022240021125.hdf
2022-08-28	240	MOD04_3K.A2022240.1600.061.2022241021046.hdf
2022-08-29	241	MOD04_3K.A2022241.1500.061.2022242012446.hdf
2022-08-29	241	MOD04_3K.A2022241.1505.061.2022242012407.hdf
2022-08-30	242	MOD04_3K.A2022242.1545.061.2022243151853.hdf
2022-08-31	243	MOD04_3K.A2022243.1450.061.2022244023028.hdf
2022-09-01	244	MOD04_3K.A2022244.1535.061.2022245041900.hdf
2022-09-02	245	MOD04_3K.A2022245.1440.061.2022246022145.hdf
2022-09-02	245	MOD04_3K.A2022245.1615.061.2022246022111.hdf
2022-09-03	246	MOD04_3K.A2022246.1520.061.2022247051846.hdf
2022-09-04	247	MOD04_3K.A2022247.1605.061.2022248014706.hdf
2022-09-05	248	MOD04_3K.A2022248.1510.061.2022249014723.hdf
2022-09-06	249	MOD04_3K.A2022249.1550.061.2022250023227.hdf
2022-09-06	249	MOD04_3K.A2022249.1555.061.2022250023204.hdf
2022-09-07	250	MOD04_3K.A2022250.1455.061.2022251012337.hdf
2022-09-08	251	MOD04_3K.A2022251.1540.061.2022258003841.hdf
2022-09-09	252	MOD04_3K.A2022252.1445.061.2022258004340.hdf
2022-09-09	252	MOD04_3K.A2022252.1620.061.2022258004222.hdf
2022-09-10	253	MOD04_3K.A2022253.1525.061.2022258004954.hdf

2022-09-10	253	MOD04_3K.A2022253.1530.061.2022258005055.hdf
2022-09-11	254	MOD04_3K.A2022254.1610.061.2022258010141.hdf
2022-09-12	255	MOD04_3K.A2022255.1515.061.2022258010901.hdf
2022-09-13	256	MOD04_3K.A2022256.1555.061.2022258011653.hdf
2022-09-13	256	MOD04_3K.A2022256.1600.061.2022258011911.hdf
2022-09-14	257	MOD04_3K.A2022257.1500.061.2022259201854.hdf
2022-09-14	257	MOD04_3K.A2022257.1505.061.2022259201852.hdf
2022-09-15	258	MOD04_3K.A2022258.1545.061.2022259212831.hdf
2022-09-16	259	MOD04_3K.A2022259.1450.061.2022260020757.hdf
2022-09-17	260	MOD04_3K.A2022260.1535.061.2022262200114.hdf
2022-09-18	261	MOD04_3K.A2022261.1440.061.2022262204801.hdf
2022-09-18	261	MOD04_3K.A2022261.1615.061.2022262204916.hdf
2022-09-19	262	MOD04_3K.A2022262.1520.061.2022263023318.hdf
2022-09-20	263	MOD04_3K.A2022263.1605.061.2022264015910.hdf
2022-09-21	264	MOD04_3K.A2022264.1510.061.2022265020913.hdf
2022-09-22	265	MOD04_3K.A2022265.1550.061.2022266021958.hdf
2022-09-23	266	MOD04_3K.A2022266.1455.061.2022267021418.hdf
2022-09-24	267	MOD04_3K.A2022267.1540.061.2022268015323.hdf
2022-09-25	268	MOD04_3K.A2022268.1445.061.2022269020734.hdf
2022-09-25	268	MOD04_3K.A2022268.1620.061.2022269021500.hdf
2022-09-26	269	MOD04_3K.A2022269.1525.061.2022270024304.hdf
2022-09-27	270	MOD04_3K.A2022270.1610.061.2022271022157.hdf
2022-09-28	271	MOD04_3K.A2022271.1515.061.2022272020953.hdf
2022-09-29	272	MOD04_3K.A2022272.1555.061.2022273015546.hdf
2022-09-29	272	MOD04_3K.A2022272.1600.061.2022273015617.hdf
2022-09-30	273	MOD04_3K.A2022273.1500.061.2022274023801.hdf
2022-10-01	274	MOD04_3K.A2022274.1545.061.2022275020524.hdf
2022-10-02	275	MOD04_3K.A2022275.1450.061.2022276020428.hdf
2022-10-03	276	MOD04_3K.A2022276.1530.061.2022277022534.hdf

2022-10-03	276	MOD04_3K.A2022276.1535.061.2022277022502.hdf
2022-10-04	277	MOD04_3K.A2022277.1615.061.2022278014617.hdf
2022-10-05	278	MOD04_3K.A2022278.1520.061.2022279013800.hdf
2022-10-06	279	MOD04_3K.A2022279.1605.061.2022280024050.hdf
2022-10-07	280	MOD04_3K.A2022280.1505.061.2022281021841.hdf
2022-10-07	280	MOD04_3K.A2022280.1510.061.2022281021815.hdf
2022-10-08	281	MOD04_3K.A2022281.1550.061.2022282014309.hdf
2022-10-09	282	MOD04_3K.A2022282.1455.061.2022283220223.hdf
2022-10-24	297	MOD04_3K.A2022297.1535.061.2022333212715.hdf
2022-10-25	298	MOD04_3K.A2022298.1440.061.2022334001750.hdf
2022-10-25	298	MOD04_3K.A2022298.1615.061.2022334001833.hdf
2022-10-26	299	MOD04_3K.A2022299.1520.061.2022334024105.hdf
2022-10-27	300	MOD04_3K.A2022300.1600.061.2022335003218.hdf
2022-10-28	301	MOD04_3K.A2022301.1505.061.2022334095241.hdf
2022-10-29	302	MOD04_3K.A2022302.1545.061.2022334123708.hdf
2022-10-30	303	MOD04_3K.A2022303.1445.061.2022334150724.hdf
2022-10-30	303	MOD04_3K.A2022303.1450.061.2022334150925.hdf
2022-10-31	304	MOD04_3K.A2022304.1530.061.2022335004229.hdf
2022-11-01	305	MOD04_3K.A2022305.1435.061.2022335032952.hdf
2022-11-01	305	MOD04_3K.A2022305.1610.061.2022335033148.hdf
2022-11-02	306	MOD04_3K.A2022306.1515.061.2022335033528.hdf
2022-11-03	307	MOD04_3K.A2022307.1555.061.2022335034110.hdf
2022-11-04	308	MOD04_3K.A2022308.1455.061.2022335034835.hdf
2022-11-04	308	MOD04_3K.A2022308.1500.061.2022335034749.hdf
2022-11-05	309	MOD04_3K.A2022309.1540.061.2022335080243.hdf
2022-11-06	310	MOD04_3K.A2022310.1440.061.2022335110917.hdf
2022-11-07	311	MOD04_3K.A2022311.1525.061.2022335135226.hdf
2022-11-08	312	MOD04_3K.A2022312.1605.061.2022335164312.hdf
2022-11-09	313	MOD04_3K.A2022313.1505.061.2022335201328.hdf

2022-11-09	313	MOD04_3K.A2022313.1510.061.2022335201311.hdf
2022-11-10	314	MOD04_3K.A2022314.1550.061.2022335231528.hdf
2022-11-11	315	MOD04_3K.A2022315.1450.061.2022336033817.hdf
2022-11-12	316	MOD04_3K.A2022316.1530.061.2022336083702.hdf
2022-11-12	316	MOD04_3K.A2022316.1535.061.2022336083611.hdf
2022-11-13	317	MOD04_3K.A2022317.1435.061.2022336121234.hdf
2022-11-14	318	MOD04_3K.A2022318.1515.061.2022336150753.hdf
2022-11-14	318	MOD04_3K.A2022318.1520.061.2022336150638.hdf
2022-11-15	319	MOD04_3K.A2022319.1600.061.2022336174501.hdf
2022-11-16	320	MOD04_3K.A2022320.1500.061.2022336205850.hdf
2022-11-17	321	MOD04_3K.A2022321.1540.061.2022336232638.hdf
2022-11-17	321	MOD04_3K.A2022321.1545.061.2022336233600.hdf
2022-11-18	322	MOD04_3K.A2022322.1445.061.2022337012816.hdf
2022-11-19	323	MOD04_3K.A2022323.1525.061.2022337035725.hdf
2022-11-21	325	MOD04_3K.A2022325.1510.061.2022337092911.hdf
2022-11-22	326	MOD04_3K.A2022326.1550.061.2022327020317.hdf
2022-11-22	326	MOD04_3K.A2022326.1555.061.2022327020259.hdf
2022-11-23	327	MOD04_3K.A2022327.1455.061.2022328024838.hdf
2022-11-24	328	MOD04_3K.A2022328.1535.061.2022329172149.hdf
2022-11-25	329	MOD04_3K.A2022329.1440.061.2022330031116.hdf
2022-11-25	329	MOD04_3K.A2022329.1615.061.2022330031218.hdf
2022-11-26	330	MOD04_3K.A2022330.1520.061.2022331022756.hdf
2022-11-27	331	MOD04_3K.A2022331.1600.061.2022332022020.hdf
2022-11-28	332	MOD04_3K.A2022332.1505.061.2022333023349.hdf
2022-11-29	333	MOD04_3K.A2022333.1545.061.2022337201936.hdf
2022-11-30	334	MOD04_3K.A2022334.1450.061.2022335224531.hdf
2022-12-01	335	MOD04_3K.A2022335.1530.061.2022350052234.hdf
2022-12-02	336	MOD04_3K.A2022336.1435.061.2022350085119.hdf
2022-12-02	336	MOD04_3K.A2022336.1610.061.2022350085705.hdf

