

**Universidad
Continental**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

**Caracterización de la variación diurna,
mensual y estacional del espesor óptico de
aerosoles, registrados en el observatorio de
Huancayo, periodo marzo-2015 hasta
julio-2016**

Diana Mirtha Núñez Romero

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTO

La presente investigación no se habría culminado sin la ayuda de instituciones y personas, a las cuales deseo expresar mi gratitud. Agradezco al observatorio de Huancayo, adscrita al Instituto Geofísico del Perú; por facilitar y poner a disposición los datos AERONET, necesarios para este trabajo, mediante la utilización del fotómetro solar emplazado en dicho lugar. Así mismo a la Universidad Continental; quienes a través de la dirección de Investigación, brindaron el equipo de cómputo e instalaciones para el desarrollo de esta tesis. Además al Concejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación tecnológica (CONCYTEC) por el financiamiento de este estudio.

Cómo no extender mi eterna gratitud hacia el Ing. Jacinto Arroyo Aliaga, asesor a cargo de este trabajo; difusor de la investigación y desarrollo universitaria, agradezco su tiempo, dedicación y ayuda para culminar satisfactoriamente la tesis. De igual forma deseo agradecer al Dr. René Estevan Arredondo por sus enseñanzas y transmisión de nuevos conocimientos, por guiarme en esta aventura de la investigación, por el tiempo y paciencia.

Deseo mencionar a Patricia Calderón Mateo por su colaboración y apoyo incondicional durante el proceso de investigación; además a la Srta. Jackelin Santos Paucar, a la Srta. Rosmery Ramos Sandoval por facilitarme las herramientas necesarias del centro de investigación; y a los miembros del jurado, expresarles mi gratitud y reconocimiento.

Agradezco a la investigadora principal Yamina Silva Vidal y colaboradores por el mantenimiento y trabajo realizado en el Observatorio de Huancayo; encargados del fotómetro solar; perteneciente de la red AERONET; ya que sin su ayuda no se contaría con datos validados, requeridos para este estudio.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y familia por su ayuda incondicional y enseñarme a no darme por vencida ante las adversidades. A ti padre, te dedico este esfuerzo como expresión de mi amor y como recompensa de todo el esfuerzo que impartiste en mi educación, académica y moral; a ti madre querida, por guiarme y ser mi modelo a seguir, a ti mujer que das día a día todo de sí para que sus hijos sean mejores; por último a toda mi familia por su comprensión y por no perder la fe en mí.

ÍNDICE

PORTADA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. CARACTERIZACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.2. OBJETIVOS	10
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN	11
1.3.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	11
1.3.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL	11
1.3.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL	11
1.3.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	11
1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	12
1.4.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.4.2. HIPÓTESIS NULA.....	12
1.4.3. HIPÓTESIS ALTERNA.....	12
1.4.4. HIPÓTESIS SECUNDARIAS	12
1.4.5. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	13
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.2. BASES TEÓRICAS	19
2.2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
2.2.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN Y PROCESOS.....	27
2.2.3. DISEÑO DE MODELO TEÓRICO CONCEPTUAL DE INVESTIGACIÓN	31
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	31
2.3.1. AEROSOLLES ATMOSFÉRICOS	31

2.3.2.	ESPESOR ÓPTICO POR AEROSOLES	31
2.3.3.	DISPERSIÓN	32
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		33
3.1.	MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1.1.	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1.2.	ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.2.1.	TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	36
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	36
3.3.1.	POBLACIÓN.....	36
3.3.2.	MUESTRA	36
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	36
3.4.1.	TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.4.2.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		38
4.1.	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	38
4.1.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN DIURNA DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES	38
4.1.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN MENSUAL DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES	43
4.1.3.	CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES	47
4.1.4.	CARACTERIZACIÓN DE LAS MEDIAS MENSUALES Y ESTACIONALES DEL EOA POR TIPOS	49
4.1.5.	CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN MENSUAL POR TIPOS DE AEROSOLES ATMOSFÉRICOS	56
4.1.6.	DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE FONDO Y ESTABLECIMIENTO DE LA LÍNEA BASE.....	61
4.1.7.	ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO DE EOA.....	64
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	70
CONCLUSIONES.....		72
RECOMENDACIONES		75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		76
ANEXOS.....		80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Valores de los EOA de fondo en la longitud de onda de 500 nm, para el período analizado.	63
Tabla 2: Valores de los EOA de fondo en la longitud de onda de 440 nm, para el período analizado.	64
Tabla 3: Cantidad de focos coincidentes y sus emisiones promedio para el día 1 de septiembre a las 15:00 GMT.	66
Tabla 4: Cantidad de focos coincidentes y sus emisiones promedio para el día 16 de septiembre a las 21:00 GMT.	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Incendio en Fort McMurray	2
Figura 2: Desierto de Gobi, polvo sobre el noreste de China	2
Figura 3: Imagen del día lunes en China (Shenyang y Changchun)	3
Figura 4: Imagen Sea WIFS del Día 22 de julio, el polvo desatico llego en forma de arco atlántico	4
Figura 5: La imagen de la izquierda hace referencia al día 4 de agosto donde se observa numerosos incendios en rojo. La imagen de la derecha corresponde al 13 de agosto a las 13 h.....	5
Figura 6: Promedios mensuales de espesor óptico de aerosoles finos y gruesos, y concentraciones de Monóxido de Carbono de la zona D, ubicada en el Mapa	6
Figura 7: Promedio mensual del espesor óptico del aerosol en la longitud de onda de 550nm, de la región de 0°-20°S de latitud y 90°-70°W de longitud	7
Figura 8: Promedio mensual del espesor óptica de aerosoles en la longitud de onda de 550nm para el mes de setiembre desde el año 2000 hasta el 2013.	8
Figura 9: Variabilidad Interanual del EOA a 550 nm, con el sensor MODIS de las plataformas Terra y Aqua a lo largo de 12 y 10 años, respectivamente.	9
Figura 10: Distribución global de los fotómetros solares que conforman AERONET.....	29
Figura 11: Comportamiento del Espesor Óptico por Aerosoles para todas las longitudes de onda del fotómetro, correspondiente al año 2015 (a) y 2016 (b).	39
Figura 12: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 500 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).	40
Figura 13: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 440 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).	41
Figura 14: Variación mensual del EOA para el año 2015.	43
Figura 15: Variación mensual del EOA del año 2016.	44
Figura 16: Medias Mensuales y desviaciones estándar del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 500 nm.....	44
Figura 17: Medias Mensuales y desviaciones estándar del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 440 nm.....	46
Figura 18: Medias estacionales del Espesor Óptico por Aerosoles para las longitudes de onda de 440 y 500 nm en todo el período, con sus desviaciones estándar y las medias estaciones de la precipitación.....	48
Figura 19: Histogramas de las frecuencias de ocurrencia (%) de los valores de EOA y del parámetro de Angstrom para todo el período de estudio.	50
Figura 20: Histogramas de las frecuencias de ocurrencia (%) de los valores de EOA y del parámetro de Angstrom para el año 2015.	51
Figura 21: Histogramas de las frecuencias de ocurrencia (%) de los valores de EOA y del parámetro de Angstrom para el año 2016.	52
Figura 22: Porcentajes de la clasificación de aerosoles por tipos de marzo de 2015, en la longitud de onda de 500 nm.....	53
Figura 23: Clasificación de los aerosoles para el mes de septiembre de 2015 (izquierda) y los porcientos de presencia de cada uno de los tipos (derecha) para la longitud de onda de 500 nm.....	54
Figura 24: Clasificación de los aerosoles para el mes de enero de 2016 (izquierda) y los porcentos de presencia de cada uno de los tipos (derecha) para la longitud de onda de 500 nm.	55
Figura 25: Medias mensuales del EOA por tipos en la longitud de onda de 500 nm del año 2015.	57
Figura 26: Medias mensuales del EOA por tipos en la longitud de onda de 500 nm del año 2016.	58
Figura 27: Medias mensuales del EOA por tipos en la longitud de onda de 440 nm del año 2015.	59

Figura 28: Medias mensuales del EOA por tipos en las longitudes de onda de 440 (a) y 500(b), para el año 2016.....	61
Figura 29: Valores mensuales del fondo del EOA (curva gris) y Línea Base del EOA (línea negra punteada) para el periodo de estudio 2015-2016, en la longitud de onda de 500 nm.	62
Figura 30: Valores mensuales del fondo del EOA (curva gris) y Línea Base del EOA (línea negra punteada) para el periodo de estudio 2015-2016, en la longitud de onda de 440 nm.	63
Figura 31: Análisis conjunto de retrotrayectorias e información de focos de incendios, para el 1 de septiembre de 2015, 15:00 GMT, con el criterio de coincidencia espacial de 10 km, para toda la región de estudio (a), para la región Junín (b) y el comportamiento en el tiempo de los tres niveles de trayectorias (c).	65
Figura 32: Análisis conjunto de retrotrayectorias e información de focos de incendios, para el 16 de septiembre de 2015, 21:00 GMT, con el criterio de coincidencia espacial de 10 km, para toda la región de estudio (a), para la región Junín (b) y el comportamiento en el tiempo de los tres niveles de trayectorias (c).	67
Figura 33: Espesor Óptico de Aerosoles (panel izquierdo) en la longitud de onda de 550 nm, medidos por MODIS-Aqua el día 16 de septiembre de 2015, y mediciones coincidentes con fotometría solar (panel derecho).	69
Figura 34: Espesor Óptico de Aerosoles (panel izquierdo) en la longitud de onda de 550 nm, medidos por MODIS-Terra el día 16 de septiembre de 2015, y mediciones coincidentes con fotometría solar (panel derecho).	69

RESUMEN

Objetivos: Caracterizar la variación diurna, mensual y estacional del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, en el período comprendido desde marzo de 2015 hasta julio de 2016. **Métodos:** El método utilizado para esta investigación es el descriptivo-longitudinal, ya que se caracteriza la variación diurna, mensual y estacional del espesor óptico de aerosoles y se evaluarán sus valores mínimos y máximos. Posteriormente se correlaciona el Espesor Óptico de Aerosoles con el Coeficiente de Angstrom para realizar la clasificación de los aerosoles por tipos, atendiendo básicamente a su fuente de origen, para luego caracterizar la variación por tipos de aerosoles. La información empleada fue generada por la plataforma AERONET, datos correspondientes a la calidad de nivel 2.0, medias realizadas por el fotómetro solar CIMEL CE-318T, instalado en el Observatorio de Huancayo y correspondiendo al período comprendido entre el 19 de marzo de 2015 y el 21 de junio de 2016. **Resultados:** A partir de finales de julio ocurre un incremento en los valores medios diarios; el máximo valor medio del EOA se registró el 1 de septiembre de 2015, en la longitud de onda de 500 nanómetros con una magnitud de $\lambda_{500} = 0.316 \pm 0.073$ y en la longitud de onda de 440 nanómetros con $\lambda_{440} = 0.392 \pm 0.089$. El menor valor registrado fue el 25 de diciembre de 2015 con una magnitud de 0.011 ± 0.005 (500 nm) y 0.015 ± 0.006 (440 nm). En el caso del año 2016, para la longitud de onda de 500 nm el valor máximo se registró el 6 de marzo con $\lambda_{500} = 0.198 \pm 0.023$, mientras que para la longitud de onda de 440 nm fue el 31 de enero con $\lambda_{440} = 0.241 \pm 0.030$. Los valores mínimos tuvieron lugar el 8 de marzo para las dos longitudes de ondas analizadas, $\lambda_{500} = 0.015 \pm 0.003$ y $\lambda_{440} = 0.019 \pm 0.003$. Del análisis de las medias mensuales del EOA se ha podido determinar el mayor valor registrado en el mes de septiembre de 2015 con $\lambda_{500} = 0.128 \pm 0.054$ y $\lambda_{440} = 0.159 \pm 0.067$. Las medias mínimas se registraron en el mes diciembre de 2015 con $\lambda_{500} = 0.038 \pm 0.022$ y $\lambda_{440} = 0.047 \pm 0.027$. Para el año 2016, es el mes de enero el de máximo valor con $\lambda_{500} = 0.066 \pm 0.042$ y $\lambda_{440} = 0.080 \pm 0.051$ y el mínimo correspondió al mes de abril con $\lambda_{500} = 0.041 \pm 0.016$ y $\lambda_{440} = 0.049 \pm 0.018$. El comportamiento estacional del EOA muestra claramente períodos de “calma” o bajas concentraciones de aerosoles en otoño y en verano, con valores de EOA entorno a los 0.05 para ambas longitudes de onda. Por el contrario, se considera como períodos de alta carga de aerosoles en invierno y primavera. El análisis de las medias mensuales del EOA según los tipos de aerosoles evidencia la presencia de los tipos *marítimo* y *continental* en todos los meses del período analizado. Por esta razón, estos aerosoles son considerados como los de fondo. Es significativo el hecho de que a partir del mes de julio y hasta el mes de

noviembre, en el año 2015, se presenta el tipo contaminado, relacionado este con aerosoles generados por la quema de biomasa. Es en el mes de septiembre cuando aparece el tipo de aerosol biomasa en la longitud de onda de 500 nm; en el caso de $\lambda = 440$ nm, este tipo de aerosol se encuentra en los meses de agosto a octubre.

Conclusiones: En las dos λ (500 y 440 nm), se evidencia mayor concentración media diaria de aerosoles para el 1 de septiembre de 2015, el mínimo para el 25 de diciembre de 2015, en el 2016 el máximo valor registrado fue el 6 de marzo y el mínimo el 8 de marzo. En el período de agosto a octubre se registran los mayores valores de las medias mensuales, siendo el mes de septiembre el de mayor valor. Los periodos con alta carga de aerosoles fueron en invierno y primavera. Los tipos de aerosol, *marítimo* y *continental* se hacen presentes durante todo el periodo de estudio, considerándose como aerosoles de fondo; a partir de julio a noviembre se presenta el tipo contaminado, y el de quema de biomasa se evidencia en septiembre para 500 nm y de agosto a octubre para 440nm.

Palabras claves: Aerosoles Atmosféricos, Espesor Óptico de Aerosoles, Parámetro de Angstrom.

ABSTRACT

Objectives: To characterize the diurnal, monthly and seasonal variation of the Optical Thickness of Aerosols, recorded at the Observatory of Huancayo, in the period from March 2015 to July 2016. **Methods:** The method used for this research is descriptive-longitudinal, Since it is characterized the diurnal, monthly and seasonal variation of the optical thickness of aerosols and will evaluate its minimum and maximum values. The Aerosols Optical Thickness is then correlated with the Angstrom Coefficient to perform the classification of the aerosols by type, basically attending to their source of origin, to characterize the variation by type of aerosols. The information used was generated by the AERONET platform, data corresponding to level 2.0 quality, measurements made by the CIMEL CE-318T solar photometer, installed in the Observatory of Huancayo and corresponding to the period from March 19, 2015 to June 21, 2016. **Results:** As of the end of July an increase in daily average values occurs; The maximum mean EOA was recorded on 1 September 2015, at the wavelength of 500 nanometers with a magnitude of $\lambda_{500} = 0.316 \pm 0.073$ and at the wavelength of 440 nanometers with $\lambda_{440} = 0.392 \pm 0.089$. The lowest recorded value was 25 December 2015 with a magnitude of 0.011 ± 0.005 (500 nm) and 0.015 ± 0.006 (440 nm). In the case of 2016, for the wavelength of 500 nm the maximum value was recorded on March 6 with $\lambda_{500} = 0.198 \pm 0.023$, while for the wavelength of 440 nm it was January 31 with $\lambda_{440} = 0.241 \pm 0.030$. The minimum values took place on March 8 for the two wavelengths analyzed, $\lambda_{500} = 0.015 \pm 0.003$ and $\lambda_{440} = 0.019 \pm 0.003$. From the analysis of the monthly averages of the EOA it was possible to determine the highest value recorded in the month of September 2015 with $\lambda_{500} = 0.128 \pm 0.054$ and $\lambda_{440} = 0.159 \pm 0.076$. The minimum means were recorded in the month of December 2015 with $\lambda_{500} = 0.038 \pm 0.022$ and $\lambda_{440} = 0.047 \pm 0.026$. For the year 2016, January is the maximum value with $\lambda_{500} = 0.066 \pm 0.042$ and $\lambda_{440} = 0.080 \pm 0.050$ and the minimum corresponds to the month of April with $\lambda_{500} = 0.041 \pm 0.016$ and $\lambda_{440} = 0.049 \pm 0.018$. The seasonal behavior of the EOA clearly shows periods of "calm" or low concentrations of aerosols in autumn and summer, with EOA values around 0.05 for both wavelengths. On the contrary, it is considered as periods of high aerosol loading in winter and spring. The analysis of the monthly averages of the EOA according to the types of aerosols evidences the presence of the maritime and continental types in all the months of the analyzed period. For this reason, these aerosols are considered as the background. Significant is the fact that from July to November, in the year 2015, the contaminated type, related to aerosols generated by the burning of biomass, is presented. It is in the month of September when the type of aerosol biomass appears in the wavelength of 500 nm; In the case of $\lambda = 440$ nm, this type of aerosol

is found in the months of August to October. **Conclusions:** In the two λ (500 and 440 nm), a higher average daily concentration of aerosols is demonstrated for September 1, 2015, the minimum for December 25, 2015, in 2016 the highest value recorded was March 6 And the minimum on March 8. In the period from August to October, the highest values of monthly averages are recorded, with September being the highest value. Periods with high aerosol load were in winter and spring. Aerosol, marine and continental types are present throughout the study period, being considered as background aerosols; From July to November the contaminated type is presented, and biomass burning is evident in September to 500 nm and from August to October to 440 nm.

Keywords: Atmospheric Aerosols, Optical Aerosol Thickness, Angstrom Parameter.

INTRODUCCIÓN

Una práctica común en el Valle del Mantaro es la quema de vegetación, parte de la actividad agrícola, para la limpieza de restos de cultivo, preparación del terreno para el cambio de cobertura de la tierra, etc. Sin embargo, este hecho trae como consecuencia la generación de partículas, como por ejemplo el denominado humo u hollín generado por combustión, el cual es un tipo de aerosol.

En la actualidad existen varios tipos de aerosoles, cuya clasificación se realiza según la fuente de generación u origen. Un ejemplo es el generado por las actividades humanas, como el carbono derivado de la combustión incompleta de hidrocarburos fósiles, que produce el parque automotor; o los aerosoles generados por las actividades mineras y/o industriales. Existen otros tipos de aerosoles capaces de influir en la dinámica atmosférica a largo plazo, en la variación de la temperatura, además pueden generar daños al ser humano y a todos los seres vivos en general.

Los aerosoles atmosféricos son partículas sólidas o líquidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera, cuyos tamaños oscilan entre 0.001 y 100 μm (Díaz, 2006). Por su origen los aerosoles se clasifican en naturales y antropogénicos, los primeros están conformados por cenizas volcánicas, polvo desértico, esporas, sal marina, polen, etc.; mientras que los del segundo grupo son derivados de la actividad humana, así como, provenientes de las chimeneas y partículas minerales de procesos industriales, entre otros (Toledano, 2005).

Los aerosoles interactúan con la atmósfera y el clima, esta interacción puede ser de forma directa mediante la dispersión y absorción de la radiación solar, produciendo enfriamiento o calentamiento. Por ejemplo, el hollín, el cual presenta componentes que absorben la energía solar, genera calentamiento; en el caso contrario, mediante la dispersión se genera enfriamiento; esto dependerá de la composición química del aerosol (Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels., 1995). Mientras que los efectos indirectos se debe a su participación en la formación de nubes, actuando como núcleos de condensación (CCN) e influyendo en las características radiativas de las mismas (Toledano, 2005).

El análisis del diagrama de dispersión entre el Espesor Óptico de Aerosoles (EOA) y el Parámetro Alfa o Coeficiente de Ångström (CA), es preciso para identificar los tipos de aerosoles. Es por ese motivo que se deben tener en cuenta estos dos parámetros, EOA y CA, el primero hace referencia al contenido en la vertical de la cantidad de aerosoles en la atmósfera (Toledano, 2005); considerada por DÍAZ (2006) como una magnitud adimensional que indica el poder que poseen las partículas de aerosol para atenuar la

radiación a una cierta longitud de onda. El CA es otro parámetro para describir la forma espectral del EOA, es decir, la dependencia con la longitud de onda a un cierto rango espectral (Toledano, 2005).

Los tipos de aerosoles según su fuente de origen son: polvo del desierto, sal marina, aerosoles volcánicos, polvo industrial, carbono negro, aerosoles provenientes de la quema de biomasa, aerosoles provenientes de partículas orgánicas, aerosoles de nitrato, aerosoles de sulfato (Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels., 1995). Según Toledano (2005), los tipos de aerosoles que se distinguen son los aerosoles marítimos, continental, desérticos, los aerosoles producidos por la combustión de biomasa, aerosol urbano / industrial y aerosol ártico. La clasificación considerada en este trabajo son los tipos marino, continental, polvo, mezcla, contaminado y proveniente de la quema de biomasa (Hess et al., 1998; Holben et al., 2001 y Dubovick et al., 2002).

La investigación se divide en 4 capítulos, el capítulo I detalla el planteamiento y formulación del problema, los objetivos, justificación e importancia, hipótesis y descripción de las variables.

El capítulo II engloba el marco teórico, los antecedentes de la investigación, bases teóricas, metodologías existentes, así como, técnicas e instrumentos de investigación y definición de términos básicos.

En el capítulo III, describe la metodología y el alcance de la investigación, diseño de la misma, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El capítulo IV, describe los resultados y discusión de estos, tanto de la comparación, análisis y descripción de valores extraídos de AERONET, de las figuras generadas a partir del procesamiento de los datos y los casos de estudios más relevantes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. CARACTERIZACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

En la atmósfera se encuentran suspendidas partículas sólidas y líquidas; que pueden durar minutos, semanas o hasta propagarse a lo largo del continente tras varios meses si fuera el caso. Estas partículas son conocidas como aerosoles, cuya fuente puede tener origen natural o antropogénico. A continuación, se describirán casos de presencia de estos en la atmósfera.

Un incendio forestal obliga a evacuar a toda una ciudad en Fort McMurray Canadá; las autoridades han luchado con las llamas desde el domingo, 1 de mayo de 2016. Este hecho ha generado que numerosas familias dejen sus casas por el gran riesgo que corren bajo la presencia del humo; cuyas partículas son tan densas y en tal cantidad que afectan no sólo la calidad del aire, sino también la salud (Jackson, 2016). La magnitud de este suceso se puede comprobar en la Figura 1.

Figura 1: Incendio en Fort McMurray.



Fuente: Canadá (Jackson, 2016).

Otro tipo de aerosoles es el polvo de desierto. En la Figura 2 se observa una tormenta de primavera que genera grandes cantidades de polvo que son ingresadas a la atmósfera, sobre el sur de Mongolia y China, hecho registrado por el sensor MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo de la plataforma TERRA, el 5 de mayo de 2016. Para el 6 de mayo, el polvo se había trasladado a China oriental y a la península de Corea. (Schmaltz, 2016).

Figura 2: Desierto de Gobi, polvo sobre el noreste de China.



Fuente: (Schmaltz, 2016).

El 9 de noviembre del 2015, se presentó una nota de prensa que indicaba que el noreste de China registraba picos alarmantes de contaminación atmosférica, superando incluso el nivel máximo recomendado por la OMS, pues el valor llegó hasta los $860 \mu\text{m}/\text{m}^3$ en comparación con lo recomendado por la OMS que es $25 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (Figura 3). Este suceso obstaculizaba la visibilidad; la explicación brindada por la municipalidad de Shenyang relacionaba este hecho con el arranque de los sistemas de calefacción, alimentados con carbón. En Changchun se tomaron medidas para no realizar actividades en el exterior, así como, tomar medidas de protección para la salud (Diario Correo, 2015).

Figura 3: Imagen del día lunes en China (Shenyang y Changchun).

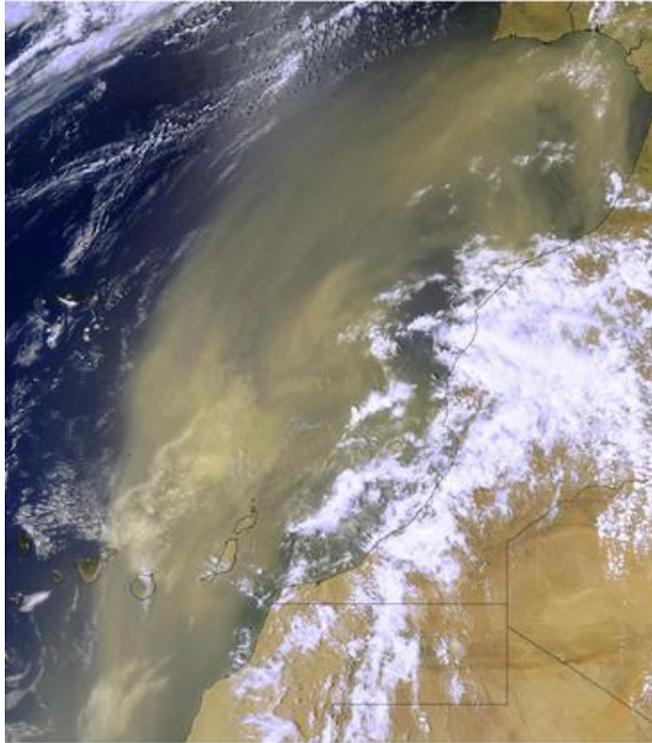


Fuente: (Diario Correo, 2015)

En la Figura 4 se muestra que en julio del 2004, entre los días 22 y 28, en la estación de Arenosillo, se registró un Espesor Óptico por Aerosoles (EOA) en la longitud de onda de 440 nm de 2.7. Durante los cuatro primeros días el EOA no bajó de 0.75, este episodio hace referencia a incendios en la sierra de Huelva los días 25 y 29. El suceso comenzó en la madrugada del 22 de julio, a las 7:50 GTM con un valor de EOA de 0.4, llegado a las 16.30 h a 2.7, ya para las 18:00 se produce un descenso a 0.6. Durante los días 26 y 28 los aerosoles desérticos se mezclan con las partículas de incendios producidos en Portugal y la sierra de Huelva, lo cual desencadenó subidas y bajadas del parámetro alfa, característica de los aerosoles generados por la combustión de biomasa. Por último, el día 28

se produce una subida del EOA hasta 0.8 con un alfa inferior, lo que indicaría la predominancia de aerosol desértico ese día (Toledano, 2005).

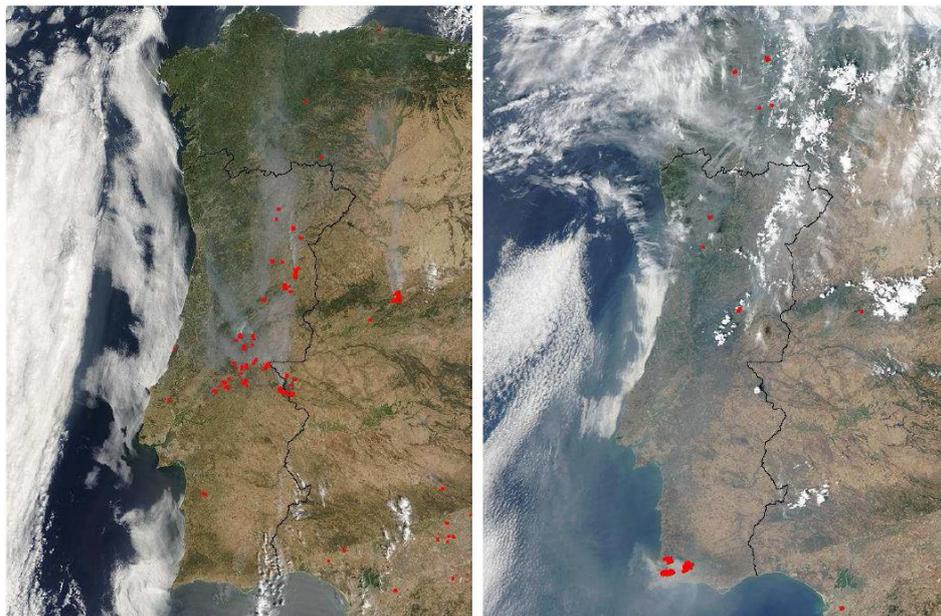
Figura 4: Imagen Sea WIFS del Día 22 de julio, el polvo desatico llevo en forma de arco atlántico.



Fuente: (Toledano, 2005)

En la Figura 5 se muestra, el 29 de julio al 15 de agosto del 2003, el episodio con presencia de aerosoles más largo registrado en la Estación de Arenosillo, al mismo tiempo se produjeron incendios en Portugal y la sierra de Huelva (Figura 5, panel izquierdo). En el panel derecho de la Figura 5 se observan focos de incendio resaltados en color rojo, y presencia de polvo desértico, lo que provoca la turbiedad de la atmósfera sobre el mar y la península (Toledano, 2005).

Figura 5: La imagen de la izquierda hace referencia al día 4 de agosto donde se observa numerosos incendios en rojo. La imagen de la derecha corresponde al 13 de agosto a las 13 h.

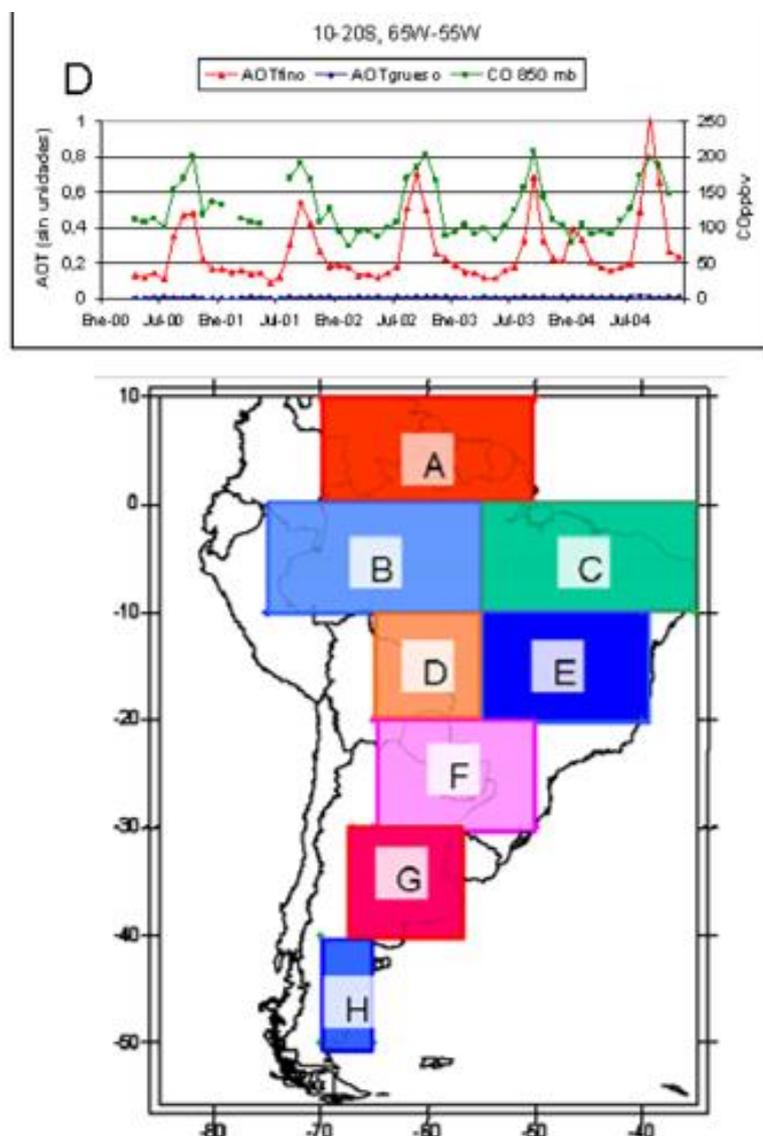


Fuente: (Toledano, 2005).

Un caso destacado y descrito por Bluth et al. (1992), es el de la emisión de aerosoles generado por la erupción del Volcán Pinatubo; ubicado en la isla Luzón en Filipinas, en el mes de junio de 1991 inició una serie de erupciones, llegando a su pico más alto el día 15, estos aerosoles alcanzaron la estratósfera y conformaron un total de 30 Mt. Las partículas que expulsó este volcán provocaron descensos globales de 0.5 °C en las temperaturas estivales del año siguiente a la erupción (Díaz, 2006).

En la Figura 6 se presenta el promedio mensual de los espesores ópticos de aerosoles finos y las concentraciones de CO, de diferentes partes de Sudamérica. La región señalada como “D” es la que presenta mayor concentraciones de aerosoles (Bolivia y Mato Grosso-Brasil), es decir, es la zona más afectada por la quema de biomasa en el continente, presentando valores significativos para el año 2004, detectándose 17000 focos de incendios en Bolivia y 24000 en el estado de Mato Grosso en el mes de setiembre (Mielnicki, y otros, 2005).

Figura 6: Promedios mensuales de espesor óptico de aerosoles finos y gruesos, y concentraciones de Monóxido de Carbono de la zona D, ubicada en el Mapa.

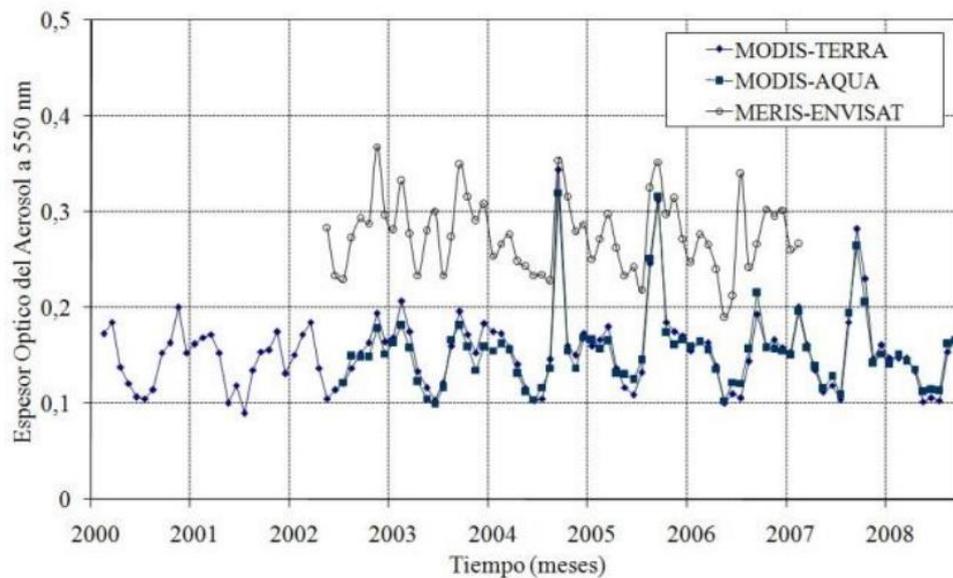


Fuente: (Mielnicki, y otros, 2005).

En la Figura 7, extraída de un estudio que abarca todo el Perú y la costa norte, en las regiones geográficas comprendidas entre 0°-20°S, 90°-70°W, y 3°-8°S, 82°-79°W, se analiza la variabilidad espacial y temporal del espesor óptico de los aerosoles, a partir de valores de EOA derivados del sensor MODIS (TERRA y AQUA). Los valores oscilan entre 0.1 y 0.2, con valores máximos de 0.35 en septiembre del 2004, además de 0.32 en septiembre del 2005 y 0.28 en septiembre del 2007. Por su parte en el caso del sensor MERIS-ENVISAT, los

valores oscilan entre 0.2 y 0.38. En este estudio se concluye que en los meses de enero, febrero y marzo el espesor óptico aumenta, para los meses de abril, mayo y junio disminuye, en julio, agosto y setiembre vuelve a aumentar y en octubre, noviembre y diciembre nuevamente disminuye (Rojas A., y otros, 2009).

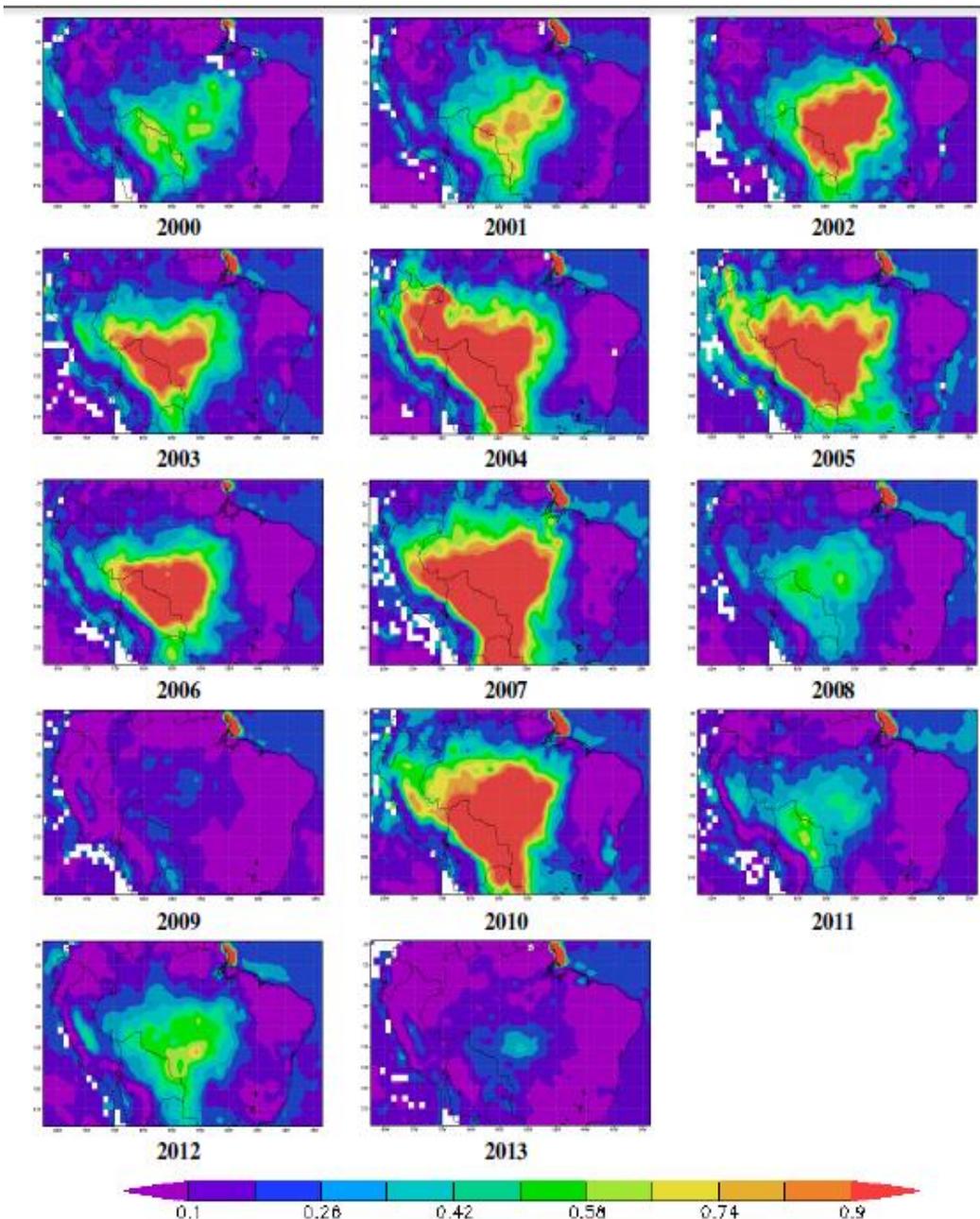
Figura 7: Promedio mensual del espesor óptico del aerosol en la longitud de onda de 550nm, de la región de 0°-20°S de latitud y 90°-70°W de longitud.



Fuente: (Rojas A., y otros, 2009).

En la Figura 8, que abarca la región comprendida entre las latitudes de 4° N y 24° S y las longitudes entre 33° W y 83° W, se muestra el espesor óptico de aerosoles en la longitud de onda de 550 nanómetros correspondiente al mes de septiembre, desde el año 2000 hasta el 2013. Los valores de EOA fueron extraídos del espectroradiómetro MODIS, el cual se encuentra en el satélite TERRA. Estos datos revelan que gran parte de la cuenca Amazónica es cubierta por los aerosoles en un rango de espesor óptico de 0.82-1.0. En los años 2004, 2007 y 2010 se observó un incremento de las concentraciones, extendiéndose sobre Brasil, Bolivia hasta Argentina; la causa de este incremento en el EOA se debió a la quema de biomasa (Rojas, y otros, 2015).

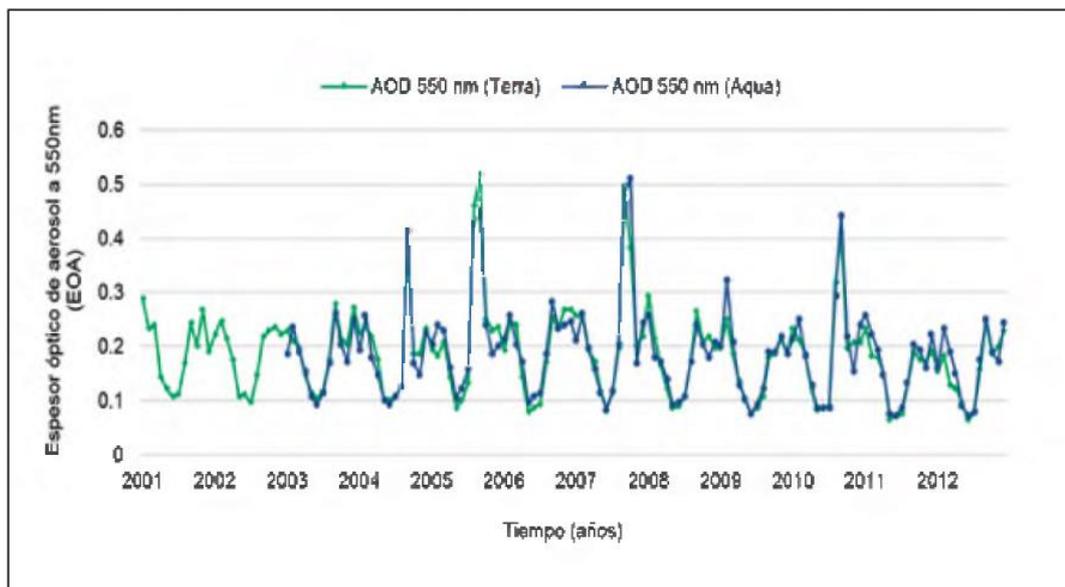
Figura 8: Promedio mensual del espesor óptica de aerosoles en la longitud de onda de 550nm para el mes de setiembre desde el año 2000 hasta el 2013.



Fuente: (Rojas, y otros, 2015).

Según la investigación realizada por Vivanco (2014), el espesor óptico de aerosoles, presentes en la ciudad de Huancayo, alcanza su mayor concentración en setiembre de 2005 con un valor de 0.51 y en octubre de 2007; mientras que los mínimos de 0.06 y 0.07 en junio de 2012 (Figura 9).

Figura 9: Variabilidad Interanual del EOA a 550 nm, con el sensor MODIS de las plataformas Terra y Aqua a lo largo de 12 y 10 años, respectivamente.



Fuente: (Vivanco, 2014).

Dado los casos descritos líneas arriba, es evidente que las concentraciones de las partículas causantes de la contaminación de la atmósfera, en este caso los denominados aerosoles atmosféricos, despiertan gran interés de la comunidad científica, tanto internacional como local. Conocer la variabilidad o comportamiento de los aerosoles, connota una interrogante que daremos respuesta con las herramientas y equipos que nos proporcionan los datos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el Comportamiento de la variación diurna, mensual y estacional del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se caracteriza la variación diurna del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?
- ¿Cómo se caracteriza la variación mensual del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?
- ¿Cómo se caracteriza la variación estacional del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?
- ¿Cómo se caracteriza la variación diurna, mensual y estacional de los aerosoles de acuerdo a su clasificación por tipos, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la variación diurna, mensual y estacional del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, en el período comprendido desde marzo-2015 hasta julio-2016.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la variación diurna del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016.
- Caracterizar la variación mensual del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016.
- Caracterizar la variación estacional del Espesor Óptico por Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016.

- Caracterizar la variación de los aerosoles de acuerdo a su clasificación por tipos, periodo marzo-2015 hasta julio-2016.

1.3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La investigación es posible realizarla ya que se dispone de los datos de espesor óptico de aerosoles y coeficiente de Angstrom, obtenidos de las mediciones del fotómetro solar, instalado en el Observatorio de Huancayo y disponibles a través de la plataforma de la Red Robótica de Aerosoles (AERONET, por sus siglas en inglés (AERONET, 2016)).

1.3.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio corresponde a los datos puntuales del EOA, registrados en el Observatorio de Huancayo, ubicado en la provincia de Chupaca.

1.3.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El fotómetro fue instalado en marzo del 2015, por esa razón el periodo de estudio está comprendido entre marzo de 2015 hasta julio del 2016.

1.3.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El estudio del comportamiento de los aerosoles atmosféricos durante los días, meses y épocas del año viene a ser un conocimiento que no existente hasta el momento, en nuestra localidad. A partir de estos conocimientos podrán realizarse futuros estudios, con la finalidad de tomar medidas que permitan reducir los contaminantes de origen antropogénico, como por ejemplo la quema de biomasa y las emisiones de material particulado; producido por el parque automotor. De esta manera establecer medidas de mitigación y adaptación, así como, establecer políticas de prevención. Todo esto será posible, gracias a este trabajo.

1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La caracterización de la variación del espesor óptico de aerosoles registrados en el Observatorio de Huancayo, muestra que existe aumento de las concentraciones debido a las actividades humanas, como la quema de biomasa o el parque automotor, y a las condiciones del tiempo atmosférico.

1.4.2. HIPÓTESIS NULA

La caracterización de la variación del espesor óptico de aerosoles registrados en el Observatorio de Huancayo, no muestra un comportamiento cíclico; porque las concentraciones varían independientemente de las condiciones atmosféricas, estacionales y de la influencia de las actividades humanas.

1.4.3. HIPÓTESIS ALTERNA

La caracterización de la variación del espesor óptico de aerosoles registrados en el Observatorio de Huancayo, se ven afectados por la actividad de la población como la construcción de la carretera aledaña.

1.4.4. HIPÓTESIS SECUNDARIAS

H1: Los valores de la caracterización de la variación diurna del espesor óptico de aerosoles aumentan mientras se incrementa la presencia de focos de incendio o quema de vegetación.

H2: La caracterización de la variación mensual del espesor óptico de aerosoles presenta un comportamiento periódico, ya que en los meses de julio a setiembre las concentraciones aumentan.

H3: La caracterización de la variación estacional del espesor óptico de aerosoles presenta un comportamiento estacional, debido a las condiciones características de cada estación; ya que en primavera y verano la presencia de estos aumenta, mientras que en otoño e invierno disminuye.

1.4.5. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

1.4.5.1. Variables

- Espesor óptico de aerosoles
- Coeficiente de Ångström

1.4.5.2. Operacionalización

Variables	Tipos de variables			Definición Conceptual	Categoría o Dimensión	Indicadores
	Naturaleza	Grado de complejidad función	Tipo			
Espesor óptico de aerosoles	Cuantitativa	Simple	Variable 1	Este parámetro representa la carga total de aerosoles en la columna de la atmósfera y expresa la cantidad de luz removida de un rayo de luz, por medio de la dispersión o absorción, durante su trayecto a través de la atmósfera.	Variación del espesor óptico de aerosoles.	<ul style="list-style-type: none"> • Variación diurna • Variación mensual • Variación estacional
Coeficiente de Ångström	Cuantitativa	Simple	Variable 2	Es un parámetro utilizado para describir la forma espectral del espesor óptico de aerosoles, es decir, la dependencia con la longitud de onda a un cierto rango espectral.	Variación del Coeficiente de Ångström.	<ul style="list-style-type: none"> • Variación diurna • Variación mensual • Variación estacional

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el artículo científico que lleva como título: “Variabilidad temporal de aerosoles atmosféricos en Huancayo” (Vivanco, 2014), cuyo objetivo es identificar la variabilidad temporal de los aerosoles atmosféricos en Huancayo mediante datos satelitales, se empleó el índice de aerosol (IA) tomado por el sensor OMI (Ozone Monitoring Instrument) en el periodo 2005-2012. Se empleó igualmente el EOA registrado por el sensor MODIS de las plataformas Aqua y Terra, en los periodos 2003-2012 y 2001-2002, respectivamente. Los resultados del IA del 2012 registraron un máximo interanual de 0.61; durante el periodo enero-marzo disminuyó a 0.30, en abril-agosto aumentó a 0.75 y en septiembre-diciembre disminuyó a 0.43. Mientras que el EOA, en el año 2005 presentó un máximo interanual de 0.22; en el periodo abril-junio disminuyó a 0.09, en julio-septiembre aumentó a 0.30, en octubre-diciembre disminuyó a 0.22 y en enero-marzo aumentó a 0.20. Es así que el IA mostró un incremento de 0.036/año; el EOA una disminución de 0.003/año. Concluyéndose que entre los meses y las estaciones hay una variación significativa con altos valores en invierno y otoño para IA, cuyos máximos alcanzados fueron en agosto; en primavera y verano para EOA, máximos en septiembre.

El artículo científico titulado: “Determinación del espesor óptico de aerosol en la Estación Antártida Peruana Machu Picchu” (Ángeles, 2013), se planteó como objetivo determinar el EOA durante los meses de enero de 2007 y 2008 y febrero de 2013 en la estación científica Antártica Machu Picchu (ECAMP). Para la obtención de los datos se utilizó el fotómetro solar PS02-L. Como resultados se determinaron medias máximas y mínimas

de EOA de 0.1061 y 0.0616, respectivamente. Por lo que los datos obtenidos en los años de estudio no presentan una variación significativa.

El artículo científico de Rojas y otros (2015), titulado: “Estudio de la Dinámica del espesor óptico de aerosoles en Perú y América del Sur a partir de las imágenes MODIS de los satélites TERRA y AQUA en el periodo 2000-2013”, tuvo como objetivo estudiar la dinámica de los aerosoles en el Perú y América del Sur entre las latitudes 4°N-24°S y las longitudes 83°W-33°W. Para ello se emplearon las imágenes de los promedios mensuales del espesor óptico de aerosoles en los 550 nm, medidos por el sensor MODIS para el periodo de 14 años (2000-2013), además de 6 estaciones de AERONET, en la longitud de onda de 550 nm,. Las seis estaciones estuvieron conformadas por cuatro de Brasil (Rio Branco, Paraná Ji, Alta Foresta y Campo Grande), una de Chile (Arica) y una de Bolivia (La Paz). Obteniéndose como resultado que los valores de EOA de MODIS-TERRA se encontraban en un rango entre 0.0 y 0.499, ubicándose como los más altos en la temporada seca del Hemisferio Sur, entre agosto y noviembre durante los 14 años de estudio. Por su parte el EOA de MODIS-AQUA arrojó valores entre 0.0 y 0.493, ubicándose los valores altos en la temporada seca durante los 12 años. En cuanto a los datos de las estaciones AERONET, en Brasil se muestra una variación estacional con máximos en la estación seca durante el período estudiado, mientras que en Chile y Bolivia muestran valores muy diferentes con los datos del sensor MODIS.

El artículo científico de Piñas (2015) que lleva como título: “Modelos e Instrumentos para estudios sobre Espesor Óptico de Aerosoles y su relación con el forzamiento radiativo terrestre”, tuvo como objetivo el de dar a conocer los modelos e instrumentos necesarios para recabar, procesar e interpretar datos de los aerosoles atmosféricos y las variables necesarias para su estudio. Como conclusión se afirmó que es necesario tener consolidada la información, acerca de las variables, así como, los instrumentos y modelos que son necesarios e indispensables para la investigación de la problemática de quemas de biomasa.

El artículo científico titulado: “Variabilidad espacial y temporal del Espesor Óptico de los Aerosoles sobre Perú usando imágenes de satélite” (Rojas A., y otros, 2009), tuvo como objetivo el análisis de la variabilidad espacial y temporal del espesor óptico de los aerosoles sobre las regiones geográficas de 0°-20°S, 90°-70°W que abarca todo el Perú, y 3°-8°S, 82°-79°W, incluyendo la costa norte del Perú. Se utilizaron datos provenientes de los sensores MODIS, los cuales están a bordo de los satélites TERRA y AQUA, además del sensor SeaWiFS que se encuentra a bordo del satélite SeaStar, del sensor

MISR a bordo del satélite TERRA y el sensor MERIS ubicado a bordo del satélite ENVISAT. La conclusión a la que se llegó fue que la aplicación Web GIOVANNI es una herramienta útil para el procesamiento de imágenes y series temporales del espesor óptico en diferentes longitudes de onda y en promedios espaciales y temporales. De esa manera se determinó que el comportamiento de los promedios temporales del EOA es cíclico, observándose máximos en la estación de verano. La relación entre el EOA y el Coeficiente de Angstrom, brinda información acerca de los tipos de aerosoles presentes en la atmósfera. Finalmente se definió que los tipos de partículas presentes en la atmósfera tienen un carácter básicamente antropogénico con propiedades solubles, que surgen de la conversión de gas a partícula, como es el caso de los sulfatos y nitratos, así como, insolubles como es el caso de los materiales orgánicos.

El artículo científico que lleva por título: “Estudio de la variación estacional de Ozono troposférico y Aerosoles del Perú relacionado a las Quemas de la Vegetación en la Amazonia” (Suárez, y otros, 2006), utilizó datos de satélite para cuantificar y evaluar el efecto en la composición química de la atmósfera en el Perú, debido al transporte de partículas por quema de vegetación originadas en Brasil. Se logró evaluar la variación estacional del ozono troposférico, índice de aerosoles (IA) y el EOA a través de los datos de los sensores TOMS y MODIS. Los datos arrojaron valores altos en los meses de agosto a noviembre, por lo que las quemas locales no solo serían la causa de este aumento, sino que, además, se tendría la influencia del transporte de contaminantes desde Brasil.

Díaz (2005), realizó la investigación titulada “Caracterización de los aerosoles atmosféricos y su influencia en los niveles de radiación UV en la Región de Canarias”; la investigación logró caracterizar la región de Canarias en función de los aerosoles. Se determinó, mediante el sensor TOMS, la presencia de aerosoles de polvo mineral, absorbentes en el Ultravioleta (UV), procedentes del continente africano. El sensor MODIS por su parte proporciona información sobre el poder de atenuación de los aerosoles en el rango espectral VIS-IR. Los resultados revelaron el aumento de las concentraciones de aerosoles en la estación cálida, presentando valores máximos en los meses de julio, seguidos de los máximos secundarios en los meses de febrero-marzo y setiembre-octubre.

Expósito (1999), realizó una investigación titulada: “Determinación del Espesor Óptico de Aerosoles Mediante Técnicas de Teledetección de la Región De Canarias”; el cual concluyó que el EOA alcanza valores altos de 0.4 a los 20° de Latitud norte, debido a la

quema de biomasa y al polvo del desierto, el cual se extiende desde la costa africana hasta varios miles de kilómetros dentro del Océano Atlántico. Además que la región de canarias presenta la mayor parte del año valores de EOA bajos e inferiores de 0.15, pero existen periodos en los que son mayores o variables, por la prevalencia del polvo mineral del desierto africano que alcanza a triplicar sus valores, en tan solo 48 horas.

La investigación realizada por Almeida (2005), titulada: "Propiedades ópticas das partículas de aerossol e uma nova metodologia para a obtenção de espessura óptica vía satélite sobre São Paulo". Concluyendo que la poca cobertura de nubes en el periodo de invierno es favorable para el monitoreo de aerosoles por sensoramiento remoto; tanto para sensores satelitales y fotómetros superficiales. En la longitud de onda de 550 nm se presentan valores medios del EOA de 0.2 ± 0.1 , llegando hasta 0.5 en días de contracción de contaminantes. En los meses de septiembre y octubre el EOA llega hasta 3 unidades, debido al transporte de partículas procedentes de la quema de biomasa en la Amazonia. A pesar de que solo ocurren pocos eventos de transporte de partículas por quema de biomasa, en los meses de septiembre y octubre, las medidas EOA ya son significativas. Mientras que las medias mensuales del coeficiente de Ångström varían de 1.45 a 1.65, cuyos mayores valores ocurren en los meses de septiembre y octubre, debido al aumento de material particulado fino precedente de la quema de biomasa.

El trabajo de investigación llevado a cabo por Husar, y otros (1997), que lleva como título: "Characterization of tropospheric aerosols over the oceans with the NOAA advanced very high resolution radiometer optical thickness operational product"; presenta un análisis e interpretación de la distribución de los valores del EOA en los océanos, cuyos datos son registrados por el satélite de órbita polar NOAA 11 entre julio de 1989 y junio de 1991. Se concluye que los valores más altos de EOA, se deben a la quema de biomasa y a los polvos minerales. Estos polvos son elevados y transportados por el viento a largas de distancias, desde el norte de África, Oriente Medio y el subcontinente asiático, hasta el norte del Océano Atlántico y norte del Océano Pacífico, respectivamente. Esto también es debido a los contaminantes procedentes de América del Norte y Europa. Además, que los valores del EOA en el hemisferio norte es 1.7 veces mayor que los registrados en el hemisferio sur; y que en verano los valores son el doble que en invierno.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1.1. Aerosoles Atmosféricos

Los aerosoles atmosféricos son partículas sólidas o líquidas suspendidas en el medio gaseoso como la atmósfera. Proviene de diversas fuentes, como los de origen antropogénico, derivados de la contaminación industrial, emisiones de vehículos, incendios forestales. Los de origen natural, cuyas fuentes son los desiertos, sal marina, polen, origen biológico o erupciones volcánicas, entre otros. El primer efecto de los aerosoles, conocido como efecto directo, es el que se produce por la dispersión de la radiación solar, causante de que se devuelva el 22 % de ésta al espacio, produciendo un enfriamiento o disminución de la temperatura. La absorción de la radiación solar es otro efecto directo el cual produce calentamiento de la atmósfera (Los aerosoles atmosféricos y su influencia en la Península Ibérica. Manual Formativo, 2008).