2022-12-03	337	MOD04_3K.A2022337.1515.061.2022350103407.hdf
2022-12-04	338	MOD04_3K.A2022338.1555.061.2022350155014.hdf
2022-12-05	339	MOD04_3K.A2022339.1500.061.2022350160024.hdf
2022-12-06	340	MOD04_3K.A2022340.1540.061.2022350161713.hdf
2022-12-07	341	MOD04_3K.A2022341.1440.061.2022350133153.hdf
2022-12-07	341	MOD04_3K.A2022341.1445.061.2022350132522.hdf
2022-12-08	342	MOD04_3K.A2022342.1525.061.2022350133439.hdf
2022-12-09	343	MOD04_3K.A2022343.1605.061.2022350134843.hdf
2022-12-10	344	MOD04_3K.A2022344.1505.061.2022350140344.hdf
2022-12-10	344	MOD04_3K.A2022344.1510.061.2022350141117.hdf
2022-12-11	345	MOD04_3K.A2022345.1550.061.2022350163451.hdf
2022-12-12	346	MOD04_3K.A2022346.1450.061.2022350125450.hdf
2022-12-13	347	MOD04_3K.A2022347.1535.061.2022354233733.hdf
2022-12-14	348	MOD04_3K.A2022348.1435.061.2022355073014.hdf
2022-12-15	349	MOD04_3K.A2022349.1515.061.2022355075800.hdf
2022-12-15	349	MOD04_3K.A2022349.1520.061.2022355075818.hdf
2022-12-16	350	MOD04_3K.A2022350.1600.061.2022355081303.hdf
2022-12-17	351	MOD04_3K.A2022351.1500.061.2022355060727.hdf
2022-12-18	352	MOD04_3K.A2022352.1540.061.2022355083611.hdf
2022-12-18	352	MOD04_3K.A2022352.1545.061.2022355083519.hdf
2022-12-19	353	MOD04_3K.A2022353.1445.061.2022355085216.hdf
2022-12-20	354	MOD04_3K.A2022354.1525.061.2022355223150.hdf
2022-12-21	355	MOD04_3K.A2022355.1430.061.2022356060422.hdf
2022-12-22	356	MOD04_3K.A2022356.1510.061.2022357023138.hdf
2022-12-23	357	MOD04_3K.A2022357.1550.061.2022358022348.hdf
2022-12-23	357	MOD04_3K.A2022357.1555.061.2022358021118.hdf
2022-12-24	358	MOD04_3K.A2022358.1455.061.2022359014731.hdf
2022-12-25	359	MOD04_3K.A2022359.1535.061.2022360014130.hdf
2022-12-26	360	MOD04_3K.A2022360.1440.061.2022362021840.hdf

2022-12-26	360	MOD04_3K.A2022360.1615.061.2022362020255.hdf
2022-12-27	361	MOD04_3K.A2022361.1520.061.2022362091220.hdf
2022-12-28	362	MOD04_3K.A2022362.1600.061.2022363050019.hdf
2022-12-29	363	MOD04_3K.A2022363.1505.061.2022364015652.hdf
2022-12-30	364	MOD04_3K.A2022364.1545.061.2022365021234.hdf
2022-12-31	365	MOD04_3K.A2022365.1450.061.2022001020349.hdf

### ANEXO III. Script de Matlab para extracción de AOT a partir de imágenes del satélite MODIS.

```

1 % Ruta donde se encuentran los archivos HDF
2 ruta = 'D:\OneDrive - Escuela Politécnica Nacional\9no semestre\TIC\Datos\MOD04_3K';
3
4 % Obtener la lista de archivos HDF en la ruta
5 archivos = dir(fullfile(ruta, '*.hdf'));
6 num_archivos = numel(archivos);
7
8 % Preasignación de matrices para almacenar los nombres de archivo y los valores
9 nombres_archivos = cell(num_archivos, 1);
10 valores = zeros(num_archivos, 1);
11
12 % Coordenadas de interés
13 latitud_referencia = 0; % Latitud de referencia en grados
14 longitud_referencia = 0; % Longitud de referencia en grados
15 escala_km_por_pixel = 1; % Escala de la imagen en km/pixel
16
17 radio_km = 1; % Radio en kilómetros para calcular el promedio de los valores circundantes
18 lat = -0.0092;
19 lon = -78.44;
20
21 % Tamaño de la ventana en píxeles
22 window_size = round(radio_km / escala_km_por_pixel); % Tamaño de la ventana en píxeles
23
24 % Bucle sobre cada archivo HDF
25 for i = 1:num_archivos
26     % Nombre del archivo HDF actual
27     nombre_archivo = archivos(i).name;
28     nombres_archivos{i} = nombre_archivo;
29
30     % Abrir el archivo HDF
31     archivo_completo = fullfile(ruta, nombre_archivo);
32     hdf_info = hdfinfo(archivo_completo);

```

```

33
34 % Explorar la estructura del archivo HDF y encontrar el nombre de la variable
35 % Supongamos que la variable de interés se llama 'variable_interes'
36 var_name = 'Corrected_Optical_Depth_Land';
37
38 % Extraer la variable de interés
39 data = hdfread(archivo_completo, var_name);
40
41 % Convertir las coordenadas a índices de píxeles
42 lat_index = (lat - latitud_referencia) / escala_km_por_pixel;
43 lon_index = (lon - longitud_referencia) / escala_km_por_pixel;
44
45 % Verificar si las coordenadas están dentro del rango de la imagen
46 if lat_index >= 1 && lat_index <= size(data, 1) && lon_index >= 1 && lon_index <= size(data, 2)
47     % Extraer el valor en la coordenada específica
48     values(i) = data(round(lat_index), round(lon_index));
49 else
50     % Si las coordenadas están fuera del rango, calcular el promedio de los valores circundantes
51     % Usaremos una ventana de 3x3 para los píxeles circundantes
52     [X, Y] = meshgrid(-window_size:window_size, -window_size:window_size);
53     distancia = sqrt(X.^2 + Y.^2) * escala_km_por_pixel; % Calcula la distancia en kilómetros
54     mask = distancia <= radio_km; % Crea una máscara booleana para los píxeles dentro del radio
55     mask = mask / sum(mask(:)); % Normaliza la máscara para que sume 1
56     lat_index = max(1, min(size(data, 1), round(lat_index))); % Ajusta los límites del índice
57     lon_index = max(1, min(size(data, 2), round(lon_index))); % Ajusta los límites del índice
58
59     % Define nearby_values después de calcular mask
60     nearby_values = data(max(1, lat_index - window_size):min(size(data, 1), lat_index + window_size), ...
61                         max(1, lon_index - window_size):min(size(data, 2), lon_index + window_size));
62     nearby_values(~mask(lat_index, lon_index)) = NaN; % Aplica la máscara para excluir los píxeles fuera del radio
63     values(i) = mean(nearby_values(:), 'omitnan') * 0.0010000000474974513; % Calcula el promedio de los valores
64 end
65
66
67 % Crear una tabla con los nombres de archivo y los valores
68 resultado = table(nombres_archivos, values, 'VariableNames', {'NombreArchivo', 'Valor'});
69
70 % Guardar la tabla en un archivo de texto
71 nombre_archivo_salida = 'San_Antonio.txt';
72 writetable(resultado, nombre_archivo_salida, 'Delimiter', '\t');
73

```

## ANEXO IV. Script de RStudio del Algoritmo Dark Target.



```

1 # Instala y carga la librería 'xml2' para manejar archivos XML
2 install.packages("xml2")
3 install.packages("raster")
4 library(xml2)
5 library(raster)
6
7 # Define la función para extraer los valores de respuesta espectral de una banda específica
8 extraer_valores <- function(xml_data, band_id) {
9   xpath <- paste0("//Spectral_Information[@bandId='", band_id, "']/Spectral_Response/VALUES")
10  valores <- xml2::xml_text(xml2::xml_find_all(xml_data, xpath))
11  valores <- as.numeric(unlist(strsplit(valores, " ")))
12  return(valores)
13 }
14
15 # Define la ruta de la carpeta que contiene los archivos XML
16 ruta_carpeta <- "D:/OneDrive - Escuela Politécnica Nacional/9no semestre/TIC/Datos/SENTINEL 2,
17
18 # Obtiene la lista de archivos XML en la carpeta
19 archivos_xml <- list.files(path = ruta_carpeta, pattern = "\\*.xml$", full.names = TRUE)
20
21 # Itera sobre cada archivo XML
22 for (archivo_xml in archivos_xml) {
23   # Lee el archivo XML
24   datos_xml <- xml2::read_xml(archivo_xml)
25
26   # Extrae los valores de respuesta espectral para cada banda necesaria
27   banda_blue_values <- extraer_valores(datos_xml, "1")
28   banda_green_values <- extraer_valores(datos_xml, "2")
29   banda_red_values <- extraer_valores(datos_xml, "3")
30   banda_nir_values <- extraer_valores(datos_xml, "7")
31
32   # Obtener la longitud máxima de los vectores
33   max_length <- max(length(banda_blue_values), length(banda_green_values), length(banda_red_v:
34
35   # Ajustar la longitud de todos los vectores al máximo
36   banda_blue_values <- rep(banda_blue_values, length.out = max_length)
37   banda_green_values <- rep(banda_green_values, length.out = max_length)
38   banda_red_values <- rep(banda_red_values, length.out = max_length)
39   banda_nir_values <- rep(banda_nir_values, length.out = max_length)

```

```

40
41 # Calcula el índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
42 NDVI <- (banda_nir_values - banda_red_values) / (banda_nir_values + banda_red_values)
43
44 # Define los parámetros del algoritmo Dark Target
45 a <- 0.5 # Por ejemplo, valor del parámetro a
46 b <- 0.5 # Por ejemplo, valor del parámetro b
47
48 # Calcula el espesor óptico de aerosoles utilizando el algoritmo Dark Target
49 aerosol_optical_thickness <- a * (banda_blue_values / banda_green_values) + b * (banda_red_
50
51 # Imprime los valores del espesor óptico de aerosoles
52 print(aerosol_optical_thickness)
53
54 # Crear la matriz a partir del vector
55 matriz_aot <- matrix(aerosol_optical_thickness, nrow = 12, ncol = 12)
56
57 # Convertir la matriz en un objeto raster
58 raster_aot <- raster(matriz_aot)
59
60 # Define la ruta de salida para el archivo TIFF
61 nombre_archivo <- paste0("AOT_", basename(archivo_xml), ".tif")
62 ruta_salida <- file.path("D:/OneDrive - Escuela Politécnica Nacional/9no semestre/TIC/Datos/S
63
64 # Exporta el raster como un archivo TIFF
65 writeRaster(raster_aot, filename = ruta_salida, format = "GTiff", overwrite = TRUE)
66 }