Los efectos indirectos de los aerosoles están relacionados con la generación de núcleos de condensación, influyendo en la formación de nubes, ya que aumenta la cantidad de gotas mientras se disminuyen sus tamaños. Este efecto propicia que la nube tenga un tiempo de vida más amplia, es decir, mayor cobertura nubosa, provocando incluso la disminución de las precipitaciones y el aumento de la reflectividad de las nubes, contribuyendo al enfriamiento del sistema climático (Los aerosoles atmosféricos y su influencia en la Península Ibérica. Manual Formativo, 2008).

Los tamaños de los aerosoles oscilan entre 0.001-100 μm (Díaz, 2006); las más pequeñas, menos de 0.1 μm , interactúan con otras partículas para formar agregados, además de formar núcleos de condensación que intervienen en la formación de nubes. En cambio, las que se encuentran en el rango de 0.1-1 μm , dispersan o absorben la radiación solar; las de mayor tamaño se eliminan por sedimentación debido a la acción de la gravedad (Los aerosoles atmosféricos y su influencia en la Península Ibérica. Manual Formativo, 2008).

2.2.1.2. Espesor Óptico por Aerosoles

El espesor óptico de aerosoles (EOA), es un parámetro que indica la cantidad de aerosoles presentes en la atmósfera (Toledano, 2005).

Es una magnitud adimensional que indica el poder que poseen las partículas de aerosol para atenuar la radiación a una cierta longitud de onda (Expósito, 1999). Es una medida cuantitativa de la extinción de la radiación solar debido a los procesos de dispersión o absorción espectral de las partículas (aerosoles), normalizada en la columna atmosférica (Caracterización de aerosoles por quema de biomasa en el sureste de México, 2014).

A partir de la ley de Beer-Bouguer-Lambert, el espesor óptico total de la atmósfera viene dado por:

$$\tau = -\frac{1}{m} \ln(I/I_0)$$

Fuente: Toledano (2005).

Donde:

I : irradiancia a nivel del suelo;

I_0 : irradiancia extraterrestre;

τ : espesor óptico total de la atmósfera;

m : masa óptica.

Entonces para obtener el espesor óptico de aerosoles (τ_a), se resta al espesor total, la contribución de la dispersión Rayleigh (τ_R) y las absorciones por otros gases (τ_g) (Toledano, 2005), obteniendo la expresión que aparece a continuación:

$$\tau_a = \tau - \tau_R - \tau_g$$

Fuente: Toledano (2005).

2.2.1.3. Parámetro Alfa o Coeficiente de Ångström

Este parámetro es utilizado para describir la forma espectral del espesor óptico de aerosoles (Toledano, 2005), es decir, la dependencia con la longitud de onda a un cierto rango espectral y se define de la forma siguiente:

$$\tau_a = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$$

Fuente: Toledano (2005).

Dónde:

λ : longitud de onda (en μm);

α : parámetro de Ångström; el cual está relacionado con el tamaño de aerosoles;

β : es una constante para un espesor óptico de 1 μm .

2.2.1.4. Características ópticas de Aerosoles

2.2.1.4.1. Función de fase

Es la probabilidad de que la radiación que interactúa con una partícula sea redispersada en un ángulo entre la dirección de incidencia y la dirección de dispersión (Expósito, 1999), está dada por:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{P(\cos \theta)}{4\pi} \sin \theta \, d\theta \, d\phi = 1$$

Fuente: Expósito (1999)

Este parámetro caracteriza los aerosoles porque tomará diferentes valores según el tamaño de partícula y la longitud de onda que incida sobre ella, lo que significa que la función de fase será el mismo valor para cualquier ángulo si el radio de la partícula es mucho menor que la longitud de onda.

Mientras que si el radio de la partícula supera o es comparable a la longitud de onda, existirá una alta probabilidad de que la dispersión se direcciona hacia el haz incidente (Díaz, 2006).

2.2.1.4.2. Factor de asimetría

Es el primer elemento de la función de fase:

$$g(\lambda) = \frac{\int_0^\infty \int_0^\infty \pi r^2 n(r, z) g(r, \lambda) Q_s(r, \lambda) dr dz}{\int_0^\infty \pi r^2 Q_s(r, \lambda) dr}$$

Fuente: Díaz (2006).

Donde:

$n(r, z)$: distribución de partículas;

$g(r, \lambda)$: factor de asimetría para una partícula;

$Q_s(r, \lambda)$: coeficiente de dispersión.

Este parámetro da el valor de la direccionalidad de la dispersión. Si el valor de g es igual a 1, implica dispersión hacia adelante, -1 indica dispersión hacia atrás y, por último, un valor de 0 es dispersión Isotrópica Rayleigh. Para las partículas de aerosoles el valor de g es de -0.5 a 0.7, según Van der Hulst (1957), citado por (Díaz, 2006).

2.2.1.4.3. Albedo de dispersión simple

Está dado por la razón entre el espesor óptico de dispersión y el de extinción, mediante la siguiente expresión (Díaz, 2006):

$$\omega(\lambda) = \frac{\int_0^\infty \int_0^\infty \pi r^2 Q_s(r, \lambda) n(r, z) dr dz}{\int_0^\infty \int_0^\infty \pi r^2 Q_e(r, \lambda) n(r, z) dr dz}$$

Fuente: Díaz (2006)

LIOU (1980), citado por (Díaz, 2006), afirma que el albedo de dispersión simple da cuenta del porcentaje de luz que es dispersada en una dispersión simple. También definido por Cortés H. (2014) como un indicador de la capacidad absorbente del aerosol, lo cual depende de la composición química, forma y tamaño del mismo. Este indicador puede tomar valores de entre 0 y 1, caracterizando así a partículas muy absorbentes y partículas poco absorbentes; respectivamente.

2.2.1.5. Dispersión de radiación solar por la atmósfera terrestre

2.2.1.5.1. Dispersión de Rayleigh

Es la dispersión que una onda electromagnética, en este caso la luz visible, que sufre al interactuar con partículas cuyo radio es mucho menor que la longitud de onda. Tiene lugar cuando el haz de luz, no polarizada, incide sobre una molécula esférica y la intensidad del haz es dispersada con un ángulo específico (θ) respecto al haz incidente se expresa mediante la siguiente ecuación (Expósito, 1999):

$$I = (I_0/s^2)\alpha^2(2\pi/\lambda)^4((1 + \cos 2\theta)/2)$$

Fuente: Expósito (1999).

Donde:

I_0 : intensidad de haz que incide sobre la partícula;

s : distancia de la molécula al punto de observación;

α : polarizabilidad;

λ : longitud de onda.

2.2.1.5.2. Clasificación por tipos de Aerosoles

Clasificación de aerosoles según Hess, M. y otros (1998)

1. Aerosol continental limpio: son las provenientes de las aéreas continentales con bajos niveles de influencias antropogénicas, con 0.1 mg.m^{-3} de hollín.
2. Aerosol continental promedio: contienen baja influencia de factores antropogénicos, por lo que contienen hollín y una cantidad aumentada de componentes insolubles y solubles en agua. En el trabajo de Holben y otros (2001), se muestran las características de tres estaciones (EE.UU., México y Palencia), cuyos valores de aerosoles rural o continental de fondo se encuentran por debajo de 0.1 y altos valores de CA.
3. Aerosoles continentales contaminados: son los provenientes de zonas altamente contaminados por el hombre, la densidad es más del doble que el anterior tipo de aerosol y es de 2 mg.m^{-3} de hollín.
4. Aerosol urbano: es el que presenta una fuerte contaminación en las zonas urbanas, cuya densidad de masa de hollín es de 7.8 mg.m^{-3} . Toledano (2005), establece que estos aerosoles son los denominados antropogénicos, los cuales se derivan de las actividades industriales y las grandes poblaciones, además en el mencionado trabajo se muestran valores de dos estaciones, ubicados en EE.UU. y México, en el primero se observa valores bajos de EOA y CA entre 1 y 2 para los meses de invierno; en el segundo se observa valores muy altos de EOA y CA. En el trabajo realizado por Dubovick, y otros (2002), los valores del EOA en estos casos oscilan entre 0.04-0.9.

5. Aerosol desértico: son los provenientes de los desiertos del mundo, compuesto de aerosol mineral con cierta turbidez media y componentes solubles en agua. En el trabajo realizado por Toledano (2005), se muestra una correlación negativa entre los valores del EOA y CA, es decir, altos valores de EOA por encima de 1 y alfa muy bajo.

Estas partículas precipitan cerca de su fuente, por el gran tamaño que presentan, existen grandes cantidades sustanciales que se transportan a través de largas distancias (Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels., 1995).

6. Aerosol marítimo limpio: representa las condiciones marítimas inalteradas sin hollín, con cierta cantidad de aerosol soluble en agua. Díaz (2006) menciona que los aerosoles marinos se generan en la explosión de las burbujas, producto de la espuma, y la influencia de la velocidad del viento.
7. Aerosol marítimo contaminado: relacionado a un medio ambiente marítimo con influencia antropogénica, cuyas cantidades de hollín se encuentran entre 0.3 y 7.6 mg.m⁻³. En el trabajo de Smirnov y otros (2002), se muestran características del EOA y CA en diferentes estaciones marítimas. El EOA en las estaciones remotas del Pacífico tienen un promedio de 0.07, con un parámetro alfa entre 0.3 y 0.7.
8. Aerosol marítimo tropical: baja densidad de sustancias solubles en agua y menor cantidad de sal marina.
9. Aerosol Ártico: se puede encontrar en toda la región del Ártico, a 70 °N, reportan gran cantidad de hollín transportado de las áreas continentales.

En los años 2002, 2003 y 2005 el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid realizó campañas para medidas de EOA en ALOMAR (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research. Andenes, Noruega, 69 °N 16°E), cuyas medias dieron una aproximación de las propiedades ópticas de los aerosoles en la región ártica. Los valores del EOA fueron bajos, con altos valores de CA (Toledano, 2005).

10. Aerosol antártico: se puede encontrar sobre el continente antártico, se compone de partículas de sulfato, partículas minerales y sal marina, sobre todo en condiciones de verano.

Adicionalmente existen otros tipos de aerosoles y son:

11. Aerosol volcánico: este tipo de aerosol es consecuencia de la inyección de enormes cantidades de partículas y gases a las capas altas de la atmósfera (Díaz, 2006).
12. Aerosol de la conversión de gas a partícula (gtp): su origen se debe a las reacciones químicas entre diferentes sustancias, que se generan en la atmósfera. La fuente de estas sustancias, por lo general, son naturales como la flora marina, la biota terrestre y las erupciones volcánicas (Díaz, 2006).
13. Aerosol producido por la combustión de biomasa: la combustión de biomasa inyecta enormes cantidades de partículas finas, cuyos valores del EOA son altos y variables, con CA muy altos (Toledano, 2005).

Los valores de α oscilan entre 1.7-2.0; y los valores del EOA es mayor a 0.38 (Dubovick, y otros, 2002).

2.2.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN Y PROCESOS

2.2.2.1. Instrumentos

2.2.2.1.1. Fotómetro solar CIMEL CE-318T

Se emplearán los datos generados por el fotómetro solar del tipo CIMEL CE-318T emplazado en el Observatorio de Huancayo. Las mediciones con este instrumento se iniciaron el 19 de marzo de 2015. Este es el instrumento estándar de la red AERONET, el cual ha sido diseñado para realizar mediciones precisas, con todas las cualidades de un instrumento de campo: motorizado, portable, autónomo y totalmente automático. Su objetivo fundamental es realizar mediciones de irradiancia tanto solar como de cielo, con el objetivo de derivar de sus mediciones información sobre aerosoles, vapor de agua y ozono. Para ello emplea una combinación de 8 filtros espectrales en las siguientes longitudes de onda: 340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020 y 1640 nm, con un ancho de banda por filtro de 10 nm. Este instrumento emplea un robot que permite movimientos azimutales y cenitales que garantizan el posicionamiento exacto del cabezal y la colimación correcta del sol. Este instrumento realiza secuencias de mediciones para la medición de irradiancias, implementadas a través de diversos escenarios de mediciones que se realizan de forma totalmente automática.

2.2.2.1.2. MODIS

Este instrumento, a bordo de las plataformas Aqua y Terra, será empleado para el análisis de estudios de casos. Para ello se determinarán las mediciones coincidentes, tanto espacial como temporalmente, para ser intercomparadas con mediciones de superficie realizadas por el fotómetro solar antes mencionado. El espectroradiómetro está

compuesto por 36 bandas espectrales que cubren un rango del espectro desde el visible hasta el infrarrojo térmico (405 – 14385 nm). Las primeras 19 bandas cubren la región situada entre 405 y 2155 nm, las cuales son empleadas para generar productos relacionados con: aerosoles y sus propiedades, nubes, vapor de agua, color del océano, fitoplancton, etc. El resto de las bandas (17) las cuales abarcan desde 3660 hasta 14385 nm, son empleados para generar productos tales como: temperatura atmosférica, propiedades de nubes y ozono, entre otras. La órbita de Terra alrededor de la tierra tiene lugar de norte a sur (órbita descendente) cruzando el Ecuador en la mañana (10:30), mientras que Aqua viaja de sur a norte (órbita ascendente) cruzando el Ecuador en el horario de la tarde (13:30). Ambos satélites tienen órbitas circulares, casi polares, sincronizadas con el sol y ubicadas a una altura de 750 km.

2.2.2.2. Datos

2.2.2.2.1. AERONET

La Red Robótica de Aerosoles es una red federada de sensado remoto de aerosoles en superficie creada por NASA (Administración Nacional del Espacio y la Aeronáutica) y por PHOTONS (Fotometría para el tratamiento operacional de normalización satelital), conformada además por subredes como: RIMA, AEROCAN, AeroSpan, etc. e instituciones y agencias nacionales, entre otras. AERONET brinda una base de datos global sobre propiedades ópticas, microfísicas y radiativas de los aerosoles, con el objetivo de propiciar la caracterización e investigación sobre aerosoles, así como, para la validación de información satelital y permitir la sinergia con otros instrumentos. Esta red garantiza la normalización de los instrumentos, así como, de los procedimientos de calibración y procesamiento, de los más de 500

instrumentos que forman parte de esta red a nivel global (Figura 10).

Figura 10: Distribución global de los fotómetros solares que conforman AERONET.



Fuente: (AERONET, 2016).

Los datos, que se encuentran disponibles vía web (AERONET, 2016), se agrupan en tres niveles de calidad: Nivel 1.0, 1.5 y 2.0. En el primer nivel se encuentra la información de aerosoles sin que se les haya aplicado el procedimiento de “limpieza de nubes”, mientras que a los del nivel 1.5 ya se les ha aplicado este procedimiento. Por último, los datos alcanzan el nivel 2.0, luego de que, además del procedimiento de limpieza de nubes, se ha realizado el proceso de post-calibración del instrumento, garantizando de esta forma se cumpla con seis aspectos del control de calidad: rendimiento del instrumento, sensor de temperatura, calibración, dependencia espectral del EOA, contaminación por nubes, test de consistencia y finalmente se evalúa el impacto de los nuevos datos en la climatología de aerosoles existente. El nivel de incertidumbre de los datos de EOD es de aproximadamente 0.01-0.02

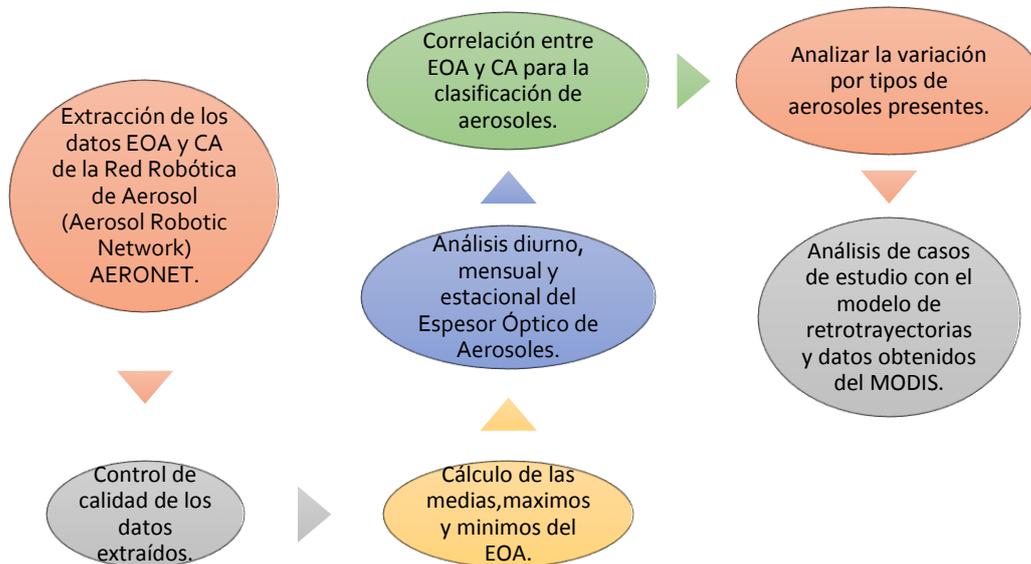
2.2.2.2. LAADS

Mediante esta plataforma web (LAADS, 2016), se accede al Sistema de Distribución de Archivos de la Atmósfera y datos del Nivel 1 de MODIS y de otros instrumentos satelitales. Mediante su interface web se escoge el instrumento del que se desea información, así como, el grupo de datos a seleccionar y los productos que se desean. Se realiza la selección temporal y espacial de los datos deseados y se escoge la colección de datos, o sea, los diferentes niveles de calidad y productos que se desean.

2.2.2.3. Técnicas

- Se emplearán técnicas estadísticas para el estudio de las variaciones diurnas, mensuales y estacionales del EOA y del Coeficiente de Angstrom.
- Se determinarán las medias diarias, mensuales y estacionales, así como, las desviaciones estándar y los máximos y mínimos por períodos.
- Se determinarán casos de estudios que permitan corroborar los resultados obtenidos.
- Se empleará el Modelo Híbrido de Trayectorias Integradas Lagrangiano para Partículas Simples (HYSPLIT, por sus siglas en inglés), para el análisis de casos de estudios (Draxler, y otros, 1998); (Draxler, y otros, 1997); (Draxler, 1999); (HYSPLIT, 2016).

2.2.3. DISEÑO DE MODELO TEÓRICO CONCEPTUAL DE INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. AEROSOLES ATMOSFÉRICOS

Partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera, cuyos tamaños oscilan entre 0.001-100 μm y pueden ser de origen natural, como por ejemplo, el polvo del desierto y partículas de sal (Díaz, 2006).

Por su origen los aerosoles atmosféricos se clasifican en naturales, compuestos por cenizas volcánicas, sal marina, polvo del desierto, esporas, polen, etc., y antropogénicos, como humo de chimeneas o minerales derivados de actividades industriales (Toledano, 2005).

2.3.2. ESPESOR ÓPTICO POR AEROSOLES

Este es un parámetro que indica la cantidad (índice de turbiedad) de aerosoles presentes en la atmósfera (Toledano, 2005). Es una magnitud adimensional que indica el poder que poseen las partículas de aerosoles para atenuar la radiación a una cierta longitud de onda (Expósito, 1999).

2.3.3. DISPERSIÓN

Se produce cuando la onda electromagnética interactúa con una partícula o un cuerpo dispersor, generando así, la reemisión de la energía incidente en todas las direcciones del espacio. La dispersión depende de la longitud de onda y del tamaño de la partícula, de manera tal que, si el tamaño de la partícula es mucho menor que la longitud de onda ($x \ll \lambda$), la radiación incidente se dispersará hacia delante o atrás, a esto se le denomina dispersión Rayleigh y esta se emplea para las moléculas. Mientras que si el tamaño de la partícula es comparable o mayor que la longitud de onda ($x \geq \lambda$), la energía se dispersará en dirección de la propagación de la radiación incidente; denominado dispersión de Mie, esta se emplea para partículas (Díaz, 2006).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1.1. Método general o teórico de la investigación

El método que se empleó para esta investigación es el descriptivo-longitudinal ya que se caracteriza la variación diurna, mensual y estacional del espesor óptico de aerosoles y se evaluarán sus valores mínimos y máximos. Posteriormente se correlaciona el Espesor Óptico por Aerosoles con el Coeficiente de Angstrom para realizar la clasificación de los aerosoles por tipos, atendiendo básicamente a su fuente de origen, para luego caracterizar la variación por tipos de aerosoles.

3.1.1.2. Método específico de la investigación

3.1.1.2.1. Reconocimiento de campo

El reconocimiento de campo se llevó a cabo mediante la visita al Observatorio de Huancayo, ubicado en la provincia de Chupaca; para identificar el Fotómetro solar CIMEL CE-318T.

3.1.1.2.2. Trabajo de gabinete

- A. Ingresar a la plataforma web AERONET para descargar los datos de Espesor Óptico de Aerosoles (EOA) y Coeficiente de Angstrom (CA), utilizando las herramientas de descarga y ubicando la estación Huancayo-IGP (12S, 75W).
- B. Seleccionar y descargar los datos del EOA y CA, del nivel 2.0, para ello se acepta las condiciones de descarga para obtener los archivos ZIP.
- C. Realizar el análisis estadístico de medias, máximos, mínimos y desviaciones estándar del EOA, para el control de calidad de los datos.
- D. A partir de la información anterior se realizará el control de calidad de los datos, depurando valores que estén fuera del rango aceptable.
- E. Calcular las medias diurnas, mensuales y estacionales del EOA.
- F. Interpretar, describir los resultados y gráficos generados del proceso anterior.
- G. Determinar la variación diurna, mensual y estacional del EOA.
- H. Análisis de la variación diurna, mensual y estacional del EOA.
- I. Correlacionar los valores entre EOA y CA.
- J. Determinar la clasificación de los aerosoles por tipos según su fuente.
- K. Interpretar, describir los resultados y gráficos generados del proceso anterior.
- L. Determinar la variación por tipos de aerosoles, según su fuente.

- M. Análisis de la variación diurna, mensual y estacional de los tipos de aerosoles, a partir de la información generada anteriormente.
- N. Selección de casos de estudio, de acuerdo a elementos que resulten de interés durante la investigación.
- Análisis de retrotrayectorias empleando el modelo HYSPLIT, una vez descargados los datos de la página Air Resources Laboratory.
 - Emplear un script de Matlab para el procesamiento de los datos de retrotrayectorias.
 - Descarga los datos de focos de incendio de la página Web ACRESP.
 - Emplear un script de Matlab para el procesamiento y lectura de los datos de incendio.
 - Se obtiene el conjunto de gráficos de los datos de la retrotrayectorias y de incendios, mediante el corrido de los script, mencionados anteriormente.
 - Se descarga datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra, del portal web LAADS DAAC. Datos de nivel 2 con una resolución de 3 km., correspondiente a la colección 6, de la fecha requerida y de la región de estudio señalada.
 - Procesamiento de los datos MODIS mediante Matlab a través de los scripts anteriormente elaborados.
 - Análisis de las gráficas correspondientes, obtenidas de los procesos anteriores.

3.1.2. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

- A. Tipo de investigación: Aplicada, porque el estudio se basó en estudios, teorías y postulaciones previas ya establecidas.
- B. Nivel de investigación: descriptivo y correlacional; es descriptivo porque se emplea datos del espesor óptico de aerosoles para describir su comportamiento diurno, mensual y estacional; y correlacional porque se relacionará el EOA y CA para determinar la clasificación por tipos de aerosoles.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

No Experimental-longitudinal

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

Comprende todas las medidas de espesor óptico de aerosoles atmosféricos del Observatorio de Huancayo.

3.3.2. MUESTRA

La muestra es no probabilística por conveniencia; ya que las mediciones son tomadas de un periodo en específico, desde marzo de 2015 hasta julio de 2016.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos de EOA y CA (parámetro α) fueron extraídos de la plataforma web de AERONET, posteriormente fueron procesados para su respectivo análisis e interpretación.

3.4.1. TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- Acopio de datos de EOA descargados de AERONET, ACRESP, LAADS DAAC, Air Resources Laboratory.

3.4.2. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- Fotómetro solar CIMEL CE-318T
- Fichas de registro de datos digitales.
- Un procesador (laptop o PC).
- Libretas de observaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez obtenidos y organizados los datos descargados de la plataforma AERONET, mediante los ficheros; se realiza el análisis de los mismos, obteniendo las medias, máximos, mínimos, así como la depuración de datos fuera de rango; valores negativos, por cada longitud de onda. Cabe resaltar que como el fotómetro fue instalado en el año 2015 a partir del 19 de marzo, es por ese motivo que no existen datos de enero y febrero del mismo año. A continuación, se muestran las figuras de la variación diurna, mensual y estacional del EOA, así como la caracterización de la variación mensual por tipos de aerosoles y sus porcentajes. Se trabaja en las longitudes de onda de 440 y 500 nm, puesto que son partes del espectro electromagnético que caracteriza mucho mejor a los aerosoles atmosféricos.

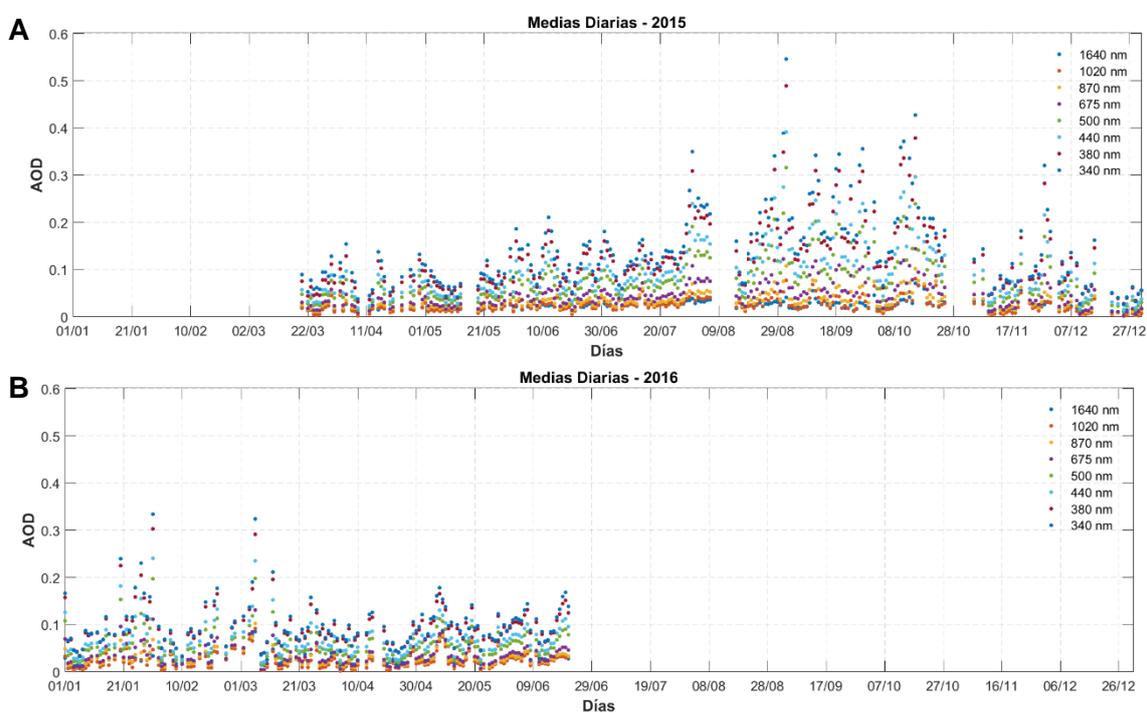
4.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN DIURNA DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES

En la Figura 11 se muestra el comportamiento de los valores medios diarios del espesor óptico de aerosoles en las longitudes de onda desde 340 nm hasta 1640 nm (ANEXO N° 1). Como puede apreciarse los valores aumentan desde junio hasta septiembre del 2015, posteriormente comienzan a disminuir hasta diciembre, mes en el que se registran los valores más bajos. El mayor valor registrado se encuentra en la longitud de onda de 340 nm con una magnitud de

0.546±0.120 y tuvo lugar el 1 de septiembre de 2015. Los valores mínimos registrados se observan en diciembre, cuyo valor más bajo de entre todas las longitudes de onda es de 0.003±0.002 del 26 de diciembre de 2015 y corresponde a la longitud de onda de 1020 nm. Desde marzo de 2015 hasta finales de julio del mismo año, los valores de EOA para todas las longitudes de onda se encuentran bien agrupados, sin embargo, a partir de ese momento, las medias diarias quedan más dispersadas, fundamentalmente, en las longitudes de onda más bajas (Figura 11 a).

Para el año 2016 se observan algunos valores altos, fundamentalmente en los meses de enero y marzo, con valores máximos muy similares en ambos meses. En el caso del mes de enero el máximo se alcanzó el día 31 de ese mes con una magnitud de 0.334±0.036, mientras que en el mes de marzo el máximo fue de 0.324 ±0.033 el día 6, en ambos casos en la longitud de onda de 340 nm. El menor valor medio correspondió al día 3 de febrero con una magnitud de 0.0036 ± 0.003(λ=1020 nm) (Figura 11b).

Figura 11: Comportamiento del Espesor Óptico por Aerosoles para todas las longitudes de onda del fotómetro, correspondiente al año 2015 (a) y 2016 (b).