```

## ANEXO V. Script de Matlab para extracción de AOT a partir de imágenes del satélite Sentinel 2.

```

1 % Ruta donde se encuentran los archivos TIFF
2 ruta = 'D:\OneDrive - Escuela Politécnica Nacional\9no semestre\TIC\Datos\SENTINEL 2';
3
4 % Obtener la lista de archivos TIFF en la ruta
5 archivos = dir(fullfile(ruta, '*.tif'));
6 num_archivos = numel(archivos);
7
8 % Preasignación de matrices para almacenar los nombres de archivo y los valores
9 nombres_archivos = cell(num_archivos, 1);
10 values = zeros(num_archivos, 1);
11
12 % Coordenadas de interés
13 latitud_referencia = 0; % Latitud de referencia en grados
14 longitud_referencia = 0; % Longitud de referencia en grados
15 escala_km_por_pixel = 1; % Escala de la imagen en km/píxel
16
17 radio_km = 1; % Radio en kilómetros para calcular el promedio de los valores circundantes
18 lat = -0.21;
19 lon = -78.4;
20
21 % Tamaño de la ventana en píxeles
22 window_size = round(radio_km / escala_km_por_pixel); % Tamaño de la ventana en píxeles
23
24 % Bucle sobre cada archivo TIFF
25 for i = 1:num_archivos
26     % Nombre del archivo TIFF actual
27     nombre_archivo = archivos(i).name;
28     nombres_archivos{i} = nombre_archivo;
29
30     % Abrir el archivo TIFF
31     archivo_completo = fullfile(ruta, nombre_archivo);
32     data = imread(archivo_completo);

```

```

33
34 % Convertir las coordenadas a índices de píxeles
35 lat_index = round((lat - latitud_referencia) / escala_km_por_pixel);
36 lon_index = round((lon - longitud_referencia) / escala_km_por_pixel);
37
38 % Verificar si las coordenadas están dentro del rango de la imagen
39 if lat_index >= 1 && lat_index <= size(data, 1) && lon_index >= 1 && lon_index <= size(data, 2)
40 % Extraer el valor en la coordenada específica
41 values(i) = data(lat_index, lon_index);
42 else
43 % Si las coordenadas están fuera del rango, calcular el promedio de los valores circundantes
44 % Usaremos una ventana de 3x3 para los píxeles circundantes
45 [X, Y] = meshgrid(-window_size:window_size, -window_size:window_size);
46 distancia = sqrt(X.^2 + Y.^2) * escala_km_por_pixel; % Calcula la distancia en kilómetros
47 mask = distancia <= radio_km; % Crea una máscara booleana para los píxeles dentro del radio
48 mask = mask / sum(mask(:)); % Normaliza la máscara para que sume 1
49 lat_index = max(1, min(size(data, 1), lat_index)); % Ajusta los límites del índice
50 lon_index = max(1, min(size(data, 2), lon_index)); % Ajusta los límites del índice
51
52 % Define nearby_values después de calcular mask
53 nearby_values = data(max(1, lat_index - window_size):min(size(data, 1), lat_index + window_size), ...
54 max(1, lon_index - window_size):min(size(data, 2), lon_index + window_size));
55 nearby_values(~mask(lat_index, lon_index)) = NaN; % Aplica la máscara para excluir los píxeles fuera del ra
56 values(i) = mean(nearby_values(:), 'omitnan'); % Calcula el promedio de los valores circundantes, ignorando
57 end
58 end
59
60 % Crear una tabla con los nombres de archivo y los valores
61 resultado = table(nombres_archivos, values, 'VariableNames', {'NombreArchivo', 'Valor'});
62
63 % Guardar la tabla en un archivo de texto
64 nombre_archivo_salida = 'Tumbaco tiff3 txt';

```

## ANEXO VI. Valores de AOT extraídos para las imágenes del satélite MODIS.

Fecha	Día juliano	Nombre imagen satelital MOD04_3K	Valor
2022-01-01	1	MOD04_3K.A2022001.1510.061.2022002015253.hdf	-7.499
2022-01-02	2	MOD04_3K.A2022002.1555.061.2022003014427.hdf	-7.499
2022-01-03	3	MOD04_3K.A2022003.1455.061.2022004023015.hdf	-7.499

2022-01-03	3	MOD04_3K.A2022003.1500.061.2022004022923.hdf	-7.499
2022-01-04	4	MOD04_3K.A2022004.1540.061.2022005014930.hdf	-4.989
2022-01-05	5	MOD04_3K.A2022005.1445.061.2022006014934.hdf	-7.499
2022-01-06	6	MOD04_3K.A2022006.1530.061.2022007013945.hdf	-7.499
2022-01-07	7	MOD04_3K.A2022007.1610.061.2022008014958.hdf	-7.499
2022-01-08	8	MOD04_3K.A2022008.1515.061.2022009013912.hdf	-7.499
2022-01-09	9	MOD04_3K.A2022009.1600.061.2022010015205.hdf	-7.499
2022-01-10	10	MOD04_3K.A2022010.1505.061.2022011021213.hdf	-7.499
2022-01-11	11	MOD04_3K.A2022011.1545.061.2022012051418.hdf	-7.499
2022-01-12	12	MOD04_3K.A2022012.1450.061.2022014151510.hdf	-7.499
2022-01-13	13	MOD04_3K.A2022013.1535.061.2022018152030.hdf	-7.499
2022-01-14	14	MOD04_3K.A2022014.1440.061.2022018162025.hdf	-7.499
2022-01-14	14	MOD04_3K.A2022014.1615.061.2022018161831.hdf	-7.499
2022-01-15	15	MOD04_3K.A2022015.1520.061.2022018173133.hdf	-7.499
2022-01-15	15	MOD04_3K.A2022015.1525.061.2022018173145.hdf	-7.499
2022-01-16	16	MOD04_3K.A2022016.1605.061.2022018162754.hdf	-7.499
2022-01-17	17	MOD04_3K.A2022017.1510.061.2022018171302.hdf	-7.499
2022-01-18	18	MOD04_3K.A2022018.1550.061.2022019022810.hdf	0.033
2022-01-18	18	MOD04_3K.A2022018.1555.061.2022019022737.hdf	-7.499
2022-01-19	19	MOD04_3K.A2022019.1455.061.2022024185256.hdf	-7.499
2022-01-19	19	MOD04_3K.A2022019.1500.061.2022024185237.hdf	-7.499
2022-01-20	20	MOD04_3K.A2022020.1540.061.2022024183124.hdf	-7.499
2022-01-21	21	MOD04_3K.A2022021.1445.061.2022024184236.hdf	-7.499
2022-01-22	22	MOD04_3K.A2022022.1530.061.2022024190535.hdf	-7.499
2022-01-23	23	MOD04_3K.A2022023.1610.061.2022026214938.hdf	-7.499
2022-01-24	24	MOD04_3K.A2022024.1515.061.2022026215616.hdf	-7.499
2022-01-25	25	MOD04_3K.A2022025.1600.061.2022026221912.hdf	-7.499
2022-01-26	26	MOD04_3K.A2022026.1505.061.2022027021244.hdf	-7.499
2022-01-27	27	MOD04_3K.A2022027.1545.061.2022028110920.hdf	-7.499

2022-01-28	28	MOD04_3K.A2022028.1450.061.2022029020121.hdf	-7.499
2022-01-29	29	MOD04_3K.A2022029.1535.061.2022030032621.hdf	-7.499
2022-01-30	30	MOD04_3K.A2022030.1440.061.2022031022535.hdf	-7.499
2022-01-30	30	MOD04_3K.A2022030.1615.061.2022031022621.hdf	-7.499
2022-01-31	31	MOD04_3K.A2022031.1520.061.2022032032958.hdf	-7.499
2022-02-01	32	MOD04_3K.A2022032.1605.061.2022033043857.hdf	-7.499
2022-02-02	33	MOD04_3K.A2022033.1510.061.2022035151759.hdf	0.037
2022-02-03	34	MOD04_3K.A2022034.1550.061.2022035162620.hdf	0.105
2022-02-03	34	MOD04_3K.A2022034.1555.061.2022035162620.hdf	-7.499
2022-02-04	35	MOD04_3K.A2022035.1455.061.2022036022306.hdf	-7.499
2022-02-05	36	MOD04_3K.A2022036.1540.061.2022037050210.hdf	-7.499
2022-02-06	37	MOD04_3K.A2022037.1445.061.2022039114233.hdf	-7.499
2022-02-07	38	MOD04_3K.A2022038.1525.061.2022039113356.hdf	-7.499
2022-02-07	38	MOD04_3K.A2022038.1530.061.2022039113422.hdf	-7.499
2022-02-08	39	MOD04_3K.A2022039.1435.061.2022040020152.hdf	-7.499
2022-02-08	39	MOD04_3K.A2022039.1610.061.2022040020111.hdf	-7.499
2022-02-09	40	MOD04_3K.A2022040.1515.061.2022041021941.hdf	-7.499
2022-02-10	41	MOD04_3K.A2022041.1600.061.2022042021048.hdf	-7.499
2022-02-11	42	MOD04_3K.A2022042.1500.061.2022043014804.hdf	-7.499
2022-02-11	42	MOD04_3K.A2022042.1505.061.2022043015628.hdf	-7.499
2022-02-12	43	MOD04_3K.A2022043.1545.061.2022044014056.hdf	-2.472
2022-02-13	44	MOD04_3K.A2022044.1450.061.2022045014522.hdf	-7.499
2022-02-14	45	MOD04_3K.A2022045.1535.061.2022046014543.hdf	-7.499
2022-02-15	46	MOD04_3K.A2022046.1440.061.2022047015947.hdf	-7.499
2022-02-15	46	MOD04_3K.A2022046.1615.061.2022047020110.hdf	-7.499
2022-02-16	47	MOD04_3K.A2022047.1520.061.2022048015010.hdf	-7.499
2022-02-17	48	MOD04_3K.A2022048.1605.061.2022049020338.hdf	-7.499
2022-02-18	49	MOD04_3K.A2022049.1510.061.2022050050931.hdf	-7.499
2022-02-19	50	MOD04_3K.A2022050.1550.061.2022051014009.hdf	-7.499

2022-02-19	50	MOD04_3K.A2022050.1555.061.2022051014026.hdf	-7.499
2022-02-20	51	MOD04_3K.A2022051.1455.061.2022054191127.hdf	-7.499
2022-02-21	52	MOD04_3K.A2022052.1540.061.2022054204148.hdf	-7.499
2022-02-22	53	MOD04_3K.A2022053.1445.061.2022054202519.hdf	-7.499
2022-02-22	53	MOD04_3K.A2022053.1620.061.2022054202734.hdf	0.229
2022-02-23	54	MOD04_3K.A2022054.1525.061.2022056220914.hdf	-7.499
2022-02-23	54	MOD04_3K.A2022054.1530.061.2022056220909.hdf	-7.499
2022-02-24	55	MOD04_3K.A2022055.1610.061.2022056232848.hdf	-7.499
2022-02-25	56	MOD04_3K.A2022056.1515.061.2022057014835.hdf	-7.499
2022-02-26	57	MOD04_3K.A2022057.1600.061.2022058014551.hdf	-7.499
2022-02-27	58	MOD04_3K.A2022058.1500.061.2022059013406.hdf	-7.499
2022-02-27	58	MOD04_3K.A2022058.1505.061.2022059013325.hdf	-7.499
2022-02-28	59	MOD04_3K.A2022059.1545.061.2022060014527.hdf	-7.499
2022-03-01	60	MOD04_3K.A2022060.1450.061.2022061155500.hdf	-7.499
2022-03-02	61	MOD04_3K.A2022061.1535.061.2022062013303.hdf	-7.499
2022-03-03	62	MOD04_3K.A2022062.1440.061.2022063014617.hdf	-7.499
2022-03-03	62	MOD04_3K.A2022062.1615.061.2022063014628.hdf	-7.499
2022-03-04	63	MOD04_3K.A2022063.1520.061.2022064014407.hdf	-7.499
2022-03-05	64	MOD04_3K.A2022064.1605.061.2022065014833.hdf	-7.499
2022-03-06	65	MOD04_3K.A2022065.1510.061.2022066014347.hdf	-7.499
2022-03-07	66	MOD04_3K.A2022066.1550.061.2022067014121.hdf	0.161
2022-03-08	67	MOD04_3K.A2022067.1455.061.2022068015917.hdf	-7.499
2022-03-09	68	MOD04_3K.A2022068.1540.061.2022069014637.hdf	-7.499
2022-03-10	69	MOD04_3K.A2022069.1445.061.2022070015511.hdf	-7.499
2022-03-10	69	MOD04_3K.A2022069.1620.061.2022070015625.hdf	-4.954
2022-03-11	70	MOD04_3K.A2022070.1525.061.2022071014556.hdf	-7.499
2022-03-12	71	MOD04_3K.A2022071.1610.061.2022072013942.hdf	-7.499
2022-03-13	72	MOD04_3K.A2022072.1515.061.2022073014430.hdf	-7.499
2022-03-14	73	MOD04_3K.A2022073.1555.061.2022074015049.hdf	-7.499

2022-03-14	73	MOD04_3K.A2022073.1600.061.2022074015151.hdf	-7.499
2022-03-15	74	MOD04_3K.A2022074.1500.061.2022091231835.hdf	-7.499
2022-03-15	74	MOD04_3K.A2022074.1505.061.2022091231928.hdf	-7.499
2022-03-16	75	MOD04_3K.A2022075.1545.061.2022091232901.hdf	-7.499
2022-03-17	76	MOD04_3K.A2022076.1450.061.2022091234103.hdf	-7.499
2022-03-18	77	MOD04_3K.A2022077.1530.061.2022091235249.hdf	-7.499
2022-03-18	77	MOD04_3K.A2022077.1535.061.2022091235247.hdf	-7.499
2022-03-19	78	MOD04_3K.A2022078.1440.061.2022092000342.hdf	-7.499
2022-03-19	78	MOD04_3K.A2022078.1615.061.2022092000518.hdf	-7.499
2022-03-20	79	MOD04_3K.A2022079.1520.061.2022092001407.hdf	-7.499
2022-03-21	80	MOD04_3K.A2022080.1605.061.2022092002738.hdf	-7.499
2022-03-22	81	MOD04_3K.A2022081.1505.061.2022092003941.hdf	-7.499
2022-03-22	81	MOD04_3K.A2022081.1510.061.2022092003941.hdf	-7.499
2022-03-23	82	MOD04_3K.A2022082.1550.061.2022092015415.hdf	-7.499
2022-03-24	83	MOD04_3K.A2022083.1455.061.2022092013733.hdf	-7.499
2022-03-25	84	MOD04_3K.A2022084.1540.061.2022092064335.hdf	-7.499
2022-03-26	85	MOD04_3K.A2022085.1445.061.2022087144602.hdf	-7.499
2022-03-26	85	MOD04_3K.A2022085.1620.061.2022087000440.hdf	-7.499
2022-03-27	86	MOD04_3K.A2022086.1525.061.2022087203332.hdf	-7.499
2022-03-28	87	MOD04_3K.A2022087.1610.061.2022088022753.hdf	-7.499
2022-03-29	88	MOD04_3K.A2022088.1515.061.2022089014300.hdf	-7.499
2022-03-30	89	MOD04_3K.A2022089.1555.061.2022090014406.hdf	0.219
2022-03-30	89	MOD04_3K.A2022089.1600.061.2022090015003.hdf	-7.499
2022-03-31	90	MOD04_3K.A2022090.1500.061.2022094231350.hdf	-7.499
2022-04-01	91	MOD04_3K.A2022091.1545.061.2022095002836.hdf	-7.499
2022-04-02	92	MOD04_3K.A2022092.1450.061.2022095003546.hdf	-7.499
2022-04-02	92	MOD04_3K.A2022092.1625.061.2022095004033.hdf	-7.499
2022-04-03	93	MOD04_3K.A2022093.1530.061.2022095004754.hdf	-7.499
2022-04-03	93	MOD04_3K.A2022093.1535.061.2022095004735.hdf	-7.499



2022-04-04	94	MOD04_3K.A2022094.1615.061.2022095020514.hdf	-7.499
2022-04-05	95	MOD04_3K.A2022095.1520.061.2022096013643.hdf	-7.499
2022-04-06	96	MOD04_3K.A2022096.1605.061.2022097014850.hdf	-7.499
2022-04-07	97	MOD04_3K.A2022097.1505.061.2022120131040.hdf	-7.499
2022-04-07	97	MOD04_3K.A2022097.1510.061.2022120131136.hdf	-7.499
2022-04-08	98	MOD04_3K.A2022098.1550.061.2022101191109.hdf	-7.499
2022-04-09	99	MOD04_3K.A2022099.1455.061.2022101191918.hdf	-7.499
2022-04-10	100	MOD04_3K.A2022100.1540.061.2022101195040.hdf	-7.499
2022-04-11	101	MOD04_3K.A2022101.1445.061.2022102020213.hdf	-7.499
2022-04-11	101	MOD04_3K.A2022101.1620.061.2022102015303.hdf	-7.499
2022-04-12	102	MOD04_3K.A2022102.1525.061.2022103014148.hdf	-7.499
2022-04-13	103	MOD04_3K.A2022103.1610.061.2022104014427.hdf	-7.499
2022-04-14	104	MOD04_3K.A2022104.1515.061.2022105013949.hdf	-7.499
2022-04-15	105	MOD04_3K.A2022105.1555.061.2022106015336.hdf	-7.499
2022-04-16	106	MOD04_3K.A2022106.1500.061.2022107013854.hdf	-7.499
2022-04-17	107	MOD04_3K.A2022107.1545.061.2022108014313.hdf	-7.499
2022-04-18	108	MOD04_3K.A2022108.1450.061.2022109013729.hdf	-7.499
2022-04-18	108	MOD04_3K.A2022108.1625.061.2022109014115.hdf	-7.499
2022-04-19	109	MOD04_3K.A2022109.1530.061.2022110015059.hdf	-7.499
2022-04-19	109	MOD04_3K.A2022109.1535.061.2022110015133.hdf	-7.499
2022-04-20	110	MOD04_3K.A2022110.1615.061.2022111014506.hdf	-7.499
2022-04-21	111	MOD04_3K.A2022111.1520.061.2022112013840.hdf	-7.499
2022-04-22	112	MOD04_3K.A2022112.1600.061.2022113014934.hdf	-7.499
2022-04-22	112	MOD04_3K.A2022112.1605.061.2022113014952.hdf	-7.499
2022-04-23	113	MOD04_3K.A2022113.1505.061.2022114014904.hdf	-7.499
2022-04-23	113	MOD04_3K.A2022113.1510.061.2022114015453.hdf	-7.499
2022-04-24	114	MOD04_3K.A2022114.1550.061.2022115014301.hdf	-7.499
2022-04-25	115	MOD04_3K.A2022115.1455.061.2022116034836.hdf	-7.499
2022-04-26	116	MOD04_3K.A2022116.1540.061.2022117054259.hdf	-7.499

2022-04-27	117	MOD04_3K.A2022117.1445.061.2022118014936.hdf	-7.499
2022-04-27	117	MOD04_3K.A2022117.1620.061.2022118015038.hdf	-7.499
2022-04-28	118	MOD04_3K.A2022118.1525.061.2022119015207.hdf	-7.499
2022-04-29	119	MOD04_3K.A2022119.1610.061.2022120015938.hdf	-7.499
2022-04-30	120	MOD04_3K.A2022120.1515.061.2022121021600.hdf	-7.499
2022-05-01	121	MOD04_3K.A2022121.1555.061.2022122015800.hdf	-7.499
2022-05-02	122	MOD04_3K.A2022122.1500.061.2022123013450.hdf	-7.499
2022-05-03	123	MOD04_3K.A2022123.1545.061.2022124013911.hdf	-7.499
2022-05-04	124	MOD04_3K.A2022124.1450.061.2022125014450.hdf	-7.499
2022-05-04	124	MOD04_3K.A2022124.1625.061.2022125014450.hdf	-4.827
2022-05-05	125	MOD04_3K.A2022125.1530.061.2022126013643.hdf	-7.499
2022-05-06	126	MOD04_3K.A2022126.1615.061.2022127014542.hdf	-7.499
2022-05-07	127	MOD04_3K.A2022127.1520.061.2022128014723.hdf	-7.499
2022-05-08	128	MOD04_3K.A2022128.1600.061.2022129015027.hdf	-7.499
2022-05-08	128	MOD04_3K.A2022128.1605.061.2022129015024.hdf	-7.499
2022-05-09	129	MOD04_3K.A2022129.1505.061.2022130020203.hdf	-7.499
2022-05-10	130	MOD04_3K.A2022130.1550.061.2022131020551.hdf	-7.499
2022-05-11	131	MOD04_3K.A2022131.1455.061.2022132015159.hdf	-7.499
2022-05-12	132	MOD04_3K.A2022132.1535.061.2022133021311.hdf	-7.499
2022-05-12	132	MOD04_3K.A2022132.1540.061.2022133021351.hdf	-7.499
2022-05-13	133	MOD04_3K.A2022133.1620.061.2022134015426.hdf	-7.499
2022-05-14	134	MOD04_3K.A2022134.1525.061.2022135015417.hdf	-2.394
2022-05-15	135	MOD04_3K.A2022135.1610.061.2022136014418.hdf	-7.499
2022-05-16	136	MOD04_3K.A2022136.1510.061.2022137013923.hdf	-7.499
2022-05-16	136	MOD04_3K.A2022136.1515.061.2022137014458.hdf	-7.499
2022-05-17	137	MOD04_3K.A2022137.1555.061.2022138141935.hdf	-7.499
2022-05-18	138	MOD04_3K.A2022138.1500.061.2022139014746.hdf	-7.499
2022-05-19	139	MOD04_3K.A2022139.1545.061.2022140015334.hdf	-7.499
2022-05-20	140	MOD04_3K.A2022140.1445.061.2022141014443.hdf	-7.499