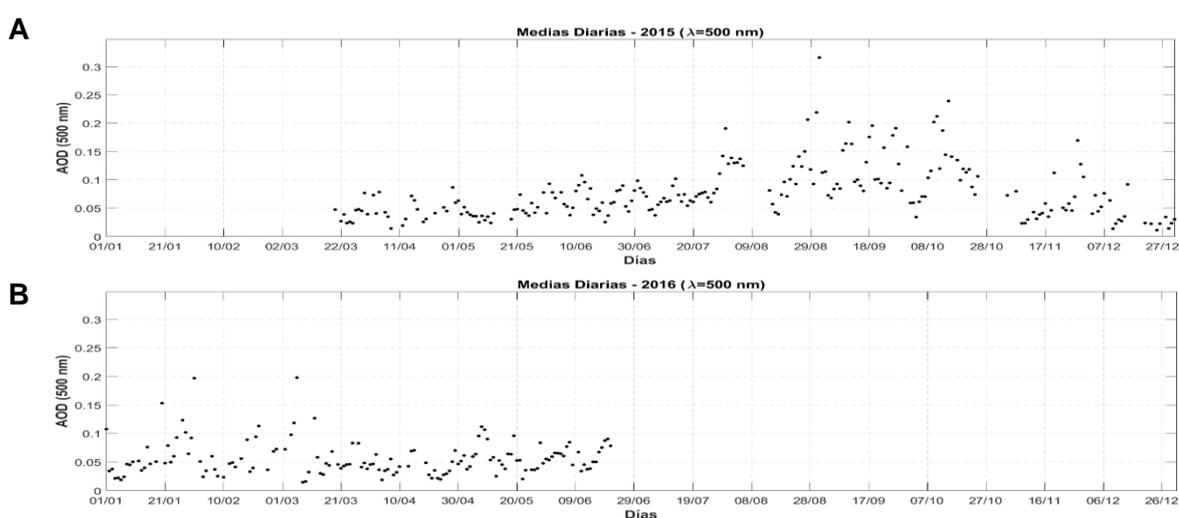


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se hará un análisis de las medias diarias para las longitudes de onda de forma individual, con énfasis en las longitudes de onda de 440 y 500 nm, ya que es con estas longitudes de onda se debe analizar el comportamiento de los aerosoles atmosféricos. Las medias diarias del EOA para el año 2015 y para el 2016, correspondientes a la λ de 500 nm, se representan en la Figura 12. En el año 2015 (Figura 12a), los valores máximo y mínimo son: 0.316 ± 0.073 para el 1 de septiembre y 0.011 ± 0.005 del 25 de diciembre; respectivamente. Para el año 2016 el máximo valor registrado es de 0.198 ± 0.023 el 6 de marzo y el valor mínimo de 0.015 ± 0.003 registrado el 8 de marzo.

Como se planteó anteriormente, la falta de datos a inicios del 2015 se debe a que el fotómetro solar fue instalado el 19 de marzo de ese año. Por el contrario, en el caso del 2016, la falta de datos a partir del mes de junio es debido a que se han tomado los datos del Nivel 2.0 de AERONET y estos solamente llegan hasta el 21 de junio de 2016, momento en que el instrumento que se encontraba trabajando fue sustituido por otro calibrado y el que estaba funcionando fue enviado a postcalibración. Se aprecia claramente que los máximos valores de EOA se encuentran entre los meses de agosto y octubre del año 2015, período que coincide con el mayor número de incendios forestales y como consecuencia ocurre un incremento de los valores medios diarios del EOA.

Figura 12: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 500 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).

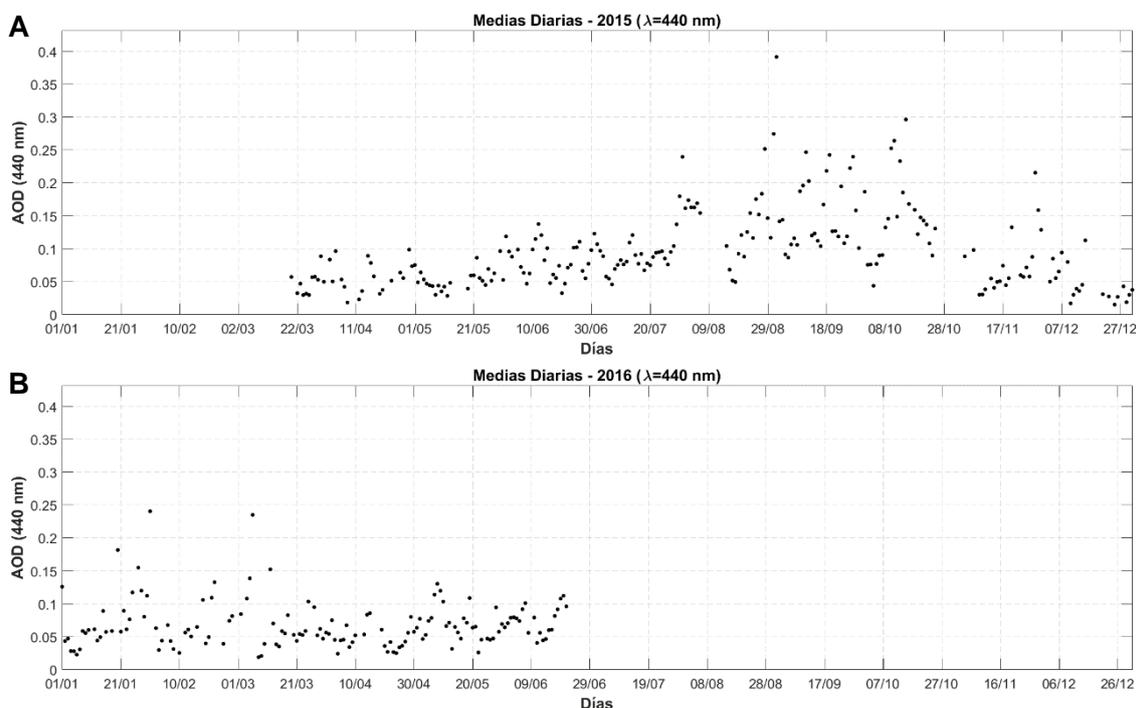


Fuente: Elaboración propia

La Figura 13 muestra las medias diarias del EOA en la λ de 440 nm, donde el valor máximo fue de 0.392 ± 0.089 y el valor mínimo de 0.015 ± 0.006 , para el año 2015 (Figura 13a), registrados el 1 de septiembre de 2015 y el 25 de diciembre de 2015, respectivamente, coincidiendo con las mismas fechas en las que se encuentran estos valores para la longitud de onda de 500 nm. Para el año 2016 (Figura 13b), el mayor valor registrado fue de 0.241 ± 0.030 el 31 de enero, que en este caso no coincide con la fecha del máximo valor para la longitud de onda de 500 nm y el menor valor fue de 0.019 ± 0.003 para el 8 de marzo, fecha en la que igualmente se registró el mínimo para la $\lambda = 500$ nm.

El comportamiento de las medias diarias del EOA en el resto de las longitudes de onda registradas por el fotómetro solar se describe a continuación. En el caso de la longitud de onda de 1640 nm se registró un valor máximo de 0.076 ± 0.035 el 22 de octubre de 2015 y el menor valor de 0.008 ± 0.001 del 8 de abril 2015, para el año 2016 se registra un máximo valor de 0.087 ± 0.033 el 9 de mayo de 2016 y el valor mínimo de 0.012 ± 0.003 el 4 de enero, como se puede apreciar en ANEXO 2.

Figura 13: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 440 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).



Fuente: Elaboración propia.

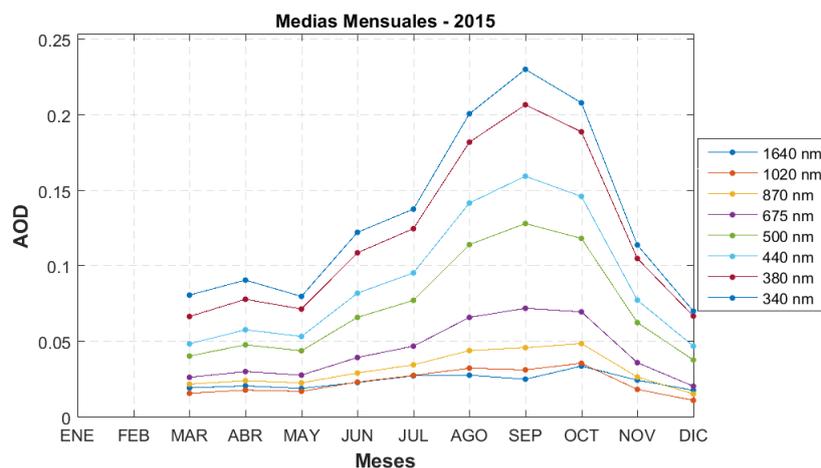
Para $\lambda = 1020$ nm, se tiene que el máximo valor para año 2015 es de 0.081 ± 0.013 del 15 de octubre y el menor valor de 0.003 ± 0.002 registrado el 26 diciembre de 2015; mientras que para el periodo 2016 el máximo valor es de 0.092 ± 0.028 y el mínimo es de 0.0036 ± 0.0031 , ocurrido el 6 de marzo y 3 de febrero de 2016, respectivamente, como se evidencia en ANEXO N°3. En 870 nm, se registra el valor máximo de 0.108 ± 0.026 del 1 de septiembre de 2015 y el mínimo de 0.002 ± 0.002 registrado el 25 de diciembre de 2015, y para el 2016 el máximo valor es de 0.103 ± 0.024 del 6 de marzo y el menor valor es de 0.004 ± 0.002 del 9 de marzo, como se muestran en el ANEXO N°4. En 675 nm el máximo valor es 0.178 ± 0.043 , del 1 de septiembre de 2015, el valor mínimo es de 0.003 ± 0.002 del día 25 de diciembre de 2015; para el periodo 2016 el máximo valor registrado es de 0.131 ± 0.022 del 6 de marzo y el mínimo valor fue de 0.005 ± 0.002 del 9 de marzo de 2016, ver ANEXO N°5. De forma general se puede apreciar que para las longitudes de onda superiores a los 500 nm, los valores medios diarios calculados son inferiores a los de la longitud de onda de 500 nm. Mostrando que no existe una fuerte dependencia entre el EOA y longitudes de onda en esta región del espectro. Lo contrario sucede en longitudes de onda inferiores a los 440 nm, o sea, ubicadas en la región del ultravioleta (UV) del espectro, como se podrá observar en el análisis siguiente. En estudios donde se ha analizado si existe dependencia del EOA con la longitud de onda, se ha concluido que no es un error estadístico o instrumental, sino que tiene una fundamentación física resultado de la dispersión de Mie para combinaciones específicas de longitud de onda, radio de las partículas y el índice de refracción de estas (On the optical thickness in the UV range: Analysis of the ground-based data taken at Belsk, Poland, 2003).

Para la longitud de onda de 380 nm el valor máximo es de 0.489 ± 0.105 , correspondiente al 1 de septiembre de 2015, por su parte el valor mínimo es de 0.027 ± 0.004 , registrado el 10 de diciembre de 2015. Para el 2016 el máximo valor es de 0.303 ± 0.036 del 31 de enero y el mínimo de 0.032 ± 0.001 del 10 de febrero, como se puede observar en el ANEXO N°6. En el caso de $\lambda = 340$ nm, el valor máximo es de 0.546 ± 0.120 y coincide con la $\lambda = 380$ nm que tiene lugar el 1 de septiembre del 2015; el valor mínimo es de 0.026 ± 0.011 y ocurre el 25 de diciembre del 2015, el máximo valor del periodo de 2016 es de 0.334 ± 0.036 del 31 de enero y el mínimo de 0.032 ± 0.005 del 6 de enero, tal como se muestra en el ANEXO N°7

4.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN MENSUAL DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES

El comportamiento de las medias mensuales del EOA correspondientes al año 2015, para todas las longitudes de onda empleadas en las mediciones del fotómetro solar, se puede apreciar en la Figura 14. A partir del mes de junio hasta septiembre, se observa un aumento de los valores medios mensuales, es en este último mes donde se alcanza el máximo valor de EOA ya que es en este mes donde precisamente se alcanzan su máximo tanto en número de focos de incendios como las emisiones de material particulado, para la región, pero especialmente para Perú. A partir del mes de octubre y hasta diciembre los valores de las medias disminuyen.

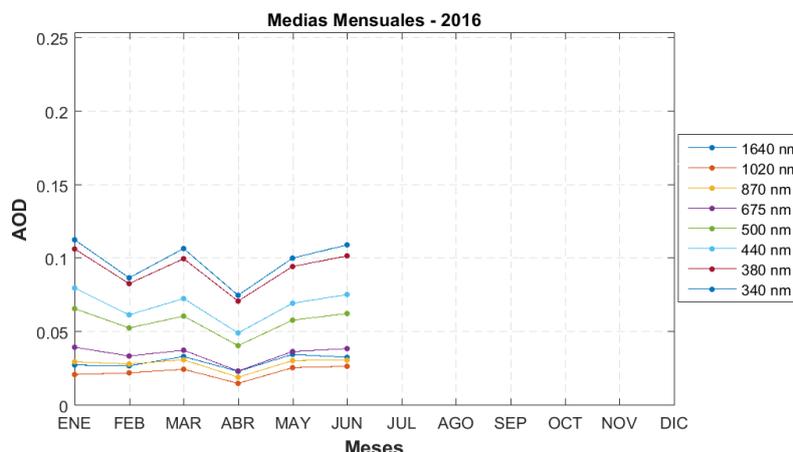
Figura 14: Variación mensual del EOA para el año 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Para el siguiente año, 2016, los valores del EOA registrados tienen en general muy poca variación, sin embargo, el mínimo valor se registra en el mes de abril para todas las longitudes de onda, mientras que en los meses de enero y marzo tienen lugar los máximos de este año, pero las variaciones tienen lugar a un mismo nivel (Figura 15).

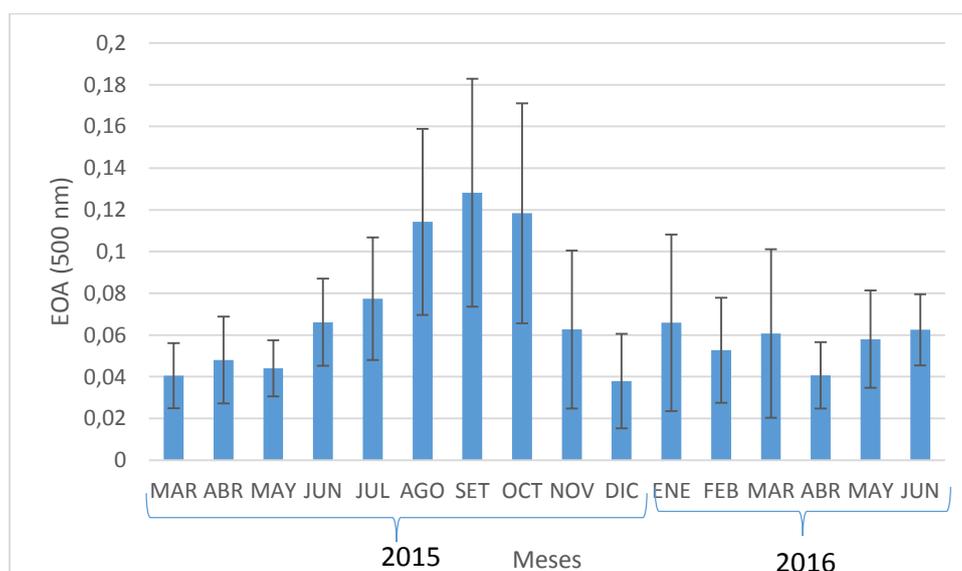
Figura 15: Variación mensual del EOA del año 2016.



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que para las medias diarias se realizará el análisis del comportamiento de los valores medios mensuales de forma individual para cada longitud de onda, con énfasis en las de 440 y 500 nm. En la Figura 16 se representan las medias mensuales del EOA en la λ de 500 nm, para el año 2015 y 2016, así como las respectivas desviaciones estándar. Como se puede apreciar en el año 2015, el valor máximo fue de 0.128 ± 0.054 en el mes de septiembre y el mínimo de 0.038 ± 0.022 tuvo lugar en el mes de diciembre.

Figura 16: Medias Mensuales y desviaciones estándar del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 500 nm.

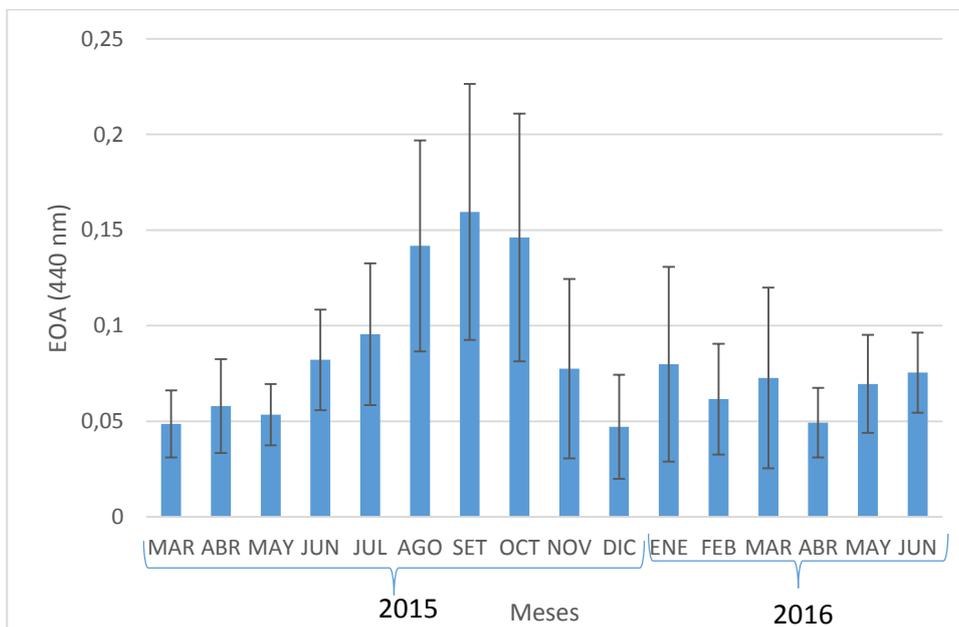


Fuente: Elaboración propia.

En los meses de agosto y octubre también se observan valores altos del EOA medio, con magnitudes de 0.114 ± 0.043 y 0.118 ± 0.052 , respectivamente. Este comportamiento es consistente con el hecho de que en esos meses tiene lugar el período de máxima quema de biomasa. En estos tres meses tienen lugar los valores más altos de desviación estándar, como se puede apreciar en la figura, lo cual da una idea de la dispersión de los datos, aspecto que se puede notar en el gráfico de las medias diarias (Figura 12 y ANEXO N°47 al ANEXO N°49). Para el año 2016 el menor valor de EOA (0.041 ± 0.016), se obtuvo para el mes de abril, donde se registra a su vez la menor desviación estándar, mientras que el máximo se encuentra en el mes de enero con una magnitud de 0.066 ± 0.042 .

En la siguiente figura se muestran las medias mensuales del EOA para $\lambda = 440$ nm, para todo el período analizado. El valor máximo es de 0.159 ± 0.067 , registrado en el mes de septiembre del 2015 y el valor mínimo registrado fue en diciembre del 2015 con 0.047 ± 0.027 . También se observan valores altos en los meses de agosto y octubre, cuyos valores son 0.141 ± 0.055 y 0.146 ± 0.065 , respectivamente, debido a los mismos factores abordados para la longitud de onda de 500 nm. Al igual que para la longitud de onda de 500 nm, las mayores desviaciones estándar se encuentran en los meses de agosto a octubre, período, como ya se ha dicho en reiteradas ocasiones, asociado a la quema de biomasa (véase ANEXO N°51). En el año 2016, en el mes de abril se observan los valores mínimos, tanto del EOA como de la desviación estándar, cuya magnitud en ese mes es de 0.049 ± 0.018 , seguido del máximo valor del mes de enero (0.080 ± 0.051).

Figura 17: Medias Mensuales y desviaciones estándar del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 440 nm.



Fuente: Elaboración propia.

Se determinaron también las medias mensuales para el resto de las longitudes de onda con las que trabaja el fotómetro solar. En el caso de $\lambda = 1640 \text{ nm}$, cuyo valor máximo para el año 2015 fue de 0.034 ± 0.017 tuvo lugar en el mes de octubre y el valor mínimo de 0.018 ± 0.010 en el mes de diciembre de 2015. Sin embargo, para el año 2016 el valor máximo es de 0.035 ± 0.020 en el mes de mayo y el valor mínimo de 0.023 ± 0.009 del mes de abril, ver ANEXO N°9. Para 1020 nm el valor máximo es de 0.036 ± 0.020 y el mínimo de 0.010 ± 0.011 , registrados en el octubre de 2015 y diciembre de 2015, respectivamente; mientras que para el 2016 el valor máximo es de 0.027 ± 0.007 del mes de junio y el menor valor de 0.014 ± 0.011 del mes de abril de 2016, como se observa en el ANEXO N°10. En el ANEXO N°11, se muestra las medias mensuales del EOA, en la λ de 870 nm donde, el mayor valor es de 0.049 ± 0.023 del mes de octubre del 2015, seguido del valor mínimo de 0.015 ± 0.012 del mes de diciembre de 2015. Para el año 2016 el valor máximo es de 0.031 ± 0.024 del mes de marzo y el mínimo es de 0.019 ± 0.011 del mes de abril. En estas longitudes de onda, también se observa que para los meses de agosto y septiembre de 2015, los valores medios del EOA son altos.

En el ANEXO N°12 se observa el EOA medio mensual en la $\lambda = 675$ nm, donde en el mes de septiembre de 2015, se registró el valor máximo de 0.072 ± 0.031 y el valor mínimo fue de 0.021 ± 0.015 en el mes de diciembre de 2015. Para el año 2016, el valor máximo registrado es de 0.040 ± 0.025 del mes de enero y el mínimo registrado es de 0.023 ± 0.012 del mes de abril. Para 380 nm, se registró el valor máximo de 0.207 ± 0.080 en el mes de septiembre de 2015 y el valor mínimo de 0.067 ± 0.019 del mes de marzo de 2015, para el año 2016 el máximo valor fue de 0.106 ± 0.061 para el mes de enero y el mínimo valor de 0.071 ± 0.021 del mes de abril, como se puede observar en el ANEXO N°13. Por último en la λ de 340 nm, el valor máximo es de 0.230 ± 0.090 para el mes de septiembre del 2015 y el mínimo valor fue de 0.070 ± 0.036 en el mes de diciembre de 2015, mientras que para el año 2016, en el mes de enero se presenta un valor máximo de 0.113 ± 0.069 y un mínimo de 0.075 ± 0.023 en el mes de abril, como se observa en el ANEXO N°14. Entre los meses de agosto y octubre de 2015, se presentan los valores más altos de las medias mensuales del EOA, debido a los aerosoles generados por la quema de biomasa que tiene lugar durante el período de sequía en la región.

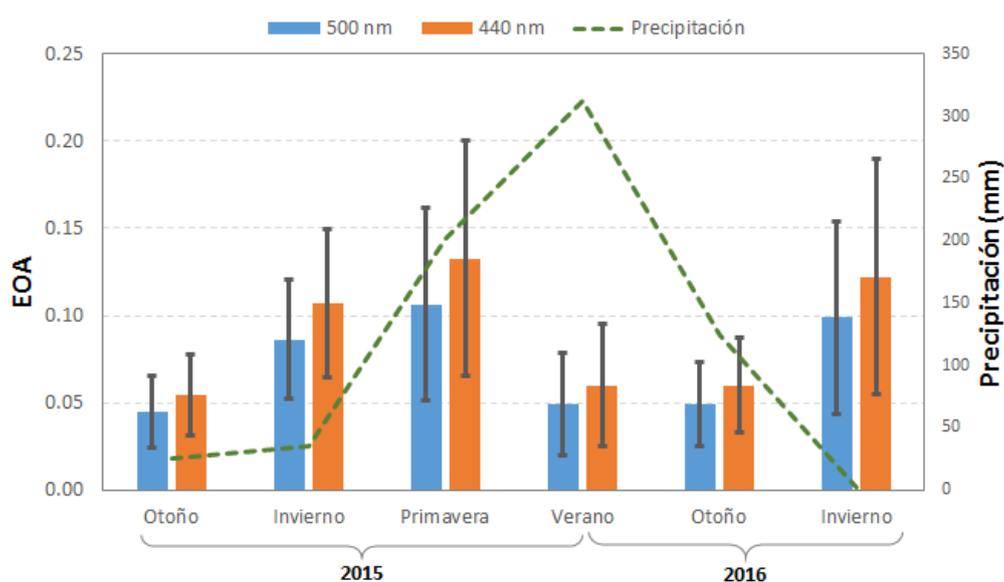
4.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DEL ESPESOR ÓPTICO DE AEROSOLES

La Figura 18 representa la variabilidad estacional del EOA calculada a partir de los valores medios mensuales para las longitudes de onda de 440 y 500 nanómetros, así como sus respectivas desviaciones estándar y los acumulados de precipitación para todo el período. En el caso del invierno de 2016, debido a que los datos de nivel 2.0 solamente llegan hasta el mes de junio, se han tenido en cuenta, para el cálculo de las medias estacionales, los meses de julio y agosto del nivel 1.5, de esta forma se logra que este período sea comparable con su similar de 2015.

En la figura se aprecia como el EOA para ambas longitudes de onda parten de valores bajos en el otoño de 2015 (condiciones de fondo) y se incrementan considerablemente para el invierno, hasta alcanzar entonces los máximos valores, de todo el período, en la primavera. Es durante esta estación del año donde son también mayores las desviaciones estándar, debido a las razones arriba expuestas. Posteriormente hay un descenso abrupto de los valores de

EOA en el verano, cuyos valores se mantienen prácticamente constante hasta el otoño de 2016. Posteriormente los valores de EOA comienzan a aumentar nuevamente en el invierno, con incremento también considerable de la desviación estándar, incluso valores superiores al igual que el período 2015, algunos incendios que contribuyeron fue el ocurrido en la provincia de Satipo (ver ANEXO N°50). Si se analiza la relación entre el comportamiento del EOA y los acumulados de precipitaciones se aprecian claramente que entre el otoño y el invierno de 2015 hubo un período de escasas lluvias, lo cual es propicio para que se incrementen el número de focos de incendio. Aunque en la primavera comienzan las lluvias, el efecto de las escasas lluvias parece tener cierta inercia, o sea, los pastos y la vegetación en general aún permanecen secos. Esto se puede contrastar con el hecho de que el mes de septiembre de 2015 fue el período de mayor número de focos de incendio en todo el 2015. Con el incremento de las precipitaciones hacia el verano, se obtienen entonces valores muy bajos de EOA y es cuando los acumulados de precipitaciones y el EOA se encuentran en contrafase.

Figura 18: Medias estacionales del Espesor Óptico por Aerosoles para las longitudes de onda de 440 y 500 nm en todo el período, con sus desviaciones estándar y las medias estacionales de la precipitación.



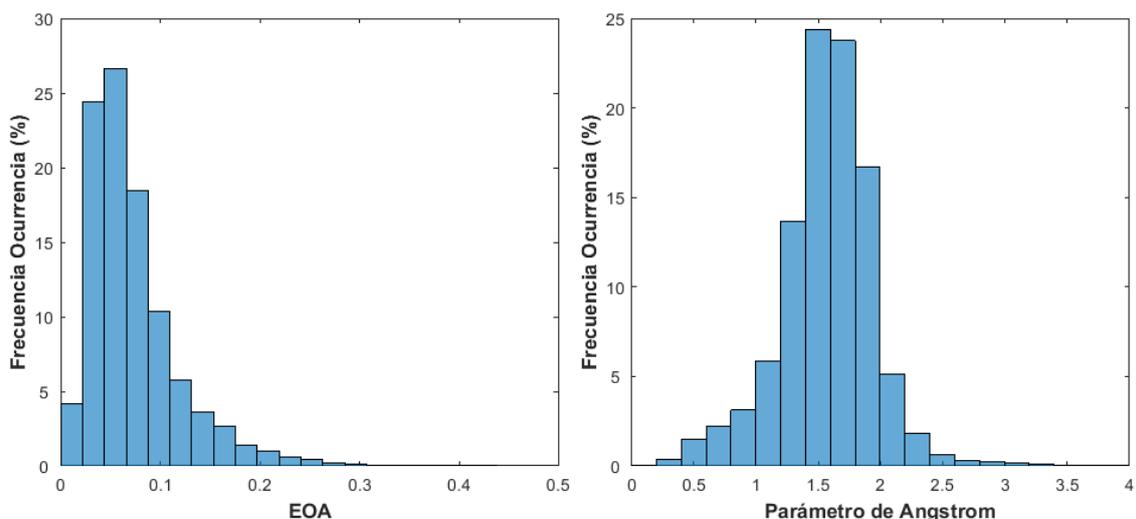
Fuente: Elaboración propia.

Si se analizan los valores de EOA, para ambas longitudes de onda en el invierno de 2016, se observa que estos son superiores a los valores registrados en igual período del 2015, las precipitaciones, sin embargo, son prácticamente nulas en este período, lo cual trajo como consecuencia que el número de focos de incendios (60649), para esta estación del año en el área de estudio, superen en más de 27967 focos los ocurridos en igual período del año anterior, o sea, prácticamente se duplicó el número de focos de incendio. Si se analiza el caso del territorio peruano el número de focos llegó a 19199, lo que significa 5942 focos más que en igual período del 2015.