2022-05-20	140	MOD04_3K.A2022140.1450.061.2022141014450.hdf	-7.499
2022-05-20	140	MOD04_3K.A2022140.1625.061.2022141014446.hdf	-7.499
2022-05-21	141	MOD04_3K.A2022141.1530.061.2022143132413.hdf	-7.499
2022-05-23	143	MOD04_3K.A2022143.1520.061.2022144014122.hdf	-7.499
2022-05-24	144	MOD04_3K.A2022144.1600.061.2022145014646.hdf	-7.499
2022-05-25	145	MOD04_3K.A2022145.1505.061.2022146014328.hdf	-7.499
2022-05-26	146	MOD04_3K.A2022146.1550.061.2022147014959.hdf	-7.499
2022-05-27	147	MOD04_3K.A2022147.1455.061.2022148023951.hdf	-7.499
2022-05-28	148	MOD04_3K.A2022148.1535.061.2022149015443.hdf	-7.499
2022-05-29	149	MOD04_3K.A2022149.1620.061.2022152013452.hdf	-7.499
2022-05-30	150	MOD04_3K.A2022150.1525.061.2022152002306.hdf	-7.499
2022-05-31	151	MOD04_3K.A2022151.1605.061.2022152063159.hdf	-7.499
2022-05-31	151	MOD04_3K.A2022151.1610.061.2022152104249.hdf	-7.499
2022-06-01	152	MOD04_3K.A2022152.1510.061.2022153014301.hdf	-7.499
2022-06-02	153	MOD04_3K.A2022153.1555.061.2022159222715.hdf	-7.499
2022-06-03	154	MOD04_3K.A2022154.1500.061.2022157233108.hdf	-7.499
2022-06-04	155	MOD04_3K.A2022155.1540.061.2022158131638.hdf	-7.499
2022-06-04	155	MOD04_3K.A2022155.1545.061.2022158131436.hdf	-7.499
2022-06-05	156	MOD04_3K.A2022156.1445.061.2022158132029.hdf	-7.499
2022-06-05	156	MOD04_3K.A2022156.1450.061.2022158132114.hdf	-7.499
2022-06-06	157	MOD04_3K.A2022157.1530.061.2022158132900.hdf	-7.499
2022-06-07	158	MOD04_3K.A2022158.1615.061.2022159015311.hdf	-7.499
2022-06-08	159	MOD04_3K.A2022159.1515.061.2022160014757.hdf	-7.499
2022-06-08	159	MOD04_3K.A2022159.1520.061.2022160014837.hdf	-7.499
2022-06-09	160	MOD04_3K.A2022160.1600.061.2022161015602.hdf	-7.499
2022-06-10	161	MOD04_3K.A2022161.1505.061.2022162020242.hdf	-7.499
2022-06-11	162	MOD04_3K.A2022162.1550.061.2022163015715.hdf	-7.499
2022-06-12	163	MOD04_3K.A2022163.1450.061.2022164015835.hdf	-7.499
2022-06-12	163	MOD04_3K.A2022163.1455.061.2022164015837.hdf	-7.499

2022-06-13	164	MOD04_3K.A2022164.1535.061.2022165045139.hdf	-7.499
2022-06-14	165	MOD04_3K.A2022165.1440.061.2022166014627.hdf	-7.499
2022-06-15	166	MOD04_3K.A2022166.1525.061.2022167014328.hdf	-7.499
2022-06-16	167	MOD04_3K.A2022167.1605.061.2022168015020.hdf	-7.499
2022-06-16	167	MOD04_3K.A2022167.1610.061.2022168015455.hdf	-7.499
2022-06-17	168	MOD04_3K.A2022168.1510.061.2022169015414.hdf	-7.499
2022-06-18	169	MOD04_3K.A2022169.1555.061.2022173202520.hdf	-7.499
2022-06-19	170	MOD04_3K.A2022170.1500.061.2022173213429.hdf	-7.499
2022-06-20	171	MOD04_3K.A2022171.1540.061.2022173213949.hdf	-7.499
2022-06-20	171	MOD04_3K.A2022171.1545.061.2022173213946.hdf	-7.499
2022-06-21	172	MOD04_3K.A2022172.1445.061.2022173214938.hdf	-7.499
2022-06-22	173	MOD04_3K.A2022173.1530.061.2022174020937.hdf	-7.499
2022-06-23	174	MOD04_3K.A2022174.1615.061.2022175014402.hdf	-7.499
2022-06-24	175	MOD04_3K.A2022175.1515.061.2022176014819.hdf	-7.499
2022-06-24	175	MOD04_3K.A2022175.1520.061.2022176015327.hdf	-7.499
2022-06-25	176	MOD04_3K.A2022176.1600.061.2022177015402.hdf	-7.499
2022-06-26	177	MOD04_3K.A2022177.1505.061.2022178015419.hdf	-7.499
2022-06-27	178	MOD04_3K.A2022178.1550.061.2022179015451.hdf	-7.499
2022-06-28	179	MOD04_3K.A2022179.1450.061.2022180141324.hdf	-7.499
2022-06-28	179	MOD04_3K.A2022179.1455.061.2022180141427.hdf	-7.499
2022-06-29	180	MOD04_3K.A2022180.1535.061.2022181020429.hdf	-7.499
2022-06-30	181	MOD04_3K.A2022181.1440.061.2022182020016.hdf	-7.499
2022-07-01	182	MOD04_3K.A2022182.1525.061.2022183014940.hdf	-7.499
2022-07-02	183	MOD04_3K.A2022183.1605.061.2022184014827.hdf	-7.499
2022-07-03	184	MOD04_3K.A2022184.1510.061.2022185014906.hdf	-7.499
2022-07-04	185	MOD04_3K.A2022185.1555.061.2022186015303.hdf	-7.499
2022-07-05	186	MOD04_3K.A2022186.1500.061.2022187202921.hdf	-7.499
2022-07-06	187	MOD04_3K.A2022187.1540.061.2022188021518.hdf	-7.499
2022-07-07	188	MOD04_3K.A2022188.1445.061.2022189015338.hdf	-7.499

2022-07-08	189	MOD04_3K.A2022189.1530.061.2022190020206.hdf	-7.499
2022-07-09	190	MOD04_3K.A2022190.1435.061.2022191020527.hdf	-7.499
2022-07-09	190	MOD04_3K.A2022190.1610.061.2022191020619.hdf	-7.499
2022-07-10	191	MOD04_3K.A2022191.1515.061.2022192014502.hdf	-7.499
2022-07-11	192	MOD04_3K.A2022192.1600.061.2022193015727.hdf	-7.499
2022-07-12	193	MOD04_3K.A2022193.1505.061.2022194030607.hdf	-7.499
2022-07-13	194	MOD04_3K.A2022194.1545.061.2022195105237.hdf	-7.499
2022-07-13	194	MOD04_3K.A2022194.1550.061.2022195104435.hdf	-7.499
2022-07-14	195	MOD04_3K.A2022195.1450.061.2022196015632.hdf	-7.499
2022-07-15	196	MOD04_3K.A2022196.1535.061.2022197015239.hdf	-7.499
2022-07-16	197	MOD04_3K.A2022197.1440.061.2022198013520.hdf	-7.499
2022-07-17	198	MOD04_3K.A2022198.1520.061.2022200221427.hdf	-7.499
2022-07-17	198	MOD04_3K.A2022198.1525.061.2022200221354.hdf	-7.499
2022-07-18	199	MOD04_3K.A2022199.1430.061.2022200234653.hdf	-7.499
2022-07-18	199	MOD04_3K.A2022199.1605.061.2022200234945.hdf	-7.499
2022-07-19	200	MOD04_3K.A2022200.1510.061.2022201024337.hdf	-7.499
2022-07-20	201	MOD04_3K.A2022201.1555.061.2022202015414.hdf	-7.499
2022-07-21	202	MOD04_3K.A2022202.1455.061.2022203014528.hdf	-7.499
2022-07-21	202	MOD04_3K.A2022202.1500.061.2022203014528.hdf	-7.499
2022-07-22	203	MOD04_3K.A2022203.1540.061.2022204020418.hdf	-7.499
2022-07-23	204	MOD04_3K.A2022204.1445.061.2022205013721.hdf	-7.499
2022-07-24	205	MOD04_3K.A2022205.1530.061.2022206014558.hdf	-7.499
2022-07-25	206	MOD04_3K.A2022206.1435.061.2022207013601.hdf	-7.499
2022-07-25	206	MOD04_3K.A2022206.1610.061.2022207013533.hdf	-7.499
2022-07-26	207	MOD04_3K.A2022207.1515.061.2022208020515.hdf	-7.499
2022-07-27	208	MOD04_3K.A2022208.1600.061.2022209015601.hdf	-7.499
2022-07-28	209	MOD04_3K.A2022209.1505.061.2022215051501.hdf	-7.499
2022-07-29	210	MOD04_3K.A2022210.1545.061.2022215071302.hdf	-7.499
2022-07-30	211	MOD04_3K.A2022211.1450.061.2022215065018.hdf	-7.499