4.1.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS MEDIAS MENSUALES Y ESTACIONALES DEL EOA POR TIPOS

La clasificación de los diferentes tipos de aerosoles se ha basado en los criterios de varios autores como fue mencionado en capítulos anteriores. Para esta clasificación se ha tenido en cuenta el EOA y el Parámetro de Angstrom (PA). Al analizar la frecuencia de ocurrencia de estas dos variables para todo el período (Figura 19), se puede observar que los valores de EOA han estado centrados en torno a los valores de 0.033 y 0.055, con un 24.4% y 26.6 % de ocurrencia, respectivamente. En general, más del 73 % de los valores de EOA se encuentran por debajo del valor de la línea base (este valor será analizado en epígrafes posteriores), lo que significa que en general Huancayo ha estado afectado básicamente por condiciones de fondo durante el período objeto de estudio. Por su parte en el caso del PA ocurren con mayor frecuencia valores superiores a 1.2, lo que significa alta presencia de partículas finas (87 %), centradas en el valor de 1.497 (24.4 %) seguida del valor de 1.697 (23.8 %). La presencia de partículas gruesas, por su parte, alcanza apenas el 13 % de ocurrencia. Las partículas que se encuentran en este rango están relacionadas básicamente con partículas de polvo y aerosoles marinos.

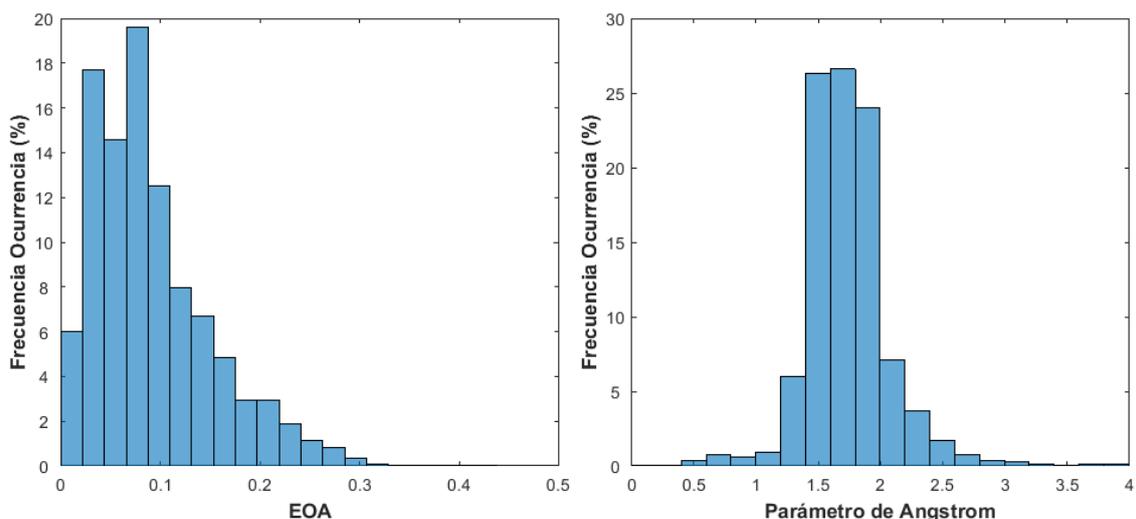
Figura 19: Histogramas de las frecuencias de ocurrencia (%) de los valores de EOA y del parámetro de Angstrom para todo el período de estudio.



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

Al analizar individualmente los años 2015 y 2016 (Figura 20 y Figura 21), respectivamente, se aprecian comportamientos un tanto diferentes respecto a todo el período. En el caso del año 2015 la mayor frecuencia de ocurrencia correspondió al valor de EOA de 0.077 (19.6 %). En comparación con todo el período, en el caso del año 2015 solo el 58 % de los valores de EOA se encuentran por debajo de la línea base, o sea que un 42 % de los valores de EOA correspondió a diversos eventos que alteraron las condiciones de fondo. Entre estos se encuentran episodios de aerosoles de polvo, en menor medida y los eventos correspondientes al período de quema de biomasa que tuvo lugar entre finales de julio y finales de octubre. En el caso del PA para este año, el 93.3 % de los valores corresponden a partículas finas, centradas en torno a la magnitud de 1.697 (26.6 %), seguida de los valores de 1.497 (26.3 %) y 1.897 (24 %). Estos valores son consistentes con la alta presencia de aerosoles generados por la quema de biomasa en este año. Solamente un 2.7 % corresponde a partículas gruesas, relacionadas básicamente con la presencia de polvo y aerosoles marinos.

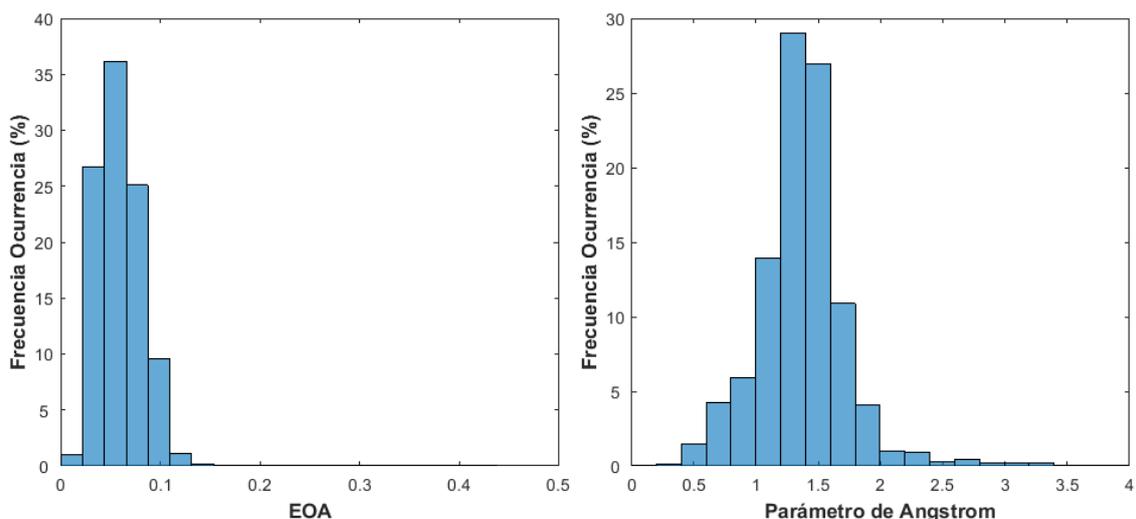
Figura 20: Histogramas de las frecuencias de ocurrencia (%) de los valores de EOA y del parámetro de Angstrom para el año 2015.



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

El comportamiento de estas dos variables en el caso del año 2016 (Figura 21), varía notablemente respecto al año 2015 y respecto al período, por ejemplo se puede apreciar claramente en la gráfica correspondiente al EOA (izquierda), que las barras se encuentran agrupadas por debajo del valor de EOA = 0.1. Esto implica que el 89 % de los valores se encuentra por debajo de la línea base, mientras que solamente un 11 % se encuentra por encima de la misma. Esto explica básicamente que, en los meses analizados del año 2016, estamos en presencia de condiciones de fondo, interrumpido solamente por algunos casos de eventos de quema de biomasa y otros de polvo que tuvieron lugar en el mes de mayo.

Figura 21: Histogramas de las frecuencias de ocurrencia (%) de los valores de EOA y del parámetro de Angstrom para el año 2016.



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

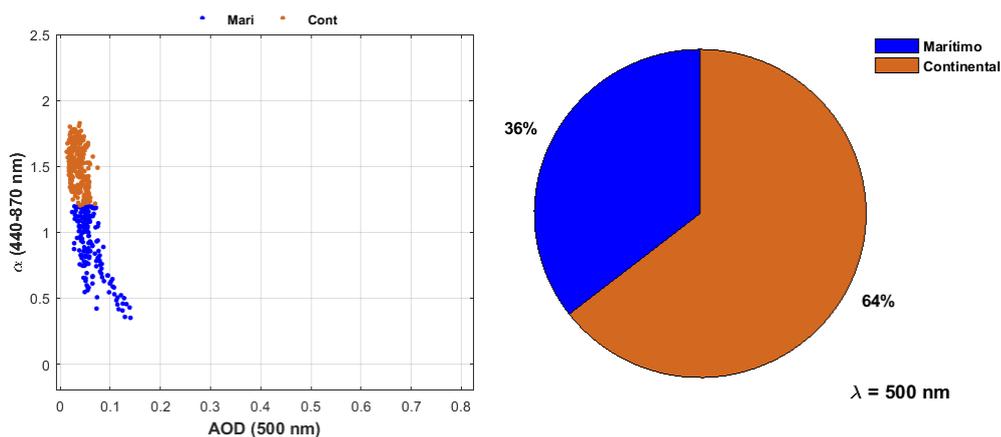
En el caso del PA el modo grueso tiene un peso significativo en el comportamiento de este año ya que alcanza el 25.7 %, superior en un 12.7 % y un 23 % respecto a todo el período y al año 2015, respectivamente. El 29 % de ocurrencia corresponde al PA = 1.298 seguido con un 27 % del valor 1.497. El modo fino alcanzó en este año el 74.3 % solamente. La presencia de aerosoles marinos y eventos de polvo registrados, estos últimos en el mes de mayo, marcan la diferencia en la distribución de los valores del PA.

A partir del método de clasificación descrito anteriormente se ha determinado, para las diferentes clasificaciones de aerosoles, los valores medios mensuales, lo cual ha permitido establecer el comportamiento de cada tipo por meses, así como, los porcentos de la presencia de cada tipo para la longitud de onda de 500 nm.

En la Figura 22 se muestra, para el mes de marzo de 2015, la clasificación por tipos de aerosoles, así como, los porcentos de presencia de que cada uno de los tipos de aerosoles para este mes. Como se puede apreciar, en este mes solamente se identifican dos tipos de aerosoles, *continentales* y *marítimos*, el primero con un claro predominio (64.5 %) y el *marítimo* con apenas un 35.5 %. La presencia de estos dos tipos de aerosoles es considerada como condiciones de fondo, por tanto, este mes puede ser considerado como un mes típico de concentraciones y tipos de aerosoles de fondo. Estas condiciones permanecen,

con variaciones en los porcentajes, pero sin dejar de existir un predominio del tipo *continental*, hasta el mes de junio, mes donde aparecen aerosoles del tipo *polvo*, aunque en un porcentaje muy pequeño.

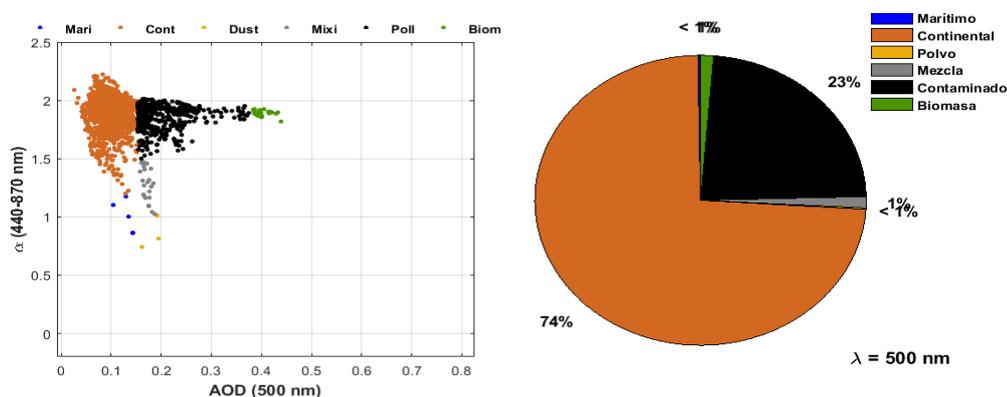
Figura 22: Porcentajes de la clasificación de aerosoles por tipos de marzo de 2015, en la longitud de onda de 500 nm.



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

A partir del mes de julio de 2015 comienza a aparecer el tipo *mezcla* y *contaminado*, este último, relacionado con aerosoles generados por la quema de biomasa. En el mes de septiembre de 2015 (Figura 23), continúa el predominio del tipo de aerosol *continental* (74 %) pero ya entonces el tipo *marítimo* disminuye a valores inferiores al 1 % mientras que el tipo *contaminado* llega a alcanzar el 23 % y aparece, por vez primera, el tipo *biomasa*. El mes de septiembre es el único mes donde se registran, a la vez, los seis tipos de aerosoles que son clasificados en este estudio.

Figura 23: Clasificación de los aerosoles para el mes de septiembre de 2015 (izquierda) y los porcentos de presencia de cada uno de los tipos (derecha) para la longitud de onda de 500 nm.



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

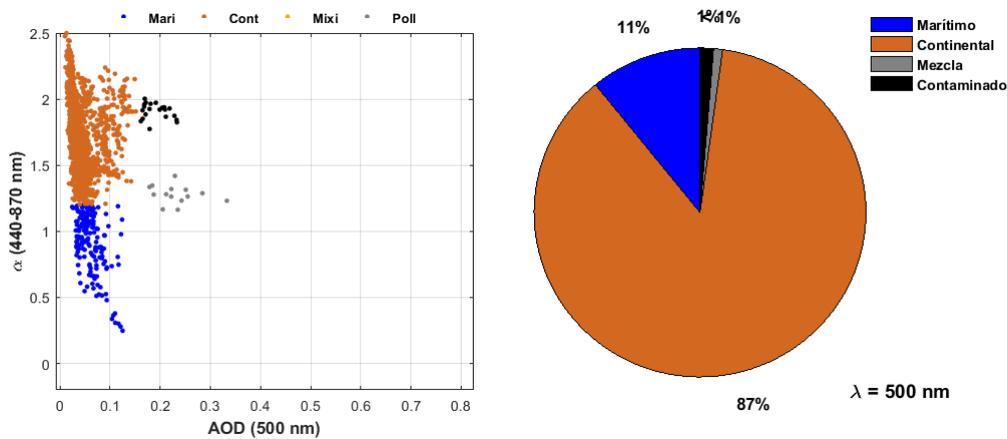
Durante el mes de octubre permanece la presencia de aerosoles del tipo *contaminado*, incluso en un porcentaje mayor (29 %) que el mes de septiembre, pero sigue siendo el tipo *continental* el que predomina con un 67 % en este mes. En el mes de noviembre aparece aún el tipo *contaminado* pero esta vez solamente alcanza el 7 %. A pesar de que el tipo *contaminado* se registra aún en el mes de noviembre, se ha considerado como el período de quema de biomasa el comprendido entre los meses de agosto y octubre, ya que en el mes de noviembre los eventos de quema de biomasa son aislados en el tiempo.

Al analizar el resto de las longitudes de onda (340, 380, 440, 675, 870, 1020 y 1640 nm) para el mes de marzo (ANEXO N°17), se puede constatar que las clasificaciones y los porcentos por tipo de aerosoles son prácticamente los mismos que se describieron arriba para este mes. Solamente en el caso de las longitudes de onda más bajas (340 y 380 nm), aparece el tipo de aerosol *polvo*, pero estas longitudes de onda, al ser muy inferiores al tamaño promedio de las partículas analizadas, no se emplean para realizar el análisis del comportamiento de las mismas. Además, en el ANEXO N°18, para el mes de setiembre se evidencia mayor presencia del tipo quema de biomasa y *contaminado* en los 340, 380 y 440 nm; este último tipo va disminuyendo conforme aumenta la longitud de onda, llegando a desaparecer en 1020 y 1640 nm.

Este tipo de análisis se realizó para cada mes y para todas las longitudes de onda, solamente se muestran en este análisis y en los anexos, a modo de ejemplo, algunos de los meses más característicos.

En el año 2016 se evidencia, en general, un predominio de los tipos *marítimos* y *continentales* desde enero hasta junio. Sin embargo, en el mes de enero se encuentran algunos aerosoles relacionados con quema de biomasa como se muestra en la Figura 24 para la $\lambda = 500$ nm, donde el valor para el aerosol *marítimo* fue de 10.9%, *continental* de 87 %, *mezcla* con 0.9 % y *contaminado* con 1.3 %.

Figura 24: Clasificación de los aerosoles para el mes de enero de 2016 (izquierda) y los porcentos de presencia de cada uno de los tipos (derecha) para la longitud de onda de 500 nm.



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

En las otras longitudes de onda (340, 380, 440, 675, 870, 1020 y 1640 nm) se observa igualmente el predominio del tipo *continental*, sobre todo en las longitudes de onda más altas, seguido del tipo *marítimo*. A partir de 340 hasta 870 nm se presenta el tipo *mezcla*, para 380 y 340 nm se hace presente el tipo *polvo* y *contaminado* (ANEXO N°19).

A partir de los análisis realizados para cada uno de los meses dentro del período de estudio y atendiendo a la clasificación realizada, se analizó el comportamiento de los valores medios mensuales para cada tipo de los aerosoles clasificados. Este análisis se realizará en el siguiente epígrafe.

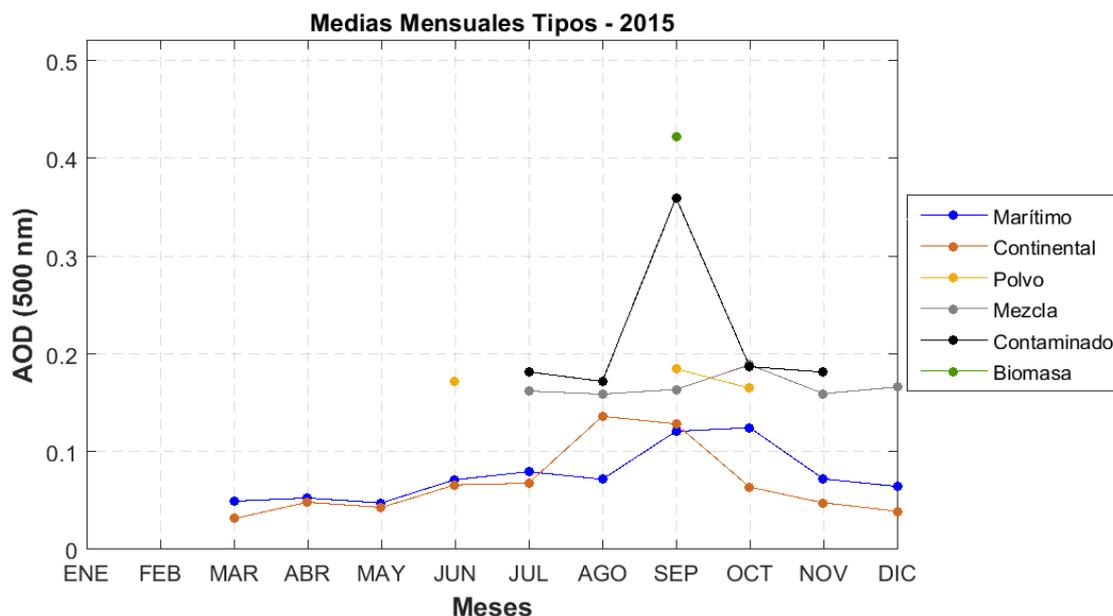
4.1.5. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIACIÓN MENSUAL POR TIPOS DE AEROSOLES ATMOSFÉRICOS

En este epígrafe se llevará a cabo el análisis de los valores medios mensuales del EOA para los tipos de aerosoles. No se ha realizado el análisis de las medias diarias por tipos debido a la dispersión de los días de acuerdo a las clasificaciones de los aerosoles. Un análisis de este tipo no aportaría gran información que contribuya a una mejor comprensión del comportamiento de los aerosoles.

En la Figura 25 se muestra el comportamiento mensual de los valores del EOA por tipos que se presentaron durante el año 2015, en la λ de 500 nm. Como se observa entre los meses de marzo y mayo solamente se encuentran aerosoles del tipo *continental* y *marítimo*, por lo que se puede plantear que estos son meses que corresponden a condiciones de fondo. En el mes de junio aparecen aerosoles del tipo *polvo* y a partir del mes de julio hasta noviembre se encuentran prácticamente todos los tipos de aerosoles.

Solamente en el mes de septiembre se reportan todos los tipos de aerosoles, incluyendo el tipo *biomasa*, con valores medios de EOA superiores a 0.4. También tiene valores altos en este mes el tipo *contaminado* (EOA > 3.5), este tipo de aerosol relacionado también con la quema de biomasa. En los meses de septiembre y octubre se encuentra también, además del mes de junio, el tipo *polvo*, que en todos los casos se encuentra con valores de EOA entre 0.17 y 0.190.

Figura 25: Medias mensuales del EOA por tipos en la longitud de onda de 500 nm del año 2015.



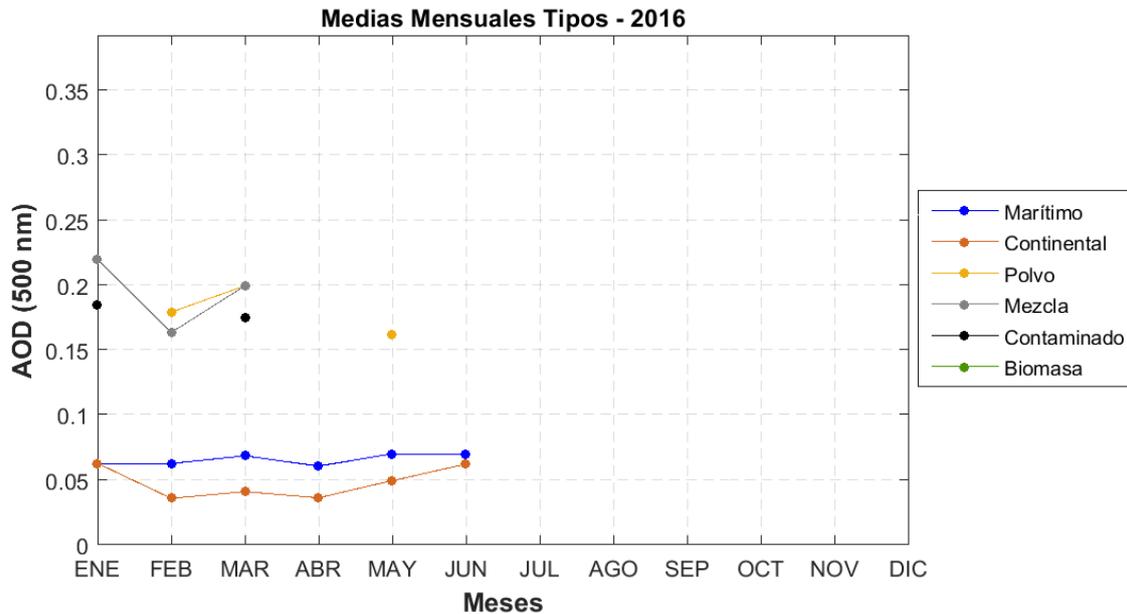
Fuente: Elaboración propia.

A partir del mes de julio y hasta diciembre se hace presente el tipo *mezcla*, siendo el mes de octubre donde este tipo de aerosol alcanza su máxima magnitud de EOA (0.189 ± 0.032), el mínimo de 0.159 ± 0.007 se registró en el mes de agosto. El tipo *contaminado* aparece por vez primera en el mes de julio y permanece hasta noviembre, pero es en el mes de septiembre cuando alcanza su máximo valor de EOA = 0.361 ± 0.005 y el mínimo sin embargo se encuentra en el mes de agosto con 0.172 ± 0.004 .

En el caso del año 2016 (Figura 26), desde el mes de enero a junio se hace evidente la presencia de aerosoles de tipo *marítimo* y *continental*, cuyo valor máximo para el caso del tipo *marítimo* se presenta en mayo con una magnitud de 0.070 ± 0.022 y el mínimo con EOA = 0.061 ± 0.017 se registra en el mes de abril. En el caso de los aerosoles *continentales*, el máximo registrado es de 0.063 ± 0.022 en el mes de junio, mientras que el mínimo valor de 0.036 ± 0.014 tuvo lugar en el mes de abril. Se registra el tipo *polvo* en los meses de febrero, marzo y mayo, cuyo valor más alto es de 0.2 ± 0.015 en marzo y el mínimo en mayo con una magnitud de 0.162 ± 0.0005 . La clasificación *mezcla* llega a un máximo de 0.22 ± 0.040 en el mes de enero y el mínimo de 0.164 ± 0.006 ocurrió en febrero. Los aerosoles del tipo *contaminado* se hacen presentes en los meses de enero y marzo, alcanzando el valor máximo de 0.185 ± 0.023 en el primero y

el mínimo de 0.175 ± 0.014 en marzo. En los meses analizados del año 2016 no se reportó el tipo de aerosol *biomasa*.

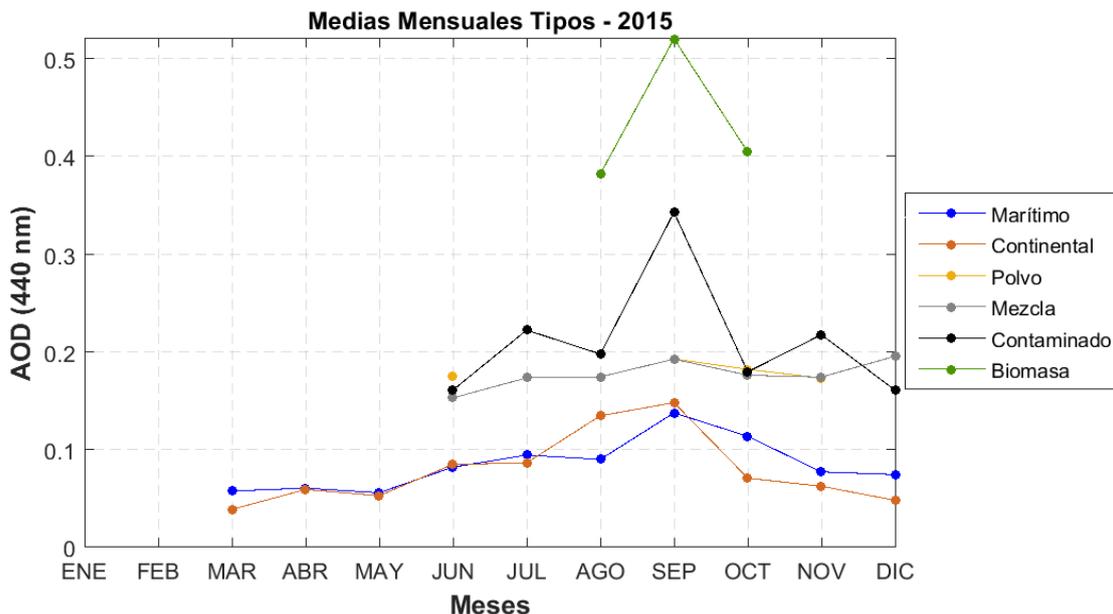
Figura 26: Medias mensuales del EOA por tipos en la longitud de onda de 500 nm del año 2016.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se presentan las medias mensuales del EOA por tipos que se presentaron durante el año 2015, en la λ de 440 nm. Al igual que en el caso de 500 nm, los meses de marzo a mayo solo se presentaron los tipos *continental* y *marítimo*, sin embargo, en esta longitud de onda el tipo *contaminado*, relacionado con la quema de biomasa comienza a presentarse desde el mes de junio, debido a eventos aislados de quema de biomasa que tuvieron lugar durante ese período.

Figura 27: Medias mensuales del EOA por tipos en la longitud de onda de 440 nm del año 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de aerosol mantuvo su presencia hasta diciembre en esta longitud de onda. El tipo *biomasa* aparece en el mes de agosto, donde ocurre el valor mínimo (0.382 ± 0.003), el máximo valor del tipo *biomasa* se registró en el mes de septiembre con una magnitud de 0.521 ± 0.008 , esta clasificación se mantuvo hasta el mes octubre.

El valor máximo del EOA medio mensual del tipo *marítimo* fue de 0.138 ± 0.020 y tuvo lugar en el mes de septiembre, mientras que el mínimo, con una magnitud de 0.056 ± 0.014 se presentó en el mes de mayo. En caso del tipo *continental*, el máximo ocurrió, con un valor de 0.148 ± 0.004 en el mes de septiembre y el mínimo (0.039 ± 0.011) se presentó en el mes de marzo. El aerosol tipo *polvo* se presentó en los meses de junio y desde septiembre hasta noviembre con el máximo localizado en el mes de septiembre (0.194 ± 0.030) y el mínimo en el mes de noviembre con un valor de 0.173 ± 0.0 . El tipo *mezcla* se presenta por primera vez en el mes de junio y permaneció hasta diciembre, con el máximo en el mes de septiembre (0.197 ± 0.016) y el mínimo (0.153 ± 0.0) en el mes de junio. El tipo *contaminado* también se presenta dentro de estos mismos meses, con el máximo registrado, al igual que el tipo *mezcla*, en el mes de septiembre pero con un valor

de 0.343 ± 0.001 y mínimo en este caso ocurrió en el mes de diciembre (0.161 ± 0.0)

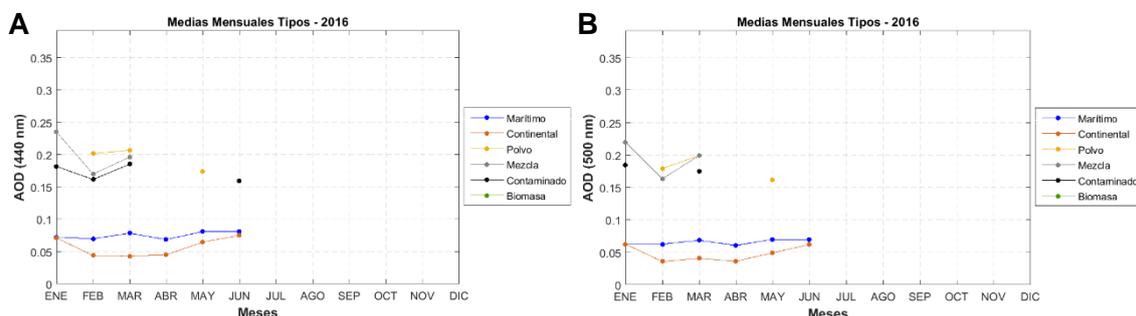
En las λ de 1640, 1020, 870, 675, 380 y 340 nm, también se hacen evidentes los aerosoles del tipo *marítimo* y *continental* de forma permanentes en todo el año, excepto en las dos últimas longitudes de onda (380 y 340 nm), donde en el mes septiembre no se registraron datos en ninguna de estas longitudes de onda. El tipo *contaminado* aparece en septiembre para 870 nm, en 675 nm se presenta de agosto a octubre, siendo septiembre el de mayor valor; en 380 y 340 nm se evidencia desde abril hasta agosto y de octubre hasta diciembre.

El tipo *mezcla* se presenta desde mayo hasta agosto y de octubre hasta diciembre para 380 nm, en el caso de 340 nm, entre abril y agosto, y entre octubre y diciembre. Los valores de quema de biomasa se observan en julio, agosto y octubre para 380 y 340 nm. También aparecen en noviembre para 340 nm, tal como se puede apreciar en el ANEXO N°25.

En el caso del año 2016, las longitudes de onda de 440 y 500 nm, tienen comportamientos prácticamente idénticos (Figura 28), con magnitudes muy similares. Los aerosoles de los tipos *continental* y *marítimo* tienen presencia en los 6 meses que conforman el año 2016 y sus comportamientos son prácticamente exactos, con magnitudes muy similares. Los tipos *polvo* y *mezcla*, se presentan en los mismos meses para ambas longitudes de onda, solamente el tipo *contaminado* tiene un comportamiento diferente para ambas longitudes de onda, en el caso de 440 nm este tipo se presenta en los meses de enero a marzo y aparece nuevamente en el mes de junio. En el caso de la longitud de onda de 500 nm este tipo de aerosol sólo se presenta en los meses de enero y marzo.

En las λ de 340, 380, 675, 870, 1020 y 1640 nm, se observa la presencia durante todo el período de los tipos *marítimos* y *continentales* desde enero hasta junio de 2016. Los tipos *mezcla* y *polvo* se presenta en todos los meses en las longitudes de onda más bajas, y por el contrario, permanece solamente, en el caso del tipo *polvo*, en el mes de mayo en las longitudes de ondas más altas. Por último el tipo *contaminado* se aprecia desde enero-marzo y mayo- junio para 380 y 340 nm y desaparece en las longitudes de ondas más altas (ANEXO N°27).

Figura 28: Medias mensuales del EOA por tipos en las longitudes de onda de 440 (a) y 500(b), para el año 2016.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE FONDO Y ESTABLECIMIENTO DE LA LÍNEA BASE

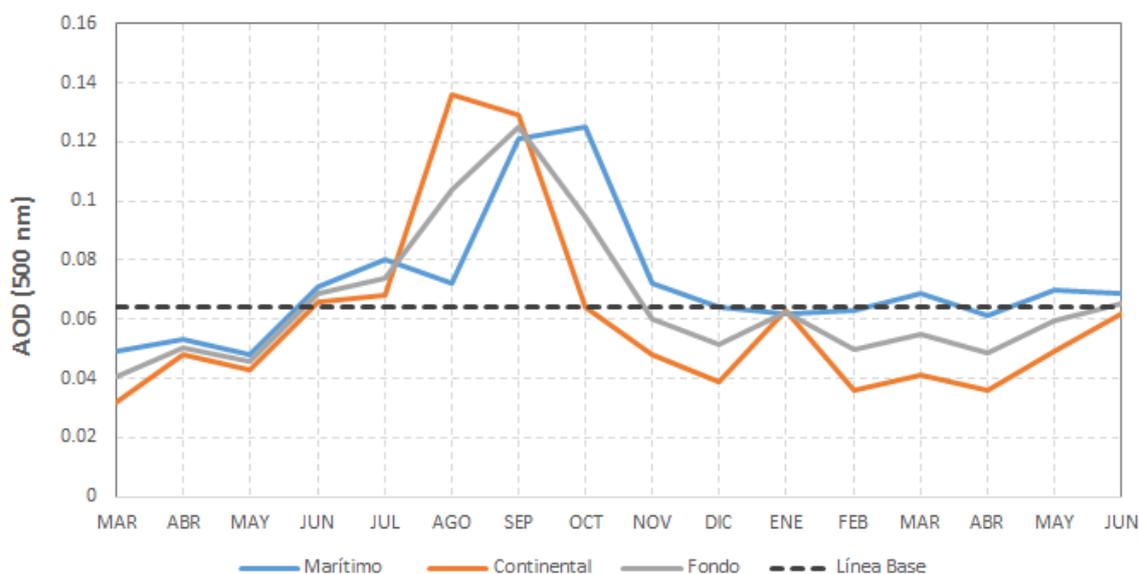
De acuerdo a lo planteado en (Finely dispersed aerosol and climate, 1982), se considera como de aerosoles de fondo al conjunto estadístico de estados y procesos que involucran partículas de aerosoles, de modo que su escala de tiempo característica se extiende a varias décadas (se excluyen periodos y áreas de perturbaciones severas debido a condiciones externas). Cuando se plantea que se excluirán períodos y áreas de perturbaciones severas, significa que deben ser extraídos de la data objeto de estudio, aquellas condiciones o eventos tales como: erupciones volcánicas, smog o humo generado por la actividad industrial, así como, desastres naturales severos (sequías, lluvias torrenciales, erupciones volcánicas intensas, etc.). Sin embargo, la medida de severidad de estos eventos puede ser considerada como “arbitraria”, por lo tanto, es importante tener en cuenta las condiciones o régimen climático promedio de una región o época específica. Por tal motivo, en el presente trabajo se considerará, como condiciones de fondo la presencia de aerosoles de tipo *continental* y *marítimo*, ya que ambos tipos de aerosoles no son generados por eventos extremos y porque, además, en las condiciones del Valle del Mantaro, estos permanecen todo el tiempo, como se ha evidenciado en epígrafes anteriores.

Para determinar las condiciones de fondo en la región de estudio se han calculado los valores medios del EOA a partir de las medias mensuales para los tipos *continental* y *marítimo*. De esta forma se han determinado los valores medios mensuales de fondo para cada mes del período analizado. Luego se ha calculado el valor medio del EOA empleando los valores medios mensuales de

fondo y este valor será considerado como la Línea Base de aerosoles para el Valle del Mantaro. Estos cálculos se han realizado tanto para la longitud de onda de 440 nm como para 500 nm.

En la Figura 29 se muestran los valores mensuales de fondo del EOA (línea gris) y la línea base del EOA (línea negra punteada), para el periodo de estudio, 2015-2016, en la λ de 500 nm. La línea base representa un valor constante el cual puede ser utilizado como umbral para determinar la ocurrencia o no de eventos perturbadores de las condiciones de fondo. El valor de la línea base para la longitud de onda de 500 nm es de 0.064.

Figura 29: Valores mensuales del fondo del EOA (curva gris) y Línea Base del EOA (línea negra punteada) para el periodo de estudio 2015-2016, en la longitud de onda de 500 nm.



Fuente: Elaboración propia.

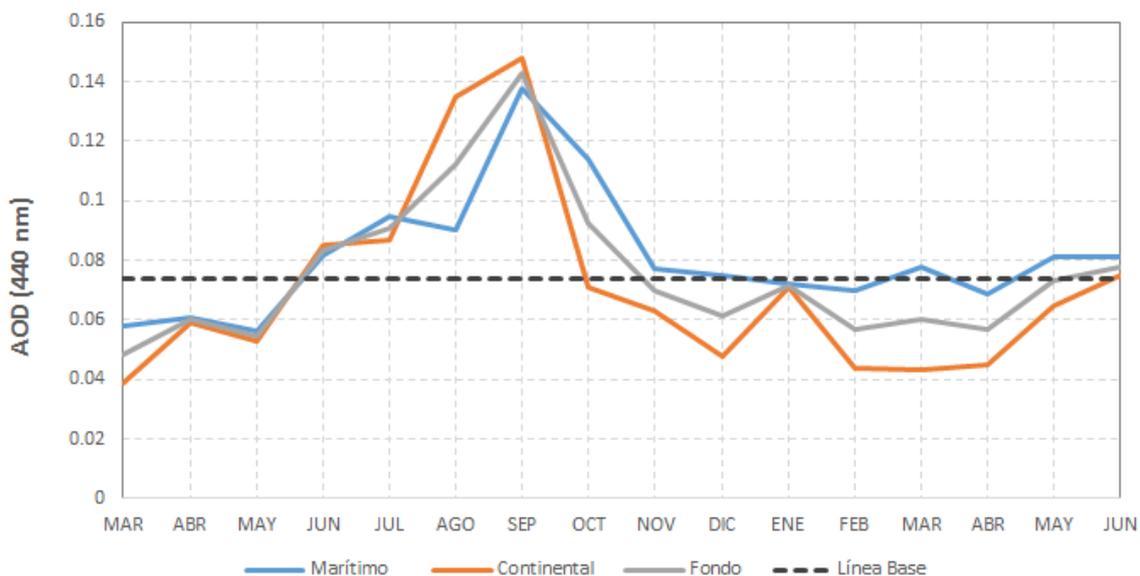
Los valores de los EOA de fondo, por meses se muestran en la Tabla 1, para la longitud de onda de 500 nm y para cada mes. Como se puede apreciar los valores más altos del fondo se encuentran entre los meses julio a octubre, resultando superiores al valor de la línea base. En el caso de los meses de marzo a junio, se ha calculado la media de estos meses para los dos años analizados. La última línea de la tabla es la que se consideraría como las condiciones de fondo para el período estudiado, ya que contempla el valor medio del fondo de los meses que se superponen en ambos años.

Tabla 1: Valores de los EOA de fondo en la longitud de onda de 500 nm, para el período analizado.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015			0.041	0.051	0.046	0.069	0.074	0.104	0.125	0.095	0.060	0.052
2016	0.063	0.050	0.055	0.049	0.060	0.066						
Fondo	0.063	0.050	0.048	0.050	0.053	0.068	0.074	0.104	0.125	0.095	0.060	0.052

En el caso de la longitud de onda de 440 nm, los valores de EOA de fondo por meses se representan en la Figura 30 y las magnitudes se muestran en la Tabla 2. Los valores en esta longitud de onda son, en general, algo superiores a los mostrados para $\lambda = 500$ nm y en ambos casos coincide que el máximo valor del EOA de fondo se encuentra en el mes de septiembre, seguido del mes de agosto. En esta longitud de onda el valor de la línea base es 0.074.

Figura 30: Valores mensuales del fondo del EOA (curva gris) y Línea Base del EOA (línea negra punteada) para el periodo de estudio 2015-2016, en la longitud de onda de 440 nm.



Fuente: Elaboración propia.

Coincide también, en ambas longitudes de onda, que el mínimo valor de fondo del EOA se registra en el mes de marzo, seguido del mes de febrero, no obstante, en el caso de la longitud de onda de 500 nm, el mes de febrero y el mes de abril tienen igual magnitud. Al igual que en el caso de la longitud de onda de 500 nm,

la última línea de la Tabla 2 representa los valores de fondo por meses para el período estudiado.

Tabla 2: Valores de los EOA de fondo en la longitud de onda de 440 nm, para el período analizado.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015			0.049	0.060	0.055	0.084	0.091	0.113	0.143	0.093	0.070	0.062
2016	0.072	0.057	0.061	0.057	0.073	0.078						
Fondo	0.072	0.057	0.055	0.059	0.064	0.081	0.091	0.113	0.143	0.093	0.070	0.062

4.1.7. ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO DE EOA

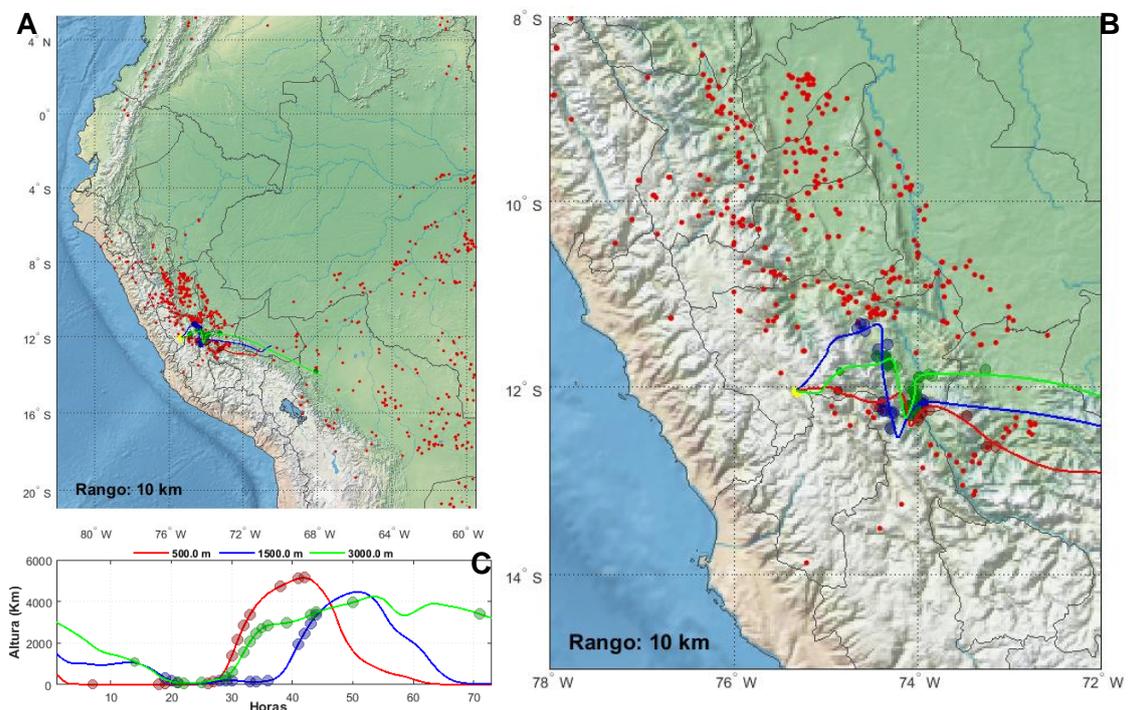
En los resultados de este trabajo se ha evidenciado que es en el mes de septiembre de 2015 donde se registran los mayores valores de EOA debido, como se ha explicado, a la presencia de aerosoles generados por la quema de biomasa, tanto en el Perú como en países vecinos. Es en este mes también donde se encuentran los seis subtipos de aerosoles, de acuerdo a la clasificación que se ha realizado. Por tal motivo se analizan en este epígrafe dos casos de eventos de aerosoles consecuencia de la quema de biomasa.

Como se abordó en reiteradas ocasiones en el Epígrafe 4.1.1, el día primero de septiembre tuvo lugar el máximo valor de EOA de todo el período que se ha analizado ($\lambda_{440} = 0.392$ y $\lambda_{500} = 0.316$). Estos altos valores de EOA deben estar asociados a alguno de los numerosos eventos de quema de biomasa que se registraron en ese período. Para demostrar el vínculo o no con incendios forestales se han empleado las salidas del modelo HYSPLIT y la información de focos de incendios descargadas del sitio ACRESP, ambas han sido combinadas con el fin de determinar si las trayectorias de las masas de aire coinciden con alguno de los focos de incendios registrados en esa fecha.

En la Figura 31 se representa el análisis de las retrotrayectorias en tres niveles de altura: 500, 1500 y 3000 metros, sobre el nivel de la superficie y los focos de incendios localizados en el área de estudio para el día primero de septiembre. Se empleó un criterio de coincidencia espacial de 10 km, entre las trayectorias y los focos de incendio, se tuvieron en cuenta, además, las emisiones de PM10 (Kg-PM10/día) generadas por cada uno de estos focos de incendio coincidentes. Los puntos rojos pequeños representan, en la figura, los focos de incendios

detectados para ese día pero que no coinciden con ninguna de las trayectorias. Los círculos mayores en rojo, azul y verde, corresponden a aquellos focos coincidentes, en torno a 10 km, con cada una de las trayectorias: 500 m (rojo), 1500 m (azul) y 3000 m (verde), el proceso de elaboración de las figuras se describe a partir del ANEXO N°28 al ANEXO N°33

Figura 31: Análisis conjunto de retrotrayectorias e información de focos de incendios, para el 1 de septiembre de 2015, 15:00 GMT, con el criterio de coincidencia espacial de 10 km, para toda la región de estudio (a), para la región Junín (b) y el comportamiento en el tiempo de los tres niveles de trayectorias (c).



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

Como se puede apreciar en la figura, son varios los focos de incendios que coinciden con las tres trayectorias, algunos de ellos coinciden, incluso, con más de una trayectoria. En la Figura 31a, se aprecia como en el caso de la trayectoria de 3000 m, esta tiene su origen en el norte de Bolivia donde existe coincidencia con unos de los focos allí existentes, como los identificados en La Paz, durante el mes de agosto de 2015, ver ANEXO N°52. Esto ha servido para corroborar los resultados obtenidos en otros estudios, en los cuales se han empleado modelos numéricos para simular el transporte de aerosoles y donde se afirma que existe una contribución tanto desde el norte de Bolivia como desde el oeste de Brasil a

la carga de aerosoles que es medida en el Valle del Mantaro (Moya, y otros, 2017). En la Figura 31b se aprecia de una mejor manera los focos coincidentes, localizados la gran mayoría en la región de Junín y otros en Ayacucho y Cusco; datos que son confirmados por los incendios forestales en dichas regiones; como en la región Junín, ver ANEXO N°47 y el ocurrido en el cerro Pícol, Cusco, ver ANEXO N°48.

En la Tabla 3 se muestran el número de focos coincidentes, así como, las emisiones promedios para cada nivel de altura. Como se puede apreciar la mayor cantidad de focos coincidentes se encuentran en la trayectoria de 3000 metros, sin embargo, es en la trayectoria de los 1500 metros donde se encuentra la mayor contribución de material particulado.

Tabla 3: Cantidad de focos coincidentes y sus emisiones promedio para el día 1 de septiembre a las 15:00 GMT.

Niveles (msnm)	Focos	Emisiones (Kg-PM10/día)
500 m	24	31964.22
1500 m	24	34277.36
3000 m	31	31755.76
Totales	79	97997.34

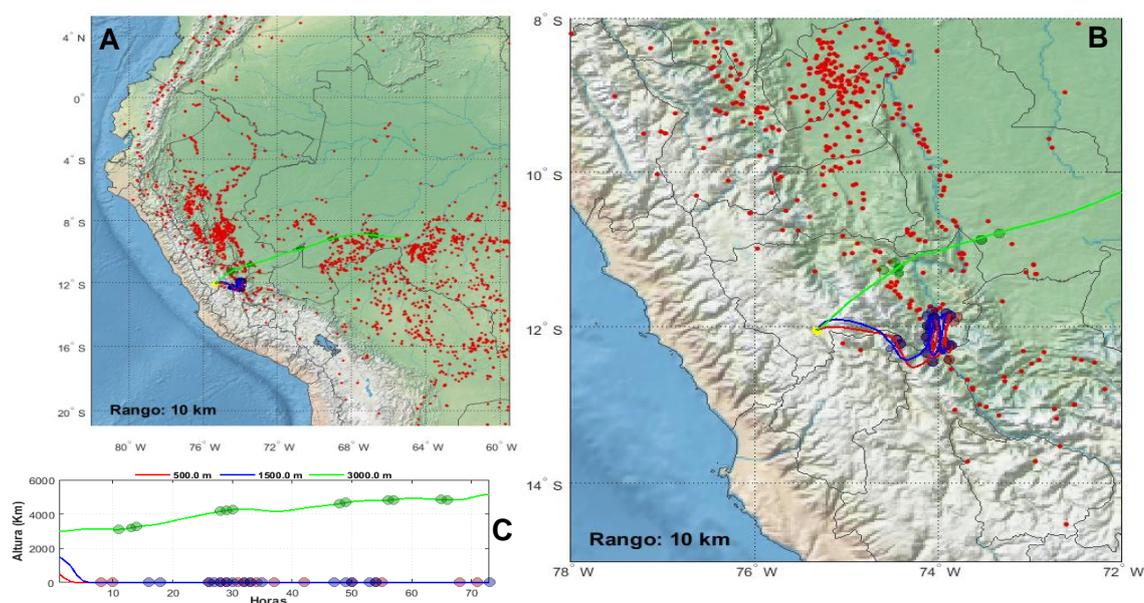
En la fecha del 16 de septiembre, específicamente en el horario de las 21:00 GMT, se registró un valor de EOA en 500 nm de 0.158, aunque este valor de EOA no es tan elevado como el caso analizado anteriormente, es importante analizar este día ya que contribuye a mostrar el aporte transfronterizo de aerosoles. En la Figura 32 se representan los focos de incendios correspondientes a este día y al igual que en el análisis de la figura anterior, los focos coincidentes con las trayectorias seleccionadas. En este caso, han coincidido para ambos niveles, 500 y 1500 metros sobre el nivel de la superficie, un gran número de focos. Otro detalle importante en estas dos trayectorias es que como se puede observar en la Figura 32c, estos dos niveles realizaron toda su trayectoria, durante las 72 horas, directamente sobre la superficie del suelo.

Los focos coincidentes con estas dos trayectorias estuvieron localizados prácticamente todos en la zona selvática de la región Junín, específicamente de

la provincia de Satipo (ANEXO N°47) y apenas algunos focos se localizaban en la región de Ayacucho, Cusco y Huancavelica. Como se puede apreciar en la Figura 32, estas dos trayectorias aportaron prácticamente el 78 % de todo el material particulado que fue registrado este día en el Observatorio de Huancayo.

En el caso de la trayectoria de 3000 metros se puede observar en la Figura 32a, que esta nace, 72 horas antes del registro en el Observatorio de Huancayo, en el oeste de Brasil; como los incendios registrados durante el año 2015, donde septiembre fue el mes crítico, sobre todo en la Región Amazónica; ver ANEXO N°53. En este caso se aprecia claramente que las masas de aire que tomaron esta trayectoria hasta el punto de medición, sobrepasaron varios focos de incendios ubicados en este país. No obstante, si se sigue esta trayectoria se puede observar que también sobrepasó focos de incendios generados en el propio Perú, específicamente en la región selvática de Ucayali (ANEXO N°54) y otros focos ubicados, al igual que para el caso anterior, en la provincia de Satipo, región de Junín.

Figura 32: Análisis conjunto de retrotrayectorias e información de focos de incendios, para el 16 de septiembre de 2015, 21:00 GMT, con el criterio de coincidencia espacial de 10 km, para toda la región de estudio (a), para la región Junín (b) y el comportamiento en el tiempo de los tres niveles de trayectorias (c).



Fuente: Elaborado por René Estevan. Arredondo

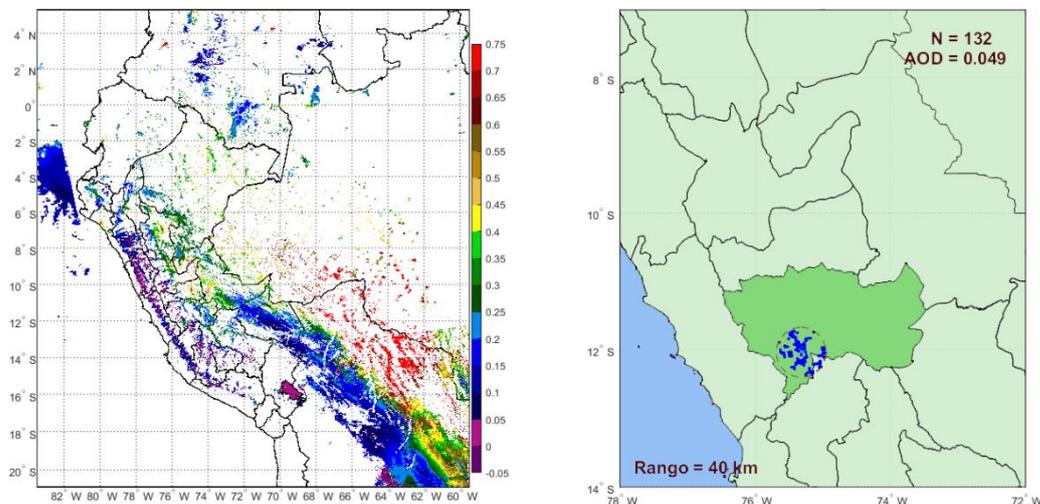
Al igual que en el caso anterior esto sirve, una vez más, para corroborar el transporte transfronterizo de aerosoles atmosféricos, originados en este caso sobre Brasil. Estos resultados coinciden con estudios previos (Suárez, y otros, 2006), donde se reporta que la quema de vegetación, originada en la amazonia peruana y en Brasil, así como, las quemadas locales, influyen en las concentraciones de aerosoles y contaminantes que afectan la región andina y en específico el Valle del Mantaro.

Tabla 4: Cantidad de focos coincidentes y sus emisiones promedio para el día 16 de septiembre a las 21:00 GMT.

Niveles (msnm)	Focos	Emisiones (Kg-PM10/día)
500 m	22	70833.45
1500 m	23	71254.62
3000 m	20	40652.97
Totales	65	182744.04

A diferencia del caso del 1 de septiembre, para esta última fecha analizada se cuenta con información satelital, específicamente con información del instrumento MODIS, tanto de Aqua como de Terra, con una resolución de 3 km., correspondiente a la colección 6, del día 16 de septiembre de 2015. A partir de esta información se decidió comparar las mediciones realizadas desde estos satélites con las realizadas en superficie. Para ello se establecieron los criterios de coincidencia tanto espacial como temporal, en el caso del primero se definió un radio de 40 km y en el caso del temporal 24 horas. En la Figura 33 se muestran los valores de EOA en la longitud de onda de 550 nm (panel izquierdo) medidos desde la plataforma Aqua, en el panel derecho se muestran las mediciones coincidentes de acuerdo al criterio anteriormente esbozado. Como se puede apreciar un total de 132 puntos de medición de MODIS coincidieron con los criterios de selección y al calcular la media del EOA de estos puntos su valor es de 0.049. Este valor es significativamente menor al registrado en superficie, esto concuerda con otros estudios (Antuña, y otros, 2012), donde se ha mostrado que ante la presencia de aerosoles, MODIS subestima los valores de EOA. El proceso de elaboración de las figuras se describe a partir del ANEXO N° 34 al ANEXO N°46.

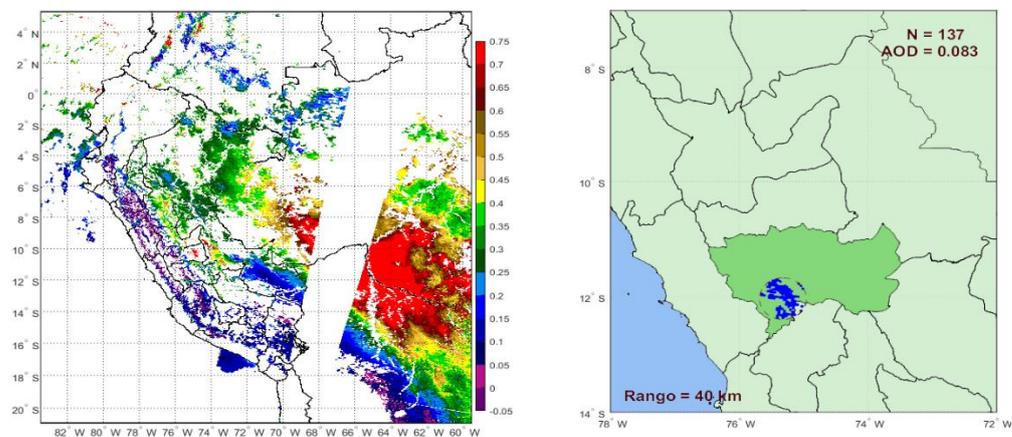
Figura 33: Espesor Óptico de Aerosoles (panel izquierdo) en la longitud de onda de 550 nm, medidos por MODIS-Aqua el día 16 de septiembre de 2015, y mediciones coincidentes con fotometría solar (panel derecho).



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

En la Figura 34 se muestra la misma información que en el caso anterior, pero en esta ocasión la correspondiente a la plataforma Terra. En este caso un total de 137 mediciones de MODIS resultaron coincidentes, cinco más que para Aqua. El valor medio de EOA calculado en este caso es de 0.083, superior al de la plataforma Aqua, pero aún, significativamente inferior al valor de EOA registrado en superficie, o sea, subestimando el valor de EOA.