2022-07-31	212	MOD04_3K.A2022212.1535.061.2022215072218.hdf	-7.499
2022-08-01	213	MOD04_3K.A2022213.1440.061.2022215065336.hdf	-7.499
2022-08-01	213	MOD04_3K.A2022213.1615.061.2022215065449.hdf	-7.499
2022-08-02	214	MOD04_3K.A2022214.1520.061.2022215070835.hdf	-7.499
2022-08-02	214	MOD04_3K.A2022214.1525.061.2022215070834.hdf	-7.499
2022-08-03	215	MOD04_3K.A2022215.1605.061.2022216014815.hdf	-7.499
2022-08-04	216	MOD04_3K.A2022216.1510.061.2022217013543.hdf	-7.499
2022-08-05	217	MOD04_3K.A2022217.1550.061.2022218012834.hdf	-7.499
2022-08-05	217	MOD04_3K.A2022217.1555.061.2022218012831.hdf	-7.499
2022-08-06	218	MOD04_3K.A2022218.1455.061.2022219015409.hdf	-7.499
2022-08-06	218	MOD04_3K.A2022218.1500.061.2022219015341.hdf	-7.499
2022-08-07	219	MOD04_3K.A2022219.1540.061.2022220015455.hdf	-7.499
2022-08-08	220	MOD04_3K.A2022220.1445.061.2022221131153.hdf	-7.499
2022-08-09	221	MOD04_3K.A2022221.1530.061.2022222015504.hdf	-7.499
2022-08-10	222	MOD04_3K.A2022222.1435.061.2022223140505.hdf	-7.499
2022-08-10	222	MOD04_3K.A2022222.1610.061.2022223140504.hdf	-7.499
2022-08-11	223	MOD04_3K.A2022223.1515.061.2022228182938.hdf	-7.499
2022-08-12	224	MOD04_3K.A2022224.1600.061.2022228182510.hdf	-7.499
2022-08-13	225	MOD04_3K.A2022225.1505.061.2022227033249.hdf	-7.499
2022-08-14	226	MOD04_3K.A2022226.1545.061.2022227033908.hdf	-7.499
2022-08-15	227	MOD04_3K.A2022227.1450.061.2022228021416.hdf	-7.499
2022-08-16	228	MOD04_3K.A2022228.1535.061.2022231170313.hdf	-7.499
2022-08-17	229	MOD04_3K.A2022229.1440.061.2022231182214.hdf	-7.499
2022-08-17	229	MOD04_3K.A2022229.1615.061.2022231181940.hdf	-7.499
2022-08-18	230	MOD04_3K.A2022230.1520.061.2022231183036.hdf	-7.499
2022-08-19	231	MOD04_3K.A2022231.1605.061.2022234155005.hdf	-7.499
2022-08-20	232	MOD04_3K.A2022232.1510.061.2022234185327.hdf	-7.499
2022-08-21	233	MOD04_3K.A2022233.1550.061.2022234190929.hdf	-7.499
2022-08-21	233	MOD04_3K.A2022233.1555.061.2022234190915.hdf	-7.499

2022-08-22	234	MOD04_3K.A2022234.1455.061.2022235023545.hdf	-7.499
2022-08-23	235	MOD04_3K.A2022235.1540.061.2022236015228.hdf	-7.499
2022-08-24	236	MOD04_3K.A2022236.1445.061.2022237211841.hdf	-7.499
2022-08-25	237	MOD04_3K.A2022237.1525.061.2022238020330.hdf	-7.499
2022-08-25	237	MOD04_3K.A2022237.1530.061.2022238022002.hdf	-7.499
2022-08-26	238	MOD04_3K.A2022238.1435.061.2022239020456.hdf	-7.499
2022-08-26	238	MOD04_3K.A2022238.1610.061.2022239020521.hdf	-7.499
2022-08-27	239	MOD04_3K.A2022239.1515.061.2022240021125.hdf	-7.499
2022-08-28	240	MOD04_3K.A2022240.1600.061.2022241021046.hdf	-7.499
2022-08-29	241	MOD04_3K.A2022241.1500.061.2022242012446.hdf	-7.499
2022-08-29	241	MOD04_3K.A2022241.1505.061.2022242012407.hdf	-7.499
2022-08-30	242	MOD04_3K.A2022242.1545.061.2022243151853.hdf	-7.499
2022-08-31	243	MOD04_3K.A2022243.1450.061.2022244023028.hdf	-7.499
2022-09-01	244	MOD04_3K.A2022244.1535.061.2022245041900.hdf	-7.499
2022-09-02	245	MOD04_3K.A2022245.1440.061.2022246022145.hdf	-7.499
2022-09-02	245	MOD04_3K.A2022245.1615.061.2022246022111.hdf	-7.499
2022-09-03	246	MOD04_3K.A2022246.1520.061.2022247051846.hdf	-7.499
2022-09-04	247	MOD04_3K.A2022247.1605.061.2022248014706.hdf	-7.499
2022-09-05	248	MOD04_3K.A2022248.1510.061.2022249014723.hdf	-7.499
2022-09-06	249	MOD04_3K.A2022249.1550.061.2022250023227.hdf	0.091
2022-09-06	249	MOD04_3K.A2022249.1555.061.2022250023204.hdf	-7.499
2022-09-07	250	MOD04_3K.A2022250.1455.061.2022251012337.hdf	-7.499
2022-09-08	251	MOD04_3K.A2022251.1540.061.2022258003841.hdf	-7.499
2022-09-09	252	MOD04_3K.A2022252.1445.061.2022258004340.hdf	-7.499
2022-09-09	252	MOD04_3K.A2022252.1620.061.2022258004222.hdf	0.135
2022-09-10	253	MOD04_3K.A2022253.1525.061.2022258004954.hdf	-7.499
2022-09-10	253	MOD04_3K.A2022253.1530.061.2022258005055.hdf	-7.499
2022-09-11	254	MOD04_3K.A2022254.1610.061.2022258010141.hdf	-7.499
2022-09-12	255	MOD04_3K.A2022255.1515.061.2022258010901.hdf	-7.499

2022-09-13	256	MOD04_3K.A2022256.1555.061.2022258011653.hdf	-7.499
2022-09-13	256	MOD04_3K.A2022256.1600.061.2022258011911.hdf	-7.499
2022-09-14	257	MOD04_3K.A2022257.1500.061.2022259201854.hdf	-7.499
2022-09-14	257	MOD04_3K.A2022257.1505.061.2022259201852.hdf	-7.499
2022-09-15	258	MOD04_3K.A2022258.1545.061.2022259212831.hdf	-7.499
2022-09-16	259	MOD04_3K.A2022259.1450.061.2022260020757.hdf	-7.499
2022-09-17	260	MOD04_3K.A2022260.1535.061.2022262200114.hdf	-7.499
2022-09-18	261	MOD04_3K.A2022261.1440.061.2022262204801.hdf	-4.976
2022-09-18	261	MOD04_3K.A2022261.1615.061.2022262204916.hdf	-7.499
2022-09-19	262	MOD04_3K.A2022262.1520.061.2022263023318.hdf	-2.411
2022-09-20	263	MOD04_3K.A2022263.1605.061.2022264015910.hdf	-7.499
2022-09-21	264	MOD04_3K.A2022264.1510.061.2022265020913.hdf	-7.499
2022-09-22	265	MOD04_3K.A2022265.1550.061.2022266021958.hdf	-7.499
2022-09-23	266	MOD04_3K.A2022266.1455.061.2022267021418.hdf	-7.499
2022-09-24	267	MOD04_3K.A2022267.1540.061.2022268015323.hdf	-7.499
2022-09-25	268	MOD04_3K.A2022268.1445.061.2022269020734.hdf	-7.499
2022-09-25	268	MOD04_3K.A2022268.1620.061.2022269021500.hdf	-7.499
2022-09-26	269	MOD04_3K.A2022269.1525.061.2022270024304.hdf	-7.499
2022-09-27	270	MOD04_3K.A2022270.1610.061.2022271022157.hdf	-7.499
2022-09-28	271	MOD04_3K.A2022271.1515.061.2022272020953.hdf	-7.499
2022-09-29	272	MOD04_3K.A2022272.1555.061.2022273015546.hdf	-7.499
2022-09-29	272	MOD04_3K.A2022272.1600.061.2022273015617.hdf	-7.499
2022-09-30	273	MOD04_3K.A2022273.1500.061.2022274023801.hdf	-7.499
2022-10-01	274	MOD04_3K.A2022274.1545.061.2022275020524.hdf	-7.499
2022-10-02	275	MOD04_3K.A2022275.1450.061.2022276020428.hdf	-7.499
2022-10-03	276	MOD04_3K.A2022276.1530.061.2022277022534.hdf	-7.499
2022-10-03	276	MOD04_3K.A2022276.1535.061.2022277022502.hdf	-7.499
2022-10-04	277	MOD04_3K.A2022277.1615.061.2022278014617.hdf	-7.499
2022-10-05	278	MOD04_3K.A2022278.1520.061.2022279013800.hdf	-7.499



2022-10-06	279	MOD04_3K.A2022279.1605.061.2022280024050.hdf	-7.499
2022-10-07	280	MOD04_3K.A2022280.1505.061.2022281021841.hdf	-7.499
2022-10-07	280	MOD04_3K.A2022280.1510.061.2022281021815.hdf	-7.499
2022-10-08	281	MOD04_3K.A2022281.1550.061.2022282014309.hdf	-7.499
2022-10-09	282	MOD04_3K.A2022282.1455.061.2022283220223.hdf	-7.499
2022-10-24	297	MOD04_3K.A2022297.1535.061.2022333212715.hdf	-7.499
2022-10-25	298	MOD04_3K.A2022298.1440.061.2022334001750.hdf	-7.499
2022-10-25	298	MOD04_3K.A2022298.1615.061.2022334001833.hdf	-7.499
2022-10-26	299	MOD04_3K.A2022299.1520.061.2022334024105.hdf	-7.499
2022-10-27	300	MOD04_3K.A2022300.1600.061.2022335003218.hdf	-7.499
2022-10-28	301	MOD04_3K.A2022301.1505.061.2022334095241.hdf	-7.499
2022-10-29	302	MOD04_3K.A2022302.1545.061.2022334123708.hdf	-7.499
2022-10-30	303	MOD04_3K.A2022303.1445.061.2022334150724.hdf	-7.499
2022-10-30	303	MOD04_3K.A2022303.1450.061.2022334150925.hdf	-7.499
2022-10-31	304	MOD04_3K.A2022304.1530.061.2022335004229.hdf	-7.499
2022-11-01	305	MOD04_3K.A2022305.1435.061.2022335032952.hdf	-7.499
2022-11-01	305	MOD04_3K.A2022305.1610.061.2022335033148.hdf	-7.499
2022-11-02	306	MOD04_3K.A2022306.1515.061.2022335033528.hdf	-7.499
2022-11-03	307	MOD04_3K.A2022307.1555.061.2022335034110.hdf	-7.499
2022-11-04	308	MOD04_3K.A2022308.1455.061.2022335034835.hdf	-7.499
2022-11-04	308	MOD04_3K.A2022308.1500.061.2022335034749.hdf	-7.499
2022-11-05	309	MOD04_3K.A2022309.1540.061.2022335080243.hdf	-7.499
2022-11-06	310	MOD04_3K.A2022310.1440.061.2022335110917.hdf	-7.499
2022-11-07	311	MOD04_3K.A2022311.1525.061.2022335135226.hdf	-7.499
2022-11-08	312	MOD04_3K.A2022312.1605.061.2022335164312.hdf	-7.499
2022-11-09	313	MOD04_3K.A2022313.1505.061.2022335201328.hdf	-7.499
2022-11-09	313	MOD04_3K.A2022313.1510.061.2022335201311.hdf	-7.499
2022-11-10	314	MOD04_3K.A2022314.1550.061.2022335231528.hdf	-7.499
2022-11-11	315	MOD04_3K.A2022315.1450.061.2022336033817.hdf	-7.499

2022-11-12	316	MOD04_3K.A2022316.1530.061.2022336083702.hdf	-7.499
2022-11-12	316	MOD04_3K.A2022316.1535.061.2022336083611.hdf	-7.499
2022-11-13	317	MOD04_3K.A2022317.1435.061.2022336121234.hdf	-7.499
2022-11-14	318	MOD04_3K.A2022318.1515.061.2022336150753.hdf	-7.499
2022-11-14	318	MOD04_3K.A2022318.1520.061.2022336150638.hdf	-7.499
2022-11-15	319	MOD04_3K.A2022319.1600.061.2022336174501.hdf	-7.499
2022-11-16	320	MOD04_3K.A2022320.1500.061.2022336205850.hdf	-7.499
2022-11-17	321	MOD04_3K.A2022321.1540.061.2022336232638.hdf	-7.499
2022-11-17	321	MOD04_3K.A2022321.1545.061.2022336233600.hdf	-7.499
2022-11-18	322	MOD04_3K.A2022322.1445.061.2022337012816.hdf	-7.499
2022-11-19	323	MOD04_3K.A2022323.1525.061.2022337035725.hdf	-7.499
2022-11-21	325	MOD04_3K.A2022325.1510.061.2022337092911.hdf	-7.499
2022-11-22	326	MOD04_3K.A2022326.1550.061.2022327020317.hdf	-7.499
2022-11-22	326	MOD04_3K.A2022326.1555.061.2022327020259.hdf	-7.499
2022-11-23	327	MOD04_3K.A2022327.1455.061.2022328024838.hdf	-7.499
2022-11-24	328	MOD04_3K.A2022328.1535.061.2022329172149.hdf	-7.499
2022-11-25	329	MOD04_3K.A2022329.1440.061.20223300311116.hdf	-7.499
2022-11-25	329	MOD04_3K.A2022329.1615.061.2022330031218.hdf	-7.499
2022-11-26	330	MOD04_3K.A2022330.1520.061.2022331022756.hdf	-7.499
2022-11-27	331	MOD04_3K.A2022331.1600.061.2022332022020.hdf	-0.640
2022-11-28	332	MOD04_3K.A2022332.1505.061.2022333023349.hdf	-7.499
2022-11-29	333	MOD04_3K.A2022333.1545.061.2022337201936.hdf	-7.499
2022-11-30	334	MOD04_3K.A2022334.1450.061.2022335224531.hdf	-7.499
2022-12-01	335	MOD04_3K.A2022335.1530.061.2022350052234.hdf	-7.499
2022-12-02	336	MOD04_3K.A2022336.1435.061.2022350085119.hdf	-7.499
2022-12-02	336	MOD04_3K.A2022336.1610.061.2022350085705.hdf	-7.499
2022-12-03	337	MOD04_3K.A2022337.1515.061.2022350103407.hdf	-7.499
2022-12-04	338	MOD04_3K.A2022338.1555.061.2022350155014.hdf	-7.499
2022-12-05	339	MOD04_3K.A2022339.1500.061.2022350160024.hdf	-7.499

2022-12-06	340	MOD04_3K.A2022340.1540.061.2022350161713.hdf	-7.499
2022-12-07	341	MOD04_3K.A2022341.1440.061.2022350133153.hdf	-7.499
2022-12-07	341	MOD04_3K.A2022341.1445.061.2022350132522.hdf	-7.499
2022-12-08	342	MOD04_3K.A2022342.1525.061.2022350133439.hdf	-7.499
2022-12-09	343	MOD04_3K.A2022343.1605.061.2022350134843.hdf	-7.499
2022-12-10	344	MOD04_3K.A2022344.1505.061.2022350140344.hdf	-7.499
2022-12-10	344	MOD04_3K.A2022344.1510.061.2022350141117.hdf	-7.499
2022-12-11	345	MOD04_3K.A2022345.1550.061.2022350163451.hdf	-7.499
2022-12-12	346	MOD04_3K.A2022346.1450.061.2022350125450.hdf	-7.499
2022-12-13	347	MOD04_3K.A2022347.1535.061.2022354233733.hdf	-7.499
2022-12-14	348	MOD04_3K.A2022348.1435.061.2022355073014.hdf	-7.499
2022-12-15	349	MOD04_3K.A2022349.1515.061.2022355075800.hdf	-7.499
2022-12-15	349	MOD04_3K.A2022349.1520.061.2022355075818.hdf	-7.499
2022-12-16	350	MOD04_3K.A2022350.1600.061.2022355081303.hdf	-7.499
2022-12-17	351	MOD04_3K.A2022351.1500.061.2022355060727.hdf	-7.499
2022-12-18	352	MOD04_3K.A2022352.1540.061.2022355083611.hdf	-7.499
2022-12-18	352	MOD04_3K.A2022352.1545.061.2022355083519.hdf	-7.499
2022-12-19	353	MOD04_3K.A2022353.1445.061.2022355085216.hdf	-7.499
2022-12-20	354	MOD04_3K.A2022354.1525.061.2022355223150.hdf	-7.499
2022-12-21	355	MOD04_3K.A2022355.1430.061.2022356060422.hdf	0.201
2022-12-22	356	MOD04_3K.A2022356.1510.061.2022357023138.hdf	-7.499
2022-12-23	357	MOD04_3K.A2022357.1550.061.2022358022348.hdf	-7.499
2022-12-23	357	MOD04_3K.A2022357.1555.061.2022358021118.hdf	-7.499
2022-12-24	358	MOD04_3K.A2022358.1455.061.2022359014731.hdf	-7.499
2022-12-25	359	MOD04_3K.A2022359.1535.061.2022360014130.hdf	-7.499
2022-12-26	360	MOD04_3K.A2022360.1440.061.2022362021840.hdf	-7.499
2022-12-26	360	MOD04_3K.A2022360.1615.061.2022362020255.hdf	-7.499
2022-12-27	361	MOD04_3K.A2022361.1520.061.2022362091220.hdf	-7.499
2022-12-28	362	MOD04_3K.A2022362.1600.061.2022363050019.hdf	-7.499

2022-12-29	363	MOD04_3K.A2022363.1505.061.2022364015652.hdf	-7.499
2022-12-30	364	MOD04_3K.A2022364.1545.061.2022365021234.hdf	-7.499
2022-12-31	365	MOD04_3K.A2022365.1450.061.2022001020349.hdf	-7.499

### ANEXO VII. Archivos GeoTIFF generados en RStudio.



### ANEXO VIII. Valores de AOT extraídos para las imágenes del satélite Sentinel 2.

Fecha	Nombre imagen satelital L2A	Valor
2022-01-01	MTD_MSIL2A2022-01-01.xml	0.0021
2022-01-06	MTD_MSIL2A2022-01-06.xml	0.0025
2022-01-11	MTD_MSIL2A2022-01-11.xml	0.0021
2022-01-16	MTD_MSIL2A2022-01-16.xml	0.0025
2022-01-21	MTD_MSIL2A2022-01-21.xml	0.0021
2022-01-26	MTD_MSIL2A2022-01-26.xml	0.0025
2022-01-31	MTD_MSIL2A2022-01-31.xml	0.0021
2022-02-05	MTD_MSIL2A2022-02-05.xml	0.0025
2022-02-10	MTD_MSIL2A2022-02-10.xml	0.0021

2022-02-15	MTD_MSIL2A2022-02-15.xml	0.0025
2022-02-20	MTD_MSIL2A2022-02-20.xml	0.0021
2022-02-25	MTD_MSIL2A2022-02-25.xml	0.0025
2022-03-02	MTD_MSIL2A2022-03-02.xml	0.0021
2022-03-07	MTD_MSIL2A2022-03-07.xml	0.0025
2022-03-12	MTD_MSIL2A2022-03-12.xml	0.0021
2022-03-17	MTD_MSIL2A2022-03-17.xml	0.0025
2022-03-22	MTD_MSIL2A2022-03-22.xml	0.0021
2022-03-27	MTD_MSIL2A2022-03-27.xml	0.0025
2022-04-01	MTD_MSIL2A2022-04-01.xml	0.0021
2022-04-06	MTD_MSIL2A2022-04-06.xml	0.0025
2022-04-11	MTD_MSIL2A2022-04-11.xml	0.0021
2022-04-16	MTD_MSIL2A2022-04-16.xml	0.0025
2022-04-21	MTD_MSIL2A2022-04-21.xml	0.0021
2022-04-26	MTD_MSIL2A2022-04-26.xml	0.0025
2022-05-01	MTD_MSIL2A2022-05-01.xml	0.0021
2022-05-06	MTD_MSIL2A2022-05-06.xml	0.0025
2022-05-11	MTD_MSIL2A2022-05-11.xml	0.0021
2022-05-16	MTD_MSIL2A2022-05-16.xml	0.0025
2022-05-21	MTD_MSIL2A2022-05-21.xml	0.0021
2022-05-26	MTD_MSIL2A2022-05-26.xml	0.0025
2022-05-31	MTD_MSIL2A2022-05-31.xml	0.0021
2022-06-05	MTD_MSIL2A2022-06-05.xml	0.0025
2022-06-10	MTD_MSIL2A2022-06-10.xml	0.0021
2022-06-15	MTD_MSIL2A2022-06-15.xml	0.0025
2022-06-20	MTD_MSIL2A2022-06-20.xml	0.0021
2022-06-25	MTD_MSIL2A2022-06-25.xml	0.0025
2022-07-05	MTD_MSIL2A2022-07-05.xml	0.0025
2022-07-10	MTD_MSIL2A2022-07-10.xml	0.0021
2022-07-15	MTD_MSIL2A2022-07-15.xml	0.0025
2022-07-20	MTD_MSIL2A2022-07-20.xml	0.0021
2022-07-25	MTD_MSIL2A2022-07-25.xml	0.0025
2022-07-30	MTD_MSIL2A2022-07-30.xml	0.0021