Figura 34: Espesor Óptico de Aerosoles (panel izquierdo) en la longitud de onda de 550 nm, medidos por MODIS-Terra el día 16 de septiembre de 2015, y mediciones coincidentes con fotometría solar (panel derecho).



Fuente: Elaborado por René Estevan Arredondo.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La variación mensual del EOA se mantuvo a un nivel bajo para enero, febrero y marzo, a partir de abril, mayo y junio los valores aumentan progresivamente. En los meses a partir de julio hasta septiembre siguen aumentando los valores, llegando a su máximo valor en este último mes. Posteriormente de octubre a diciembre los valores disminuyen. En los resultados reportados por Rojas A., y otros (2009) en los meses de enero, febrero y marzo ocurre lo contrario a los resultados aquí obtenidos pues en estos meses el espesor óptico aumenta. Lo contrario ocurre también en los meses de abril, mayo y junio donde el EOA disminuye. En el resto de los meses (julio, agosto y septiembre, y octubre, noviembre y diciembre) el comportamiento del EOA es igual al mostrado en esta investigación.

En la temporada seca, es decir, entre agosto y noviembre del periodo de estudio del trabajo realizado por Rojas y otros (2015), se observaron valores altos del EOA, comportamiento comparable con los altos valores de agosto a noviembre, obtenidos en nuestro trabajo. Por su parte Suarez, y otros (2006) llegaron a la conclusión que los meses de mayor presencia de EOA fueron los comprendidos entre agosto y noviembre, consistente también con los resultados aquí alcanzados.

Según Vivanco (2014), en primavera y verano se experimentan incrementos del EOA, en tanto una disminución en otoño e invierno; caso que difiere con respecto a los resultados obtenidos en este trabajo para las estaciones del año. En el período invernal existe un claro incremento, que alcanza hasta la primavera, mientras que en el verano se experimenta una disminución. En el mismo artículo se menciona que a partir de abril-junio los valores disminuyen, contrario a lo ocurrido en este estudio, en los cuales el EOA aumentó. Esta diferencia puede estar relacionada con los métodos de obtención de los datos, ya que en el mencionado trabajo se utilizaron datos de MODIS, sensor que se encuentra a bordo de un satélite, mientras que los datos empleados en este trabajo, correspondientes a AERONET, son datos puntuales medidos en superficie.

En el estudio de Vivanco (2014), desde julio a septiembre se observa un incremento, siendo el mes de septiembre el máximo valor alcanzado, seguido de la disminución en los meses de octubre a diciembre y el ligero aumento en los meses de enero a marzo, resultados que coinciden con los aquí obtenidos. Se menciona también que en invierno y otoño se observan aumentos periódicos del Índice de Aerosoles y una disminución en primavera y verano; comportamiento que se relaciona con el análisis estacional obtenido en este trabajo.

En la presente investigación se ha corroborado lo que otros investigadores habían presentado sobre el hecho de que la quema de vegetación generadas en la amazonia peruana y en Brasil, así como, las quemas locales, influyen en las concentraciones de aerosoles y contaminantes que afectan la región andina, debido al transporte de estos (Suárez, y otros, 2006), además de la contribución de Bolivia a nuestro territorio (Moya, y otros, 2017). Al igual que en el estudio de estos autores, en este trabajo, se ha determinado que en el mes de septiembre se registra mayor contaminación y focos de incendio por quemas de vegetación en la región amazónica de Brasil. Los resultados aquí obtenidos coinciden con lo mencionado por Piñas (2015), sobre el hecho de que la quema de biomasa se concentra en la época de sequía, abarcando desde junio a noviembre.

En las Figuras 14 y 15 se puede observar en las medias mensuales del EOA, durante el periodo de estudio, que los valores de estas disminuyen a medida que aumentan las longitudes de onda; similar a lo reportado por Ángeles (2013).

Los resultados obtenidos de la comparación de los datos de EOA registrados en superficie por un fotómetro solar y los registrados desde plataformas satelitales con el instrumento MODIS, arrojan que MODIS subestima los valores de EOA cuando existen grandes concentraciones de aerosoles, resultados consistentes con los obtenidos por otros investigadores (Antuña, y otros, 2012), (Kim, y otros, 2012) y (Papadimas, y otros, 2009).

CONCLUSIONES

1. Para el presente estudio se empleó información de Espesor Óptico de Aerosoles y Parámetro de Angstrom generada por la plataforma AERONET, correspondiente al Nivel 2.0 de calidad. Esta información se deriva de mediciones realizadas por el fotómetro solar CIMEL CE-318T, instalado en el Observatorio de Huancayo y correspondieron al período comprendido entre el 19 de marzo de 2015 y el 21 de junio de 2016. A partir de estos datos se realizó la caracterización diaria, mensual y estacional del Espesor Óptico de Aerosoles
2. Las medias diarias del EOA entre los meses de marzo a junio de 2015 reflejan un período de fondo, cuyos valores se encuentran en torno a 0.08. Sin embargo, a partir de finales de julio ocurre un incremento, a consecuencia del aumento de las concentraciones de material particulado, originado por las quemadas de biomasa. El máximo valor medio del EOA se registró el 1 de septiembre de 2015, con una magnitud en la longitud de onda de 500 nanómetros de $\lambda_{500} = 0.316 \pm 0.073$ y en la longitud de onda de 400 nanómetros de $\lambda_{440} = 0.392 \pm 0.089$, los cuales presentan una variación típica de 23.14 % y 22.69%, respectivamente. El menor valor registrado fue el 25 de diciembre de 2015 con una magnitud de 0.011 ± 0.005 (500 nm) en la longitud de onda de 500 nanómetros y 0.015 ± 0.006 (440 nm) en la longitud de onda de 440 nanómetros, con una variación de 40.87 % y 39.47%; respectivamente. En el caso del año 2016, los valores máximos se registraron el 6 de marzo, $\lambda_{500} = 0.198 \pm 0.023$ (11.60%) y el 31 de enero $\lambda_{440} = 0.241 \pm 0.030$ (12.58%). Los valores mínimos tuvieron lugar el 8 de marzo para las dos longitudes de ondas analizadas, $\lambda_{500} = 0.015 \pm 0.003$ (20.94%) y $\lambda_{440} = 0.019 \pm 0.003$ (14.74%).
3. Del análisis de las medias mensuales del EOA se ha podido determinar que el período de quema de biomasa se encuentra entre los meses de agosto a octubre de 2015. En este período se registran los mayores valores de las medias mensuales, siendo el mes de septiembre el de mayor valor registrado en la longitud de onda de 500 nanómetros con $\lambda_{500} = 0.128 \pm 0.054$, cuyo porcentaje de variación es 42.62% y en la longitud de onda de 440 nanómetros con el valor y variación típica de $\lambda_{440} = 0.159 \pm 0.067$ (41.97%). Las medias mínimas se registraron en el mes diciembre 2015 con $\lambda_{500} = 0.038 \pm 0.022$ (59.69%) y $\lambda_{440} = 0.047 \pm 0.027$ (57.87%). Para el año 2016, el máximo valor es $\lambda_{500} = 0.066 \pm 0.042$ (64.23%) para 500 nanómetros y $\lambda_{440} = 0.080 \pm 0.051$ (63.81%) para 440

nanómetros el mes de enero; y el mínimo correspondió al mes de abril con $\lambda_{500} = 0.041 \pm 0.016$ (38.98 %) y $\lambda_{440} = 0.049 \pm 0.018$ (37.01%).

4. El comportamiento estacional del EOA muestra períodos de “calma” o bajas concentraciones de aerosoles en otoño y verano, con valores entorno a los 0.05 para ambas longitudes de onda de 440 y 500 nanómetros. Mientras, los períodos de alta carga de aerosoles es invierno y primavera. En el caso de esta última, podría parecer contradictorio ya que los acumulados de lluvia comienzan a ser significativos, pero todo parece indicar que, en el primer mes de esta estación; específicamente en el mes de septiembre; el efecto de las lluvias no es aún significativo sobre la vegetación, que se encuentra bien afectada luego de un notable período seco.
5. El análisis de las medias mensuales del EOA según los tipos de aerosoles, evidencia la presencia de los tipos marítimo y continental en todos los meses del período analizado. Por esta razón, estos aerosoles son considerados como los de fondo. Es significativo el hecho de que a partir del mes de julio hasta el mes de noviembre, en el año 2015, se presenta el tipo contaminado, relacionado este con aerosoles generados de la quema de biomasa. Es en el mes de septiembre cuando aparece el tipo de aerosol de quema de biomasa en la longitud de onda de 500 nm; en el caso de la longitud de onda de 440 nm, este tipo de aerosol se encuentra en los meses de agosto a octubre, coincidiendo con el que ha sido definido aquí como período de quema de biomasa.
6. El cálculo de los valores de fondo para cada mes, en el periodo de estudio, para las longitudes de onda de 440 y 500 nm, hizo posible conocer cuál es el estado normal de concentraciones de aerosoles atmosféricos; así como el determinar el valor de la línea base; cuyo valor es de 0.064 ($\lambda = 500$ nm) y 0.074 ($\lambda = 440$); lo cual nos indica la existencia de eventos que perturbaron las condiciones de fondo, si se sobrepasan estos valores.
7. El análisis de los casos de estudios aquí presentados ha permitido corroborar que los aerosoles que han sido clasificados como contaminados o biomasa, son efectivamente consecuencia de incendios forestales. A su vez, el análisis de estos casos reafirma lo que en estudios anteriores realizados en la región, ya se afirmaba; sobre el hecho que parte de los aerosoles que son medidos en el Valle del Mantaro, provienen no solo de las quemadas en el Perú; como los 3911 incendios forestales registrados en la región Junín en el año 2015, ANEXO N°47; y en la

región de Cusco, ver ANEXO N°48; entre otros. Además que existe contribución, debido al transporte transfronterizo de material particulado, tanto del oeste de Brasil como del norte de Bolivia.

RECOMENDACIONES

1. La Red Robótica de Aerosoles (AERONET), es una red de sensado remoto que brinda datos sobre las propiedades microfísicas, ópticas y radiativas de los aerosoles, así como del vapor de agua y ozono; lo cual permite ejecutar investigaciones que puedan validar información satelital.
2. El estudio demostró que el periodo de mayores valores medios de mensuales se registran de agosto a octubre de 2015, siendo septiembre el mes de mayor magnitud de EOA, causado principalmente por la quema de biomasa, característico de la quema de restos agrícolas. Por ende las autoridades competentes deberían tomar cartas en el asunto y promover acciones concretas para cambiar este panorama; porque no solo provoca daños al medio ambiente, sino que además afecta el rendimiento agrícola del suelo; que a largo plazo generará pérdidas de suelos así como económicas.
3. Los resultados de este estudio considera que los periodos de alta carga de aerosoles son invierno y primavera, siendo el primero el de mayor focos de incendios registrados tanto para 2015 y 2016, para este trabajo se utilizó datos procedentes de la red AERONET de un tiempo de un poco más de un año, corroborando la información con datos satelitales y noticias de eventos ocurridos. Se recomienda aumentar la base de datos para que la climatología sea más consistente; y a partir de ello generar más investigaciones.
4. Esta investigación, evidencia la presencia de los tipos de aerosoles marítimos y continental en todos los meses del periodo analizado; por lo que estos tipos son considerados como aerosoles de fondo, La determinación de valores de fondo así como la Línea Base de EOA, permitirá en un futuro poder determinar, a partir de estos valores umbrales, cuando se está en presencia de un evento de aerosoles, como los tipos descritos en este trabajo; ya sea contaminados, mezcla, procedentes de la quema de biomasa y polvo.
5. Se debe hacer un análisis detallado respecto a la contaminación del aire, no solo considerando la presencia de agentes procedentes de la actividad en la región o del país; sino que además la contribución del existente transporte transfronterizo de material particulado de países como Brasil y Bolivia; cuyo resultado fue corroborado en esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERONET. 2016. Aerosol Robotic Network. [En línea] Goddard Space Flight Center, 2016. [Citado el: 23 de 5 de 2016.] <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>.
- Almeida, Andréa Dartes. 2005. *Propriedades ópticas das partículas de aerossol e uma nova metodologia para a obtenção de espessura óptica via satélite sobre São Paulo*. Física Aplicada, Universidade de São Paulo-Instituto de Física. São Paulo-Brasil : Servicio de Biblioteca e Informação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2005. págs. 165-168, Tese de doutorado. USP/IF/SBI-34/2005.
- Ángeles, Julio. 2013. *Determinación del espesor óptico de aerosol en la Estación Antártica Peruana Machu Picchu*. Dirección de investigación de la Universidad Continental., Universidad Continental. Huancayo : Apuntes de Ciencia & Sociedad, 2013, vol. 3, no 1., 2013. pág. 1, Tesis de Grado.
- Antuña, Juan Carlos, y otros. 2012. *Characterizing aerosol optical depth measurements and forecast of Saharan dust events at Camagüey, Cuba, during July 2009*. 2012. págs. 415-421.
- Arroyo A., Jacinto. 2011. *Tendencias y cambio del Clima del valle del Mantaro mediante los análisis de índices de Precipitación Efectiva y Temperatura Efectiva*. Instituto Geofísico del Perú. Huancayo : Revista de Apuntes de Ciencia y Sociedad, 2011. pág. 48, Artículo de investigación. Vol. 1, Núm. 1.
- Bluth, J. S., y otros. 1992. *Global tracking of the SO2 clouds from the June, 1991 Mount Pinatubo eruptions* *Geophys. s.l. : Res.lett.*, 1992. pág. 151.
- Caracterización de aerosoles por quema de biomasa en el sureste de México*. Cortés H., Virginia Edith. 2014. 1, Morelos-México : redalyc.org, 02 de 2014, Tecnología y Ciencias del Agua., Vol. V, págs. 5-6. 0187-8336.
- Characterization of tropospheric aerosols over the oceans with the NOAA advanced very high resolution radiometer optical thickness operational product*. Husar, Rudolf B., Prosper, Joseph M. y Stowe, Larry L. 1997. NO. D14, EE.UU. : s.n., 27 de Julio de 1997, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, págs. 16,889-16,909.
- Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels*. Andreae, Meinrat O. 1995. s.l. : ResearchGate, 1995, *World survey of climatology*, Vol. 16, págs. 347-398.
- Diario Correo. 2015. China: Imágenes revelan el nivel alarmante de contaminación atmosférica. [En línea] 09 de Noviembre de 2015. [Citado el: 09 de 04 de 2016.] <http://diariocorreo.pe/mundo/china-imagenes-revelan-el-nivel-alarmante-de-contaminacion-atmosferica-video-631630/>.
- Díaz, Ana María. 2006. *Caracterización de los aerosoles atmosféricos y su influencia en los niveles de radiación UV en la región de Canarias*. Canarias : Servicio de Publicaciones- Univerisdad de la Laguna, 2006. págs. 19; 31-35;233-237, Tesis Doctoral. 84-7756-701-8.
- Draxler, R. R. 1999. *HYSPLIT_4 USER'S GUIDE*. Maryland : NOAA Technical Memorandum, 1999. ARL-230.

- Draxler, R. R. y HESS, G. D. 1998. *An Overview of the HYSPLIT_4 Modeling System for Trajectories, Dispersion, and Deposition*. s.l. : Australian Meteorological Magazine, 1998.
- Draxler, R. R. y Hess, G. D. 1997. *Description of the HYSPLIT_4 modeling system*. ERL-ARL, NOAA. Maryland : Silver Spring, 1997. ARL-224.
- Dubovick, Oleg, y otros. 2002. *Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations*. 2002. págs. 590-608.
- Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar-Universidad del País Vasco. 2011. Energías Renovables . *Transformada rápida de Fourier*. [En línea] 10 de 01 de 2011. [Citado el: 10 de 06 de 2016.] http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/MATLAB/datos/fourier/fourier_1.html.
- Expósito, Francisco Javier. 1999. *Determinación del espesor óptico de aerosoles mediante técnicas de teledetección en la región de Canarias*. Departamento De Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas., Universidad de La Laguna. La Laguna : s.n., 1999. págs. 56; 272-275, Tesis Doctoral.
- Finely dispersed aerosol and climate*. Rozenberg, G. V. 1982. s.l. : Izv. AN SSR, Fizika atmosfery i okeana, 1982, Bulletin of the USSR Academy of Sciences, physics of the atmosphere and ocean, Vol. 18, págs. 1192-1198.
- Holben, B. N., y otros. 2001. *An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET*. 2001. págs. 12067–12097.
- HYSPLIT. 2016. Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. [En línea] ARL, 2016. [Citado el: 23 de 5 de 2016.] <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>.
- Jackson, Amanda. 2016. CNNespañol. [En línea] 04 de 05 de 2016. [Citado el: 05 de 05 de 2016.] <http://cnnespanol.cnn.com/2016/05/04/un-incendio-forestal-obliga-a-evacuar-a-toda-una-ciudad-en-canada/>.
- Kim, J, y otros. 2012. *Improvement of aerosol optical depth retrieval from MODIS spectral reflectance over the global ocean using new aerosol models archived from AERONET inversion data and tri-axial ellipsoidal dust database*. 2012. págs. 7087-7102.
- LAADS. 2016. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS). [En línea] GSFC, NASA, 2016. <https://ladsweb.nascom.nasa.gov/index.html>.
- Light Scattering by Small Particles*. Van de Hulst, H.C. 1957. New York : Wiley, 1957.
- Liou, Kuo Nan. 1980. *An Introduction to Atmospheric Radiation*. s.l. : Academic Press, 1980. 0124514502, 9780124514508/0074-6142.
- Los aerosoles atmosféricos y su influencia en la Península Ibérica. Manual Formativo*. Toledano O., Carlos. 2008. 48, 2008, La revista de ACTA, págs. 9-20.
- Mielnicki, Diana, y otros. 2005. *La Quema de Biomasa en Sudamérica Vista Desde el Espacio*. En Anales IX Congreso Argentino de Meteorología; Universidad Católica Argentina y University of Toronto - Canada. Buenos Aires- Argentina : s.n., 2005. págs. 6-7.

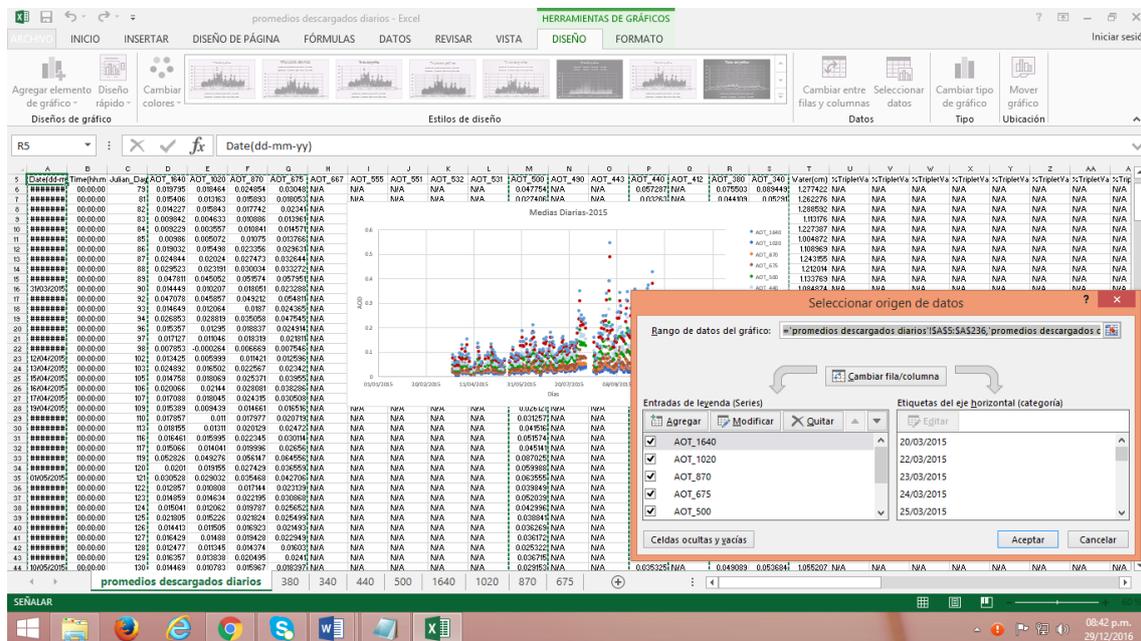
- Moya, Aldo Saturnino, Estevan, René y Yuli, Ricardo Angel. 2017. *Determinación de la presencia de partículas PM10 en Perú, producidas por quema de biomasa con ayuda de modelos numéricos*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Huancayo-Junín : s.n., 2017. págs. 99-108.
- On the optical thickness in the UV range: Analysis of the ground-based data taken at Belsk, Poland*. Jaroslowski, Janusz, y otros. 2003. D23, 2003, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 108.
- Optical Properties of Aerosols and Clouds: The Software Package OPAC*. Hess, M., Koepke, P. y Schult, I. 1998. 5, 1998, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79, págs. 831-844.
- . Hess, M., Koepke, P. y Schult, I. 1998. 5, s.l. : Bulletin of the American Meteorological Society, 29 de 01 de 1998, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79, págs. 840-842.
- Optical Properties of Atmospheric Aerosol in Maritime Environments*. Smirnov, Alexander, y otros. 2002. s.l. : J. Atm. Sci., 2002, Vol. 59, págs. 501-523.
- Papadimas, C D, y otros. *Collections C005 and C004 aerosol optical depth products over the Mediterranean basin*. págs. 2987-2999.
- Piñas, Pamela. 2015. *Modelos e Instrumentos para estudios sobre espesor óptico de aerosoles y su relación con el forzamiento radiativo terrestre*. Dirección de Investigación, Universidad Continental. Huancayo : Apuntes de Ciencia y Sociedad, 2015; Vol. 5, Núm. 2, 2015. pág. 1, Tesis de Grado.
- Rojas A., Joel, Vargas G., Penpélope y Carrillo G., Flavio. 2009. *Variabilidad Espacial y Temporal del Espesor Óptico de los Aerosoles sobre Perú usando Imágenes de Satélite*. FCF, Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM. Lima : s.n., 2009. pág. 1, tesis de grado. Este trabajo ha sido financiado por el programa INCAGRO del Ministerio de Agricultura en los años 2007-2009. este artículo a codcido a la licenciatura de física de Sra. Penelope Varagas G. en la UNMSM en 2009.
- Rojas, Noelia y Rojas, Joel. 2015. *Estudio de la dinámica del espesor óptico de los aerosoles en Perú y América del Sur a partir de las imágenes MODIS de los satélites TERRA y AQUA en el periodo 2000-2013*. Revista de Investigación de Física., Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú : s.n., 2015. pág. 1. 151801401.
- Schmaltz, Jeff. 2016. *Espectrómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS)*. [En línea] NASA GSFC, 05 de 05 de 2016. [Citado el: 09 de 05 de 2016.] http://modis.gsfc.nasa.gov/gallery/individual.php?db_date=2016-05-09#.
- Suárez, Luis, y otros. 2006. *Estudios de la Variación Estacional de Ozono troposferico y Aerosoles del Perú relacionado a las quemas de veegtación en la Amazonía*. Mosaico Cient, 2006, vol. 3, no 2, p. 36-41. Huancayo : s.n., 2006. pág. 1, Investigación.
- Toledano, Carlos. 2005. *Climatología de los aerosoles mediante la caracterizacion de propiedades ópticas y masa de aire en al estacion " El Arenosillo" de la red AERONET*. Departamento de Física Teórica, Atómica y Óptica, Universidad de Valladolid.

Valladolid : s.n., 2005. págs. 16-17, Tesis Doctoral. Este trabajo ha sido realizado en el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid.

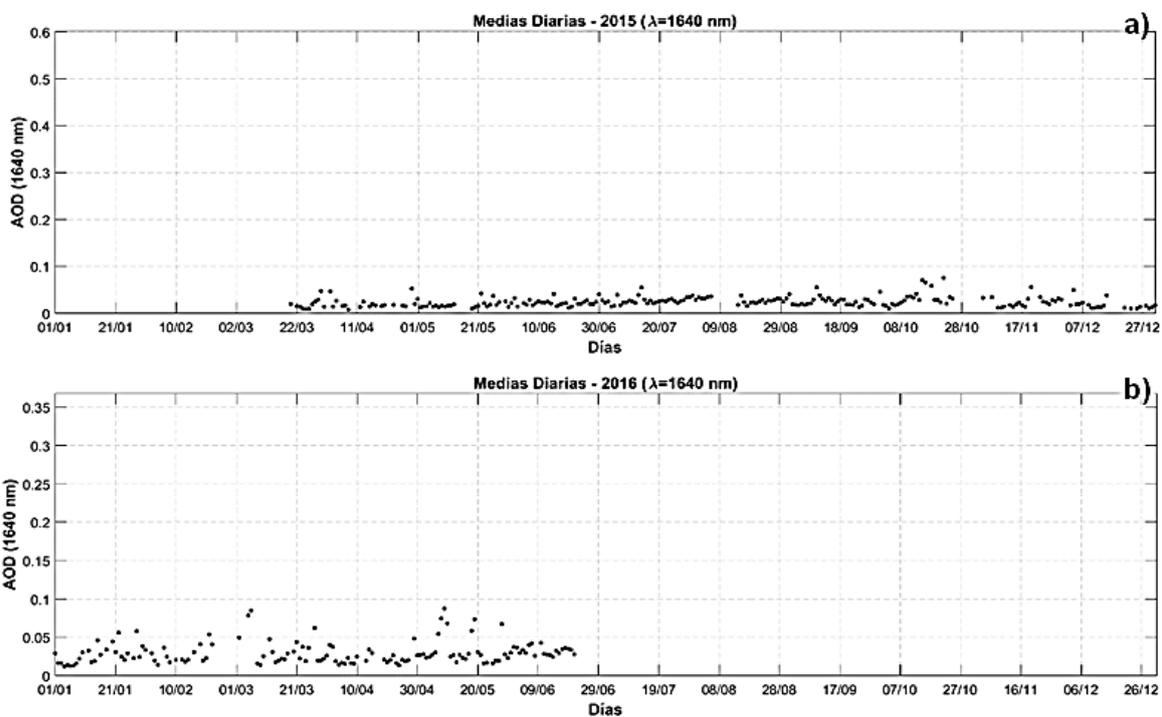
Vivanco, Sthefany. 2014. *Variabilidad Temporal de Aerosoles Atmosféricos en Huancayo*. Universidad Continental. Huancayo : Apuntes de Ciencia y Sociedad, 2014, Vol. 4, Núm. 1, 2014. pág. 1, Tesis de Grado.

ANEXOS

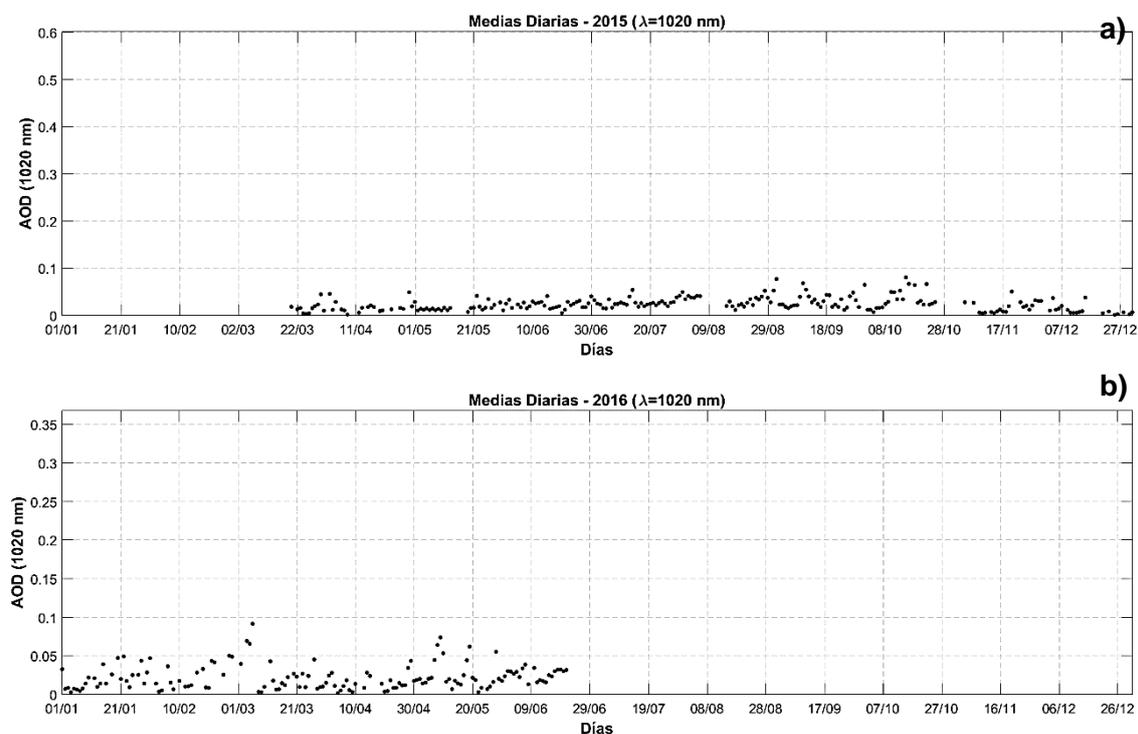
ANEXO N° 1: Proceso de obtención de la caracterización de las medias diarias del Espesor Óptico de Aerosoles a partir de la longitud de onda de 1640 nm hasta 340 nm, año 2015.