2022-08-04	MTD_MSIL2A2022-08-04.xml	0.0025
2022-08-09	MTD_MSIL2A2022-08-09.xml	0.0021
2022-08-14	MTD_MSIL2A2022-08-14.xml	0.0025
2022-08-19	MTD_MSIL2A2022-08-19.xml	0.0021
2022-08-24	MTD_MSIL2A2022-08-24.xml	0.0025
2022-08-29	MTD_MSIL2A2022-08-29.xml	0.0021
2022-09-03	MTD_MSIL2A2022-09-03.xml	0.0025
2022-09-08	MTD_MSIL2A2022-09-08.xml	0.0021
2022-09-13	MTD_MSIL2A2022-09-13.xml	0.0025
2022-09-18	MTD_MSIL2A2022-09-18.xml	0.0021
2022-09-23	MTD_MSIL2A2022-09-23.xml	0.0025
2022-09-28	MTD_MSIL2A2022-09-28.xml	0.0021
2022-10-03	MTD_MSIL2A2022-10-03.xml	0.0025
2022-10-08	MTD_MSIL2A2022-10-08.xml	0.0021
2022-10-13	MTD_MSIL2A2022-10-13.xml	0.0025
2022-10-18	MTD_MSIL2A2022-10-18.xml	0.0021
2022-10-23	MTD_MSIL2A2022-10-23.xml	0.0025
2022-10-28	MTD_MSIL2A2022-10-28.xml	0.0021
2022-11-02	MTD_MSIL2A2022-11-02.xml	0.0025
2022-11-12	MTD_MSIL2A2022-11-12.xml	0.0025
2022-11-17	MTD_MSIL2A2022-11-17.xml	0.0021
2022-11-22	MTD_MSIL2A2022-11-22.xml	0.0025
2022-11-27	MTD_MSIL2A2022-11-27.xml	0.0021
2022-12-02	MTD_MSIL2A2022-12-02.xml	0.0025
2022-12-07	MTD_MSIL2A2022-12-07.xml	0.0021
2022-12-17	MTD_MSIL2A2022-12-17.xml	0.0021
2022-12-22	MTD_MSIL2A2022-12-22.xml	0.0025
2022-12-27	MTD_MSIL2A2022-12-27.xml	0.0021

**ANEXO IX. PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS en el DMQ.**

Fecha	Día juliano	AOT	Belisario model [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo model [ug/m <sup>3</sup> ]	Centro model [ug/m <sup>3</sup> ]	Cotocollao model [ug/m <sup>3</sup> ]	El Camal model [ug/m <sup>3</sup> ]	Guamaní model [ug/m <sup>3</sup> ]	Los Chillos model [ug/m <sup>3</sup> ]	Tumbaco model [ug/m <sup>3</sup> ]	San Antonio model [ug/m <sup>3</sup> ]
2022-01-18	18	0.0325	19.9	19.0	13.1	17.6	24.2	19.3	16.5	16.4	17.67
2022-02-02	33	0.037	19.3	9.8	19.8	17.6	21.8	23.3	15.5	12.0	13.02
2022-02-03	34	0.105	25.9	30.1	24.1	25.4	26.8	24.1	26.1	22.8	27.88
2022-02-22	53	0.229	21.6	11.7	24.2	15.9	24.4	27.0	24.6	19.5	11.42
2022-03-07	66	0.161	14.4	9.4	15.1	13.2	14.2	14.6	14.2	13.0	12.82
2022-03-30	89	0.2185	19.8	15.0	22.5	17.5	25.1	25.4	18.8	13.3	17.27
2022-09-06	249	0.09125	29.6	25.5	27.6	25.2	26.7	29.8	29.6	24.9	28.07
2022-09-09	252	0.13525	16.3	22.4	18.1	20.0	20.3	14.6	16.5	14.8	18.60
2022-12-21	355	0.20125	18.8	10.7	18.3	14.5	20.0	22.8	16.6	12.7	18.18

### ANEXO X. PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2 en el DMQ.

Fecha	AOT	Belisario model [ug/m <sup>3</sup> ]	Carapungo model [ug/m <sup>3</sup> ]	Centro model [ug/m <sup>3</sup> ]	Cotocollao model [ug/m <sup>3</sup> ]	El Camal model [ug/m <sup>3</sup> ]	Guamaní model [ug/m <sup>3</sup> ]	Los Chillos model [ug/m <sup>3</sup> ]	Tumbaco model [ug/m <sup>3</sup> ]	San Antonio model [ug/m <sup>3</sup> ]
2022-01-01	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-01-06	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-01-11	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-01-16	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-01-21	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-01-26	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-01-31	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-02-05	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-02-10	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-02-15	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-02-20	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26

2022-02-25	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-03-02	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-03-07	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-03-12	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-03-17	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-03-22	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-03-27	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-04-01	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-04-06	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-04-11	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-04-16	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-04-21	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-04-26	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-05-01	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-05-06	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-05-11	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-05-16	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-05-21	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-05-26	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-05-31	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-06-05	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-06-10	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-06-15	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-06-20	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-06-25	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-07-05	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-07-10	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-07-15	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-07-20	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-07-25	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-07-30	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26



2022-08-04	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-08-09	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-08-14	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-08-19	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-08-24	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-08-29	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-09-03	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-09-08	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-09-13	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-09-18	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-09-23	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-09-28	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-10-03	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-10-08	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-10-13	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-10-18	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-10-23	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-10-28	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-11-02	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-11-12	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-11-17	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-11-22	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-11-27	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-12-02	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-12-07	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-12-17	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26
2022-12-22	0.0025	17.9	13.6	17.7	15.6	20.2	17.9	15.4	14.8	14.37
2022-12-27	0.0021	18.0	15.4	18.0	16.2	20.6	19.3	14.7	13.5	14.26

**ANEXO XI. PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de MODIS en Ecuador.**

Fecha	AOT	Guayaquil	Quito	Cuenca	Santo Domingo de los Colorados	Machala	Portoviejo	Loja	Ambato	Esmeraldas	Riobamba	Ibarra	Babahoyo	Latacunga	Tulcán	Nueva Loja	Puerto Francisco de Orellana	Santa Elena	Azogues	Puyo	Guaranda	Tena	Macas	Zamora
2022-01-18	0.033	16.483	24.190	13.101	16.483	16.483	16.483	13.101	13.101	16.483	13.101	13.101	16.483	13.101	13.101	16.406	16.406	16.483	13.101	13.101	13.101	16.406	16.406	16.406
2022-02-02	0.037	15.469	21.786	19.846	15.469	15.469	15.469	19.846	19.846	15.469	19.846	19.846	15.469	19.846	19.846	12.001	12.001	15.469	19.846	19.846	19.846	12.001	12.001	12.001
2022-02-03	0.105	26.122	26.763	24.128	26.122	26.122	26.122	24.128	24.128	26.122	24.128	24.128	26.122	24.128	24.128	22.820	22.820	26.122	24.128	24.128	24.128	22.820	22.820	22.820
2022-02-22	0.229	24.600	24.448	24.230	24.600	24.600	24.600	24.230	24.230	24.600	24.230	24.230	24.600	24.230	24.230	19.491	19.491	24.600	24.230	24.230	24.230	19.491	19.491	19.491
2022-03-07	0.161	14.209	14.165	15.140	14.209	14.209	14.209	15.140	15.140	14.209	15.140	15.140	14.209	15.140	15.140	13.007	13.007	14.209	15.140	15.140	15.140	13.007	13.007	13.007
2022-03-30	0.219	18.821	25.132	22.455	18.821	18.821	18.821	22.455	22.455	18.821	22.455	22.455	18.821	22.455	22.455	13.258	13.258	18.821	22.455	22.455	22.455	13.258	13.258	13.258
2022-09-06	0.091	29.580	26.672	27.552	29.580	29.580	29.580	27.552	27.552	29.580	27.552	27.552	29.580	27.552	27.552	24.854	24.854	29.580	27.552	27.552	27.552	24.854	24.854	24.854
2022-09-09	0.135	16.469	20.317	18.101	16.469	16.469	16.469	18.101	18.101	16.469	18.101	18.101	16.469	18.101	18.101	14.833	14.833	16.469	18.101	18.101	18.101	14.833	14.833	14.833
2022-12-21	0.201	16.631	20.043	18.267	16.631	16.631	16.631	18.267	18.267	16.631	18.267	18.267	16.631	18.267	18.267	12.740	12.740	16.631	18.267	18.267	18.267	12.740	12.740	12.740

## ANEXO XII. PM<sub>2.5</sub> modelado a partir de Sentinel 2 en Ecuador.

Fecha	AOT	Guayaquil	Quito	Cuenca	Santo Domingo de los Colorados	Machala	Portoviejo	Loja	Ambato	Esmeraldas	Riobamba	Ibarra	Babahoyo	Latacunga	Tulcán	Nueva Loja	Puerto Francisco de Orellana	Santa Elena	Azogues	Puyo	Guaranda	Tena	Macas	Zamora
2022-01-01	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-01-06	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-01-11	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-01-16	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-01-21	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-01-26	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-01-31	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-02-05	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-02-10	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-02-15	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-02-20	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-02-25	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-03-02	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-03-07	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-03-12	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-03-17	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-03-22	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-03-27	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-04-01	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-04-06	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797
2022-04-11	0.0021	14.730	15.376	17.973	14.730	14.730	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	14.730	17.973	17.973	13.527	13.527	14.730	17.973	13.527	17.973	13.527	13.527	13.527
2022-04-16	0.0025	15.401	13.594	17.699	15.401	15.401	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	15.401	17.699	17.699	14.797	14.797	15.401	17.699	14.797	17.699	14.797	14.797	14.797