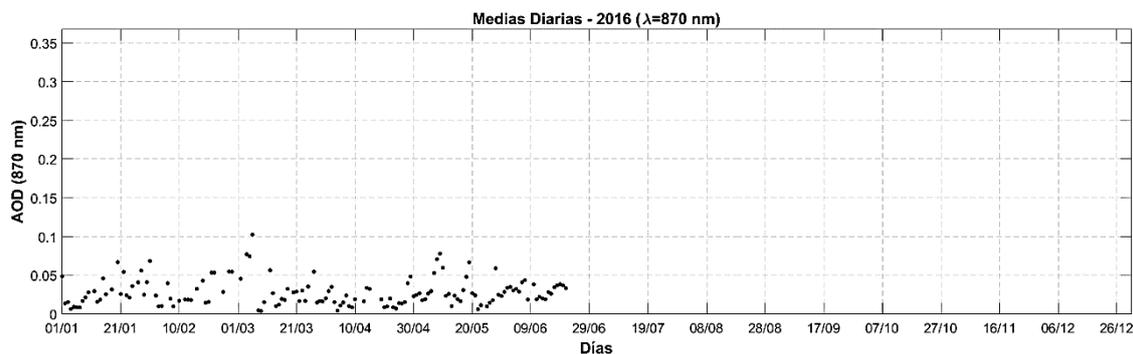
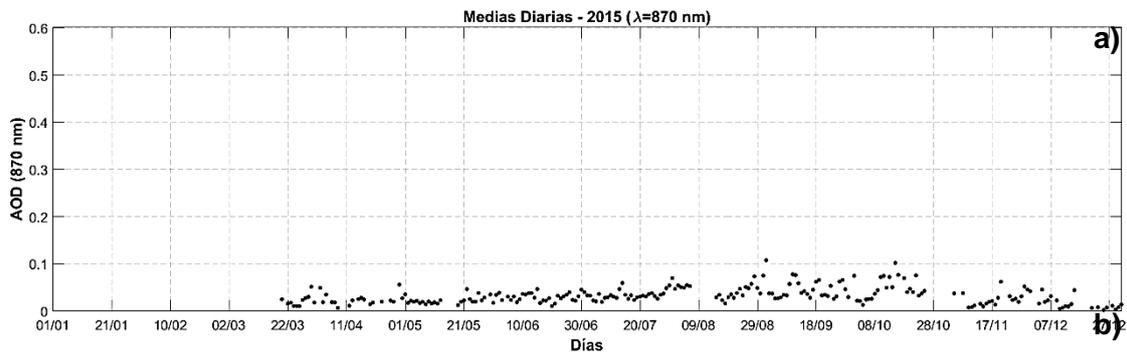
ANEXO N° 2: Medias diarias del espesor óptico de aerosoles en la longitud de onda de 1640 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b)



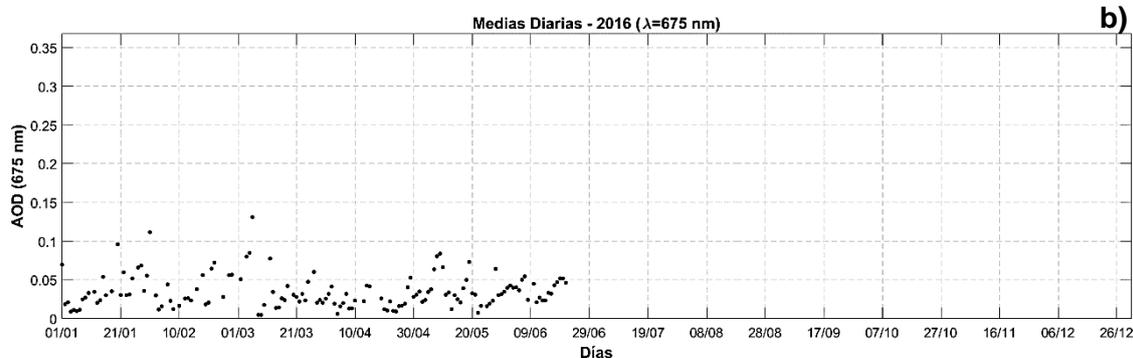
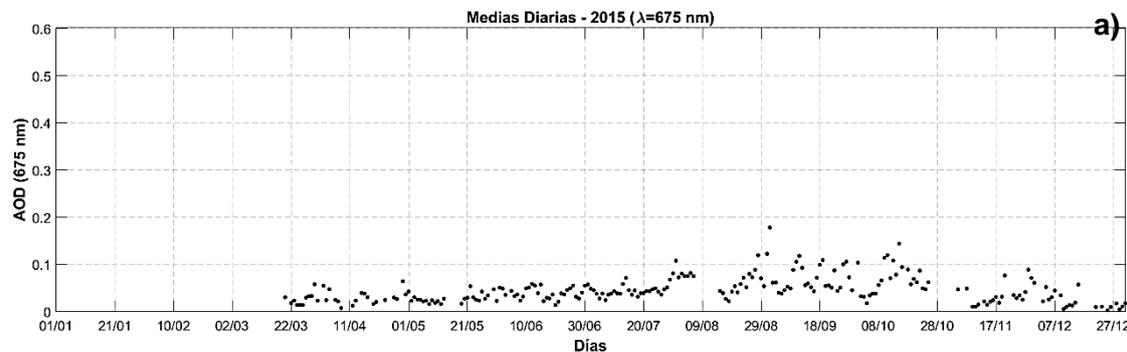
ANEXO N° 3: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 1020 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).



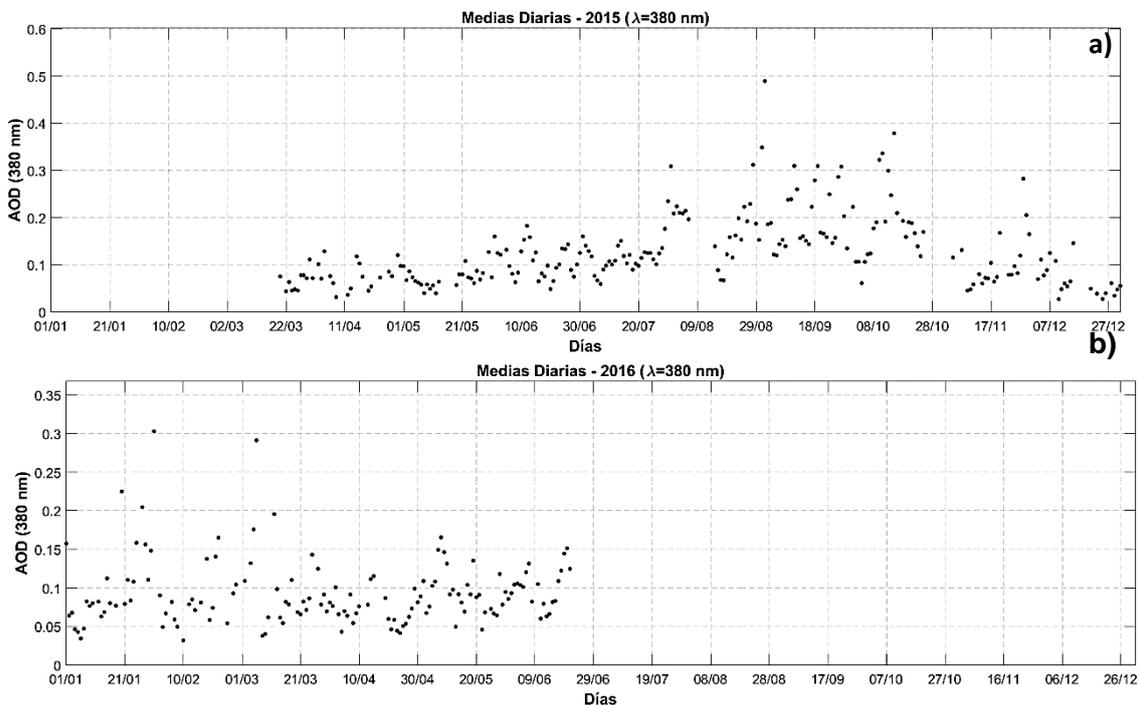
ANEXO N° 4: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 870 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).



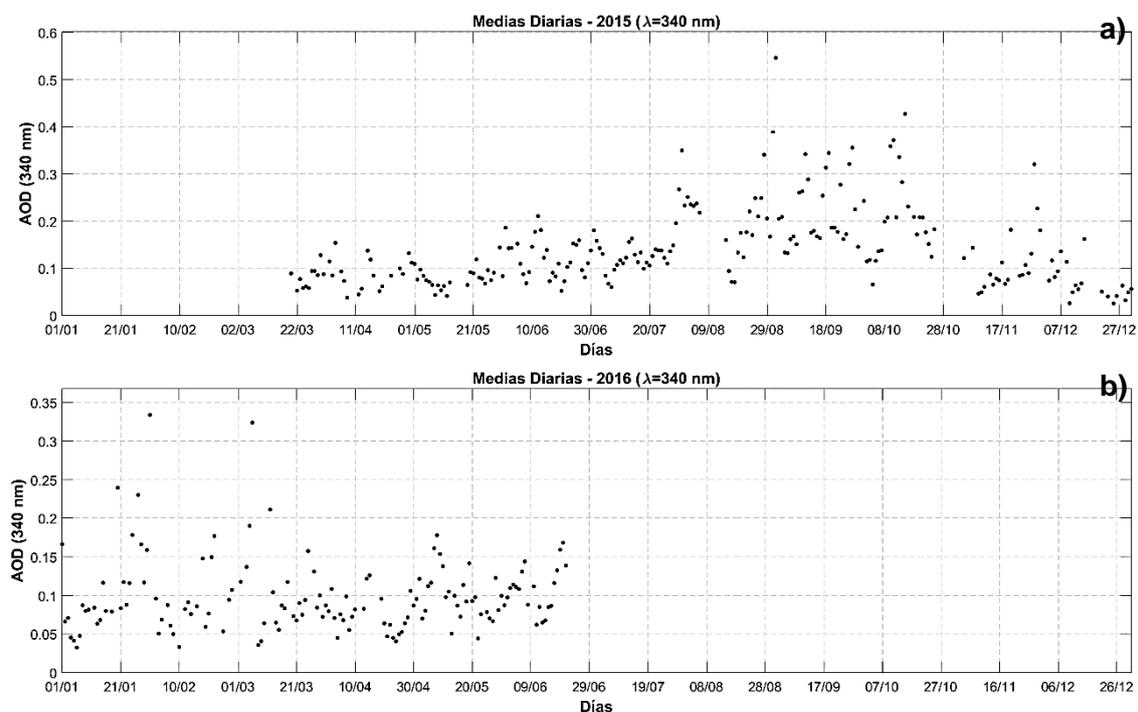
ANEXO N° 5: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 675 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).



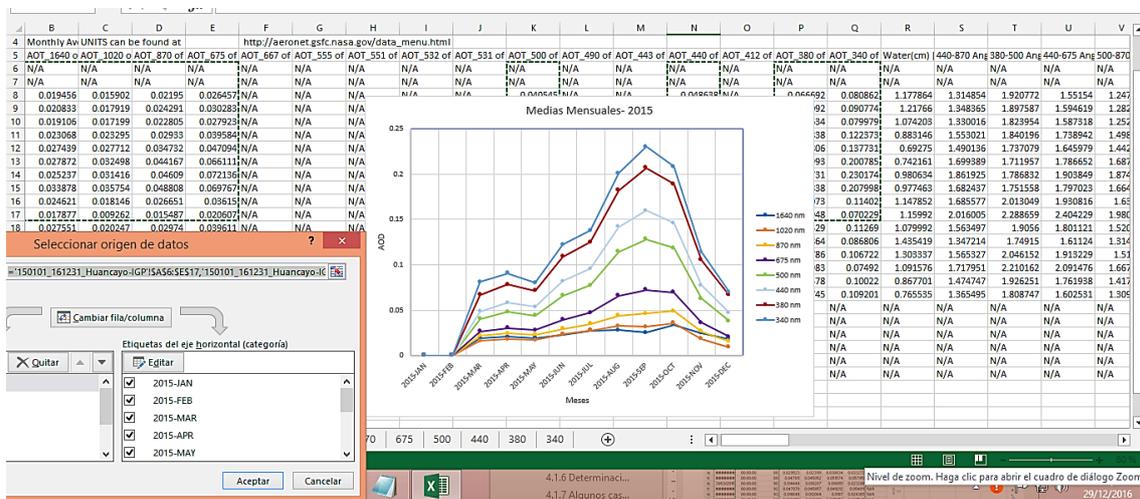
ANEXO N° 6: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 380 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).



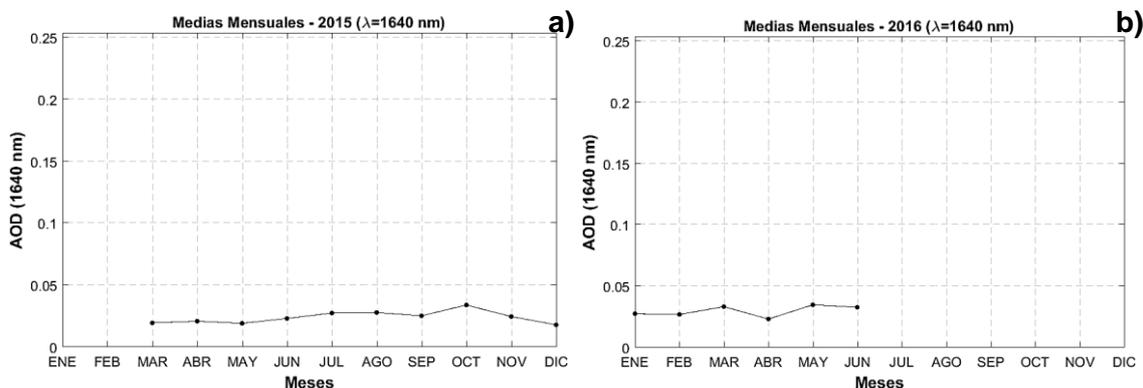
ANEXO N° 7: Medias Diarias del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 340 nm, para los años 2015 (a) y 2016 (b).



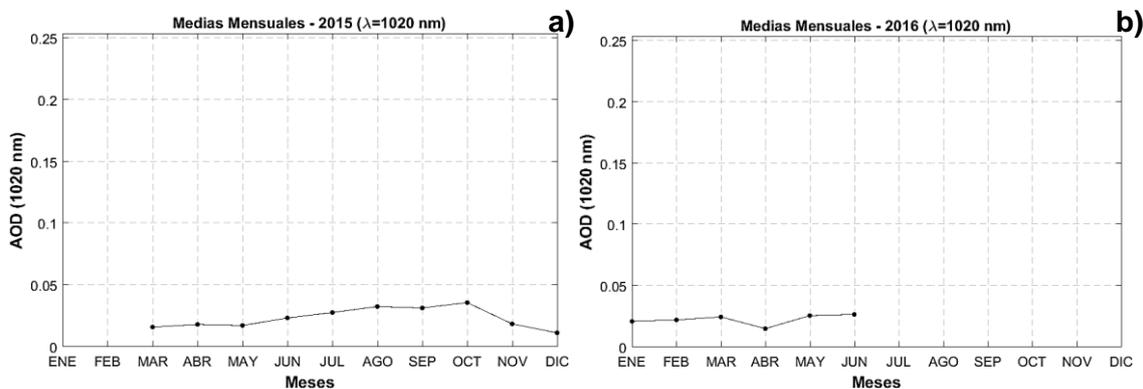
ANEXO N° 8: Proceso de obtención de la caracterización de las medias mensuales del Espesor Óptico de Aerosoles a partir de la longitud de onda de 1640 nm hasta 340 nm, año 2015.



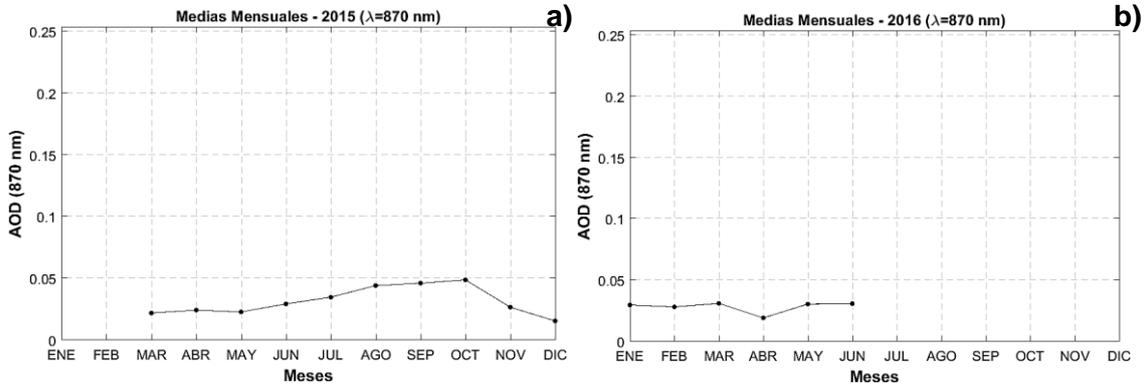
ANEXO N° 9: Medias Mensuales del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 1640 nm, año 2015 (a) y 2016 (b).



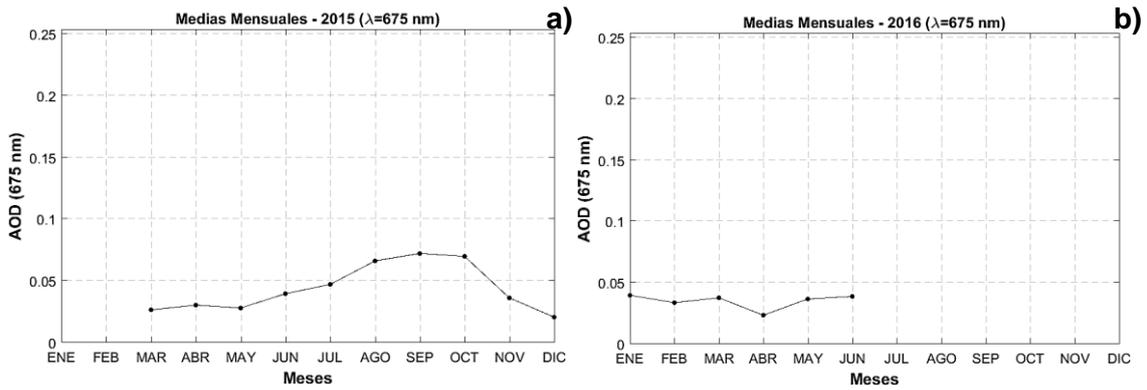
ANEXO N° 10: Medias Mensuales del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 1020 nm, año 2015 (a) y 2016 (b).



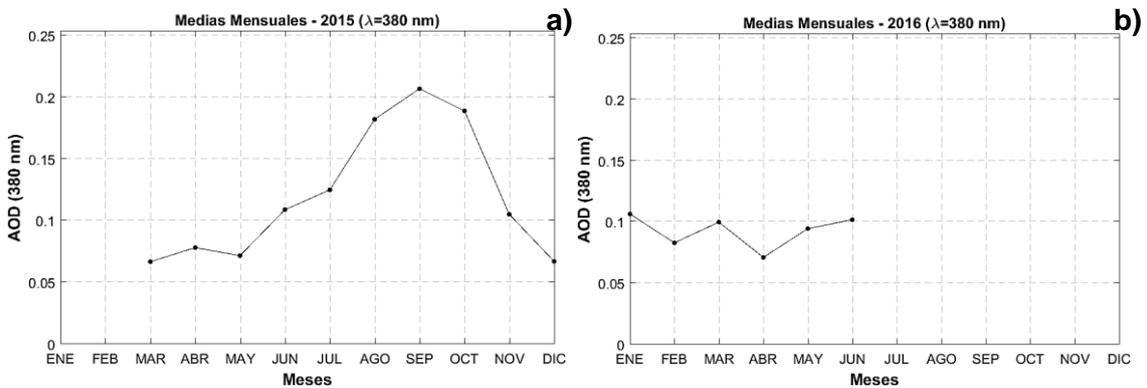
ANEXO N° 11: Medias Mensuales del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 870 nm, año 2015 (a) y 2016 (b).



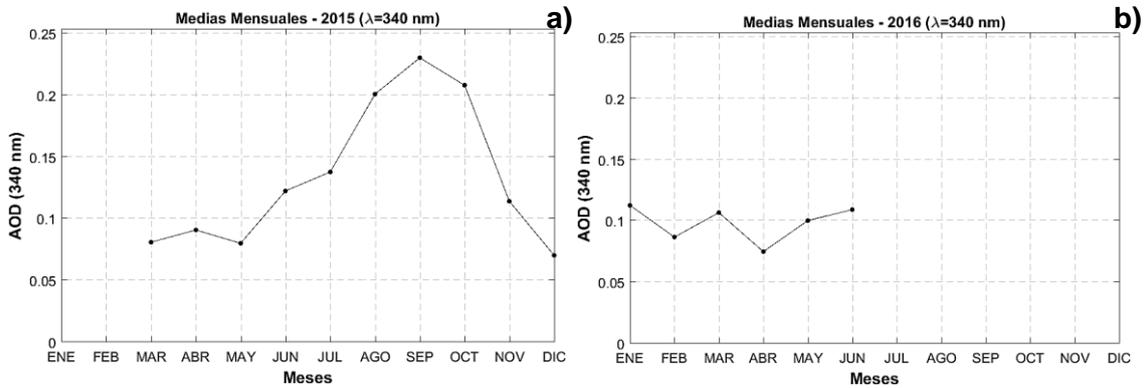
ANEXO N° 12: Medias Mensuales del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 675 nm, año 2015 (a) y 2016 (b).



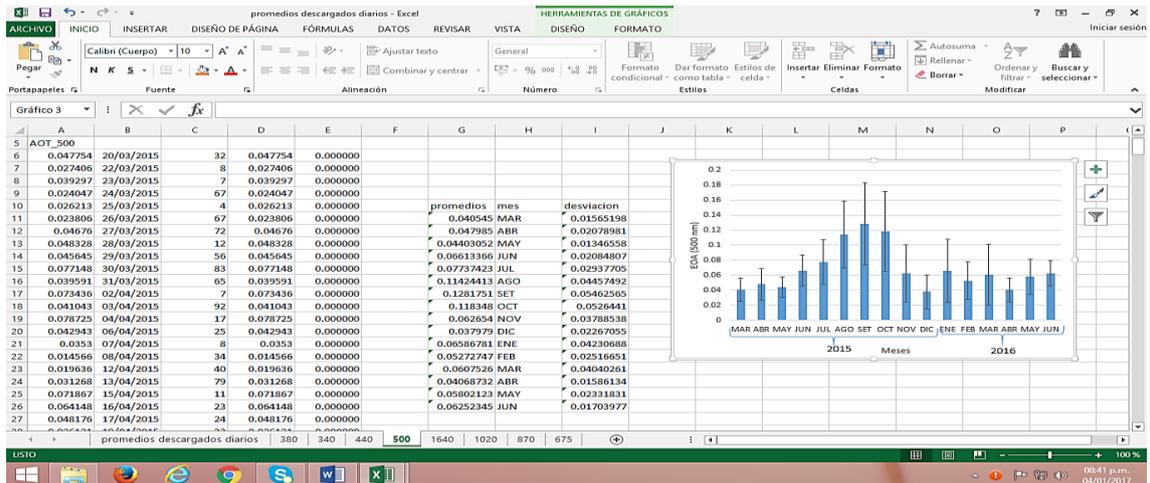
ANEXO N° 13: Medias Mensuales del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 380 nm, año 2015 (a) y 2016 (b).



ANEXO N° 14: Medias Mensuales del Espesor Óptico de Aerosoles en la longitud de onda de 340 nm, año 2015 (a) y 2016 (b).

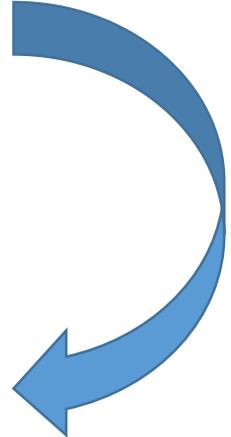
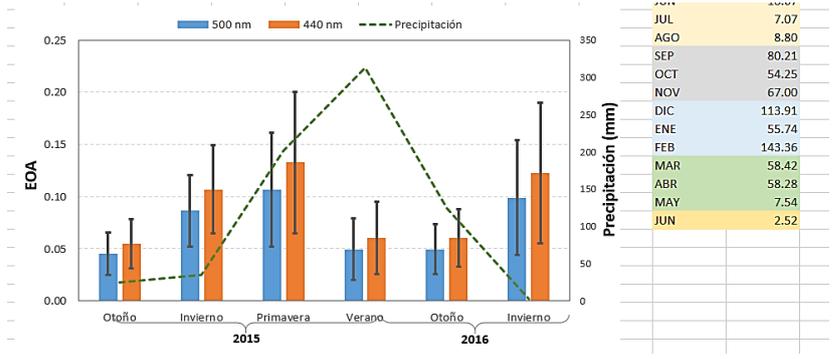


ANEXO N° 15: Modo de obtención de las medias mensuales y desviaciones estándar del EOA, en la longitud de onda de 500 nm.

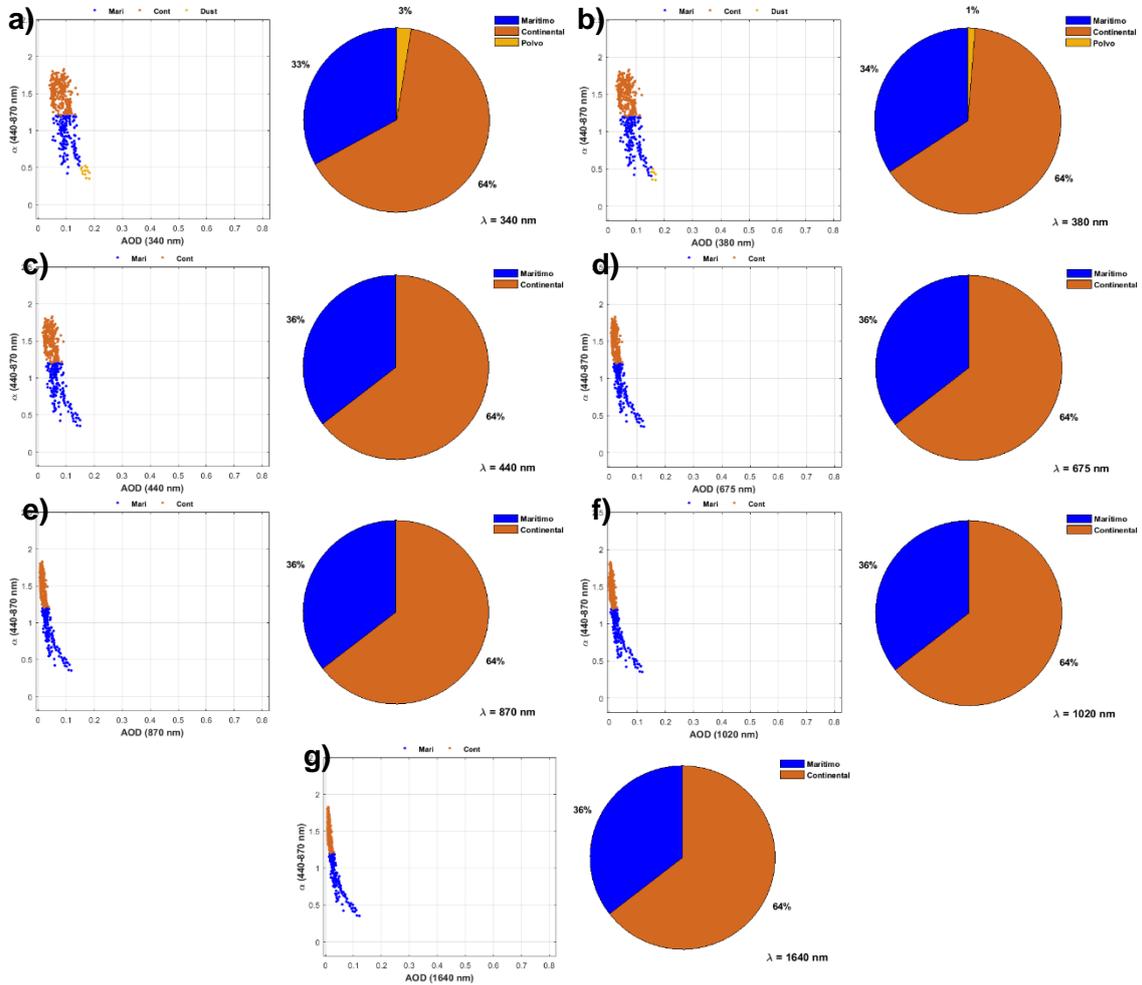


ANEXO N° 16: Obtención de las medias estacionales del EOA para las longitudes de onda de 440 y 500 nm en todo el período, con sus desviaciones estándar y las medias estacionales de la precipitación.

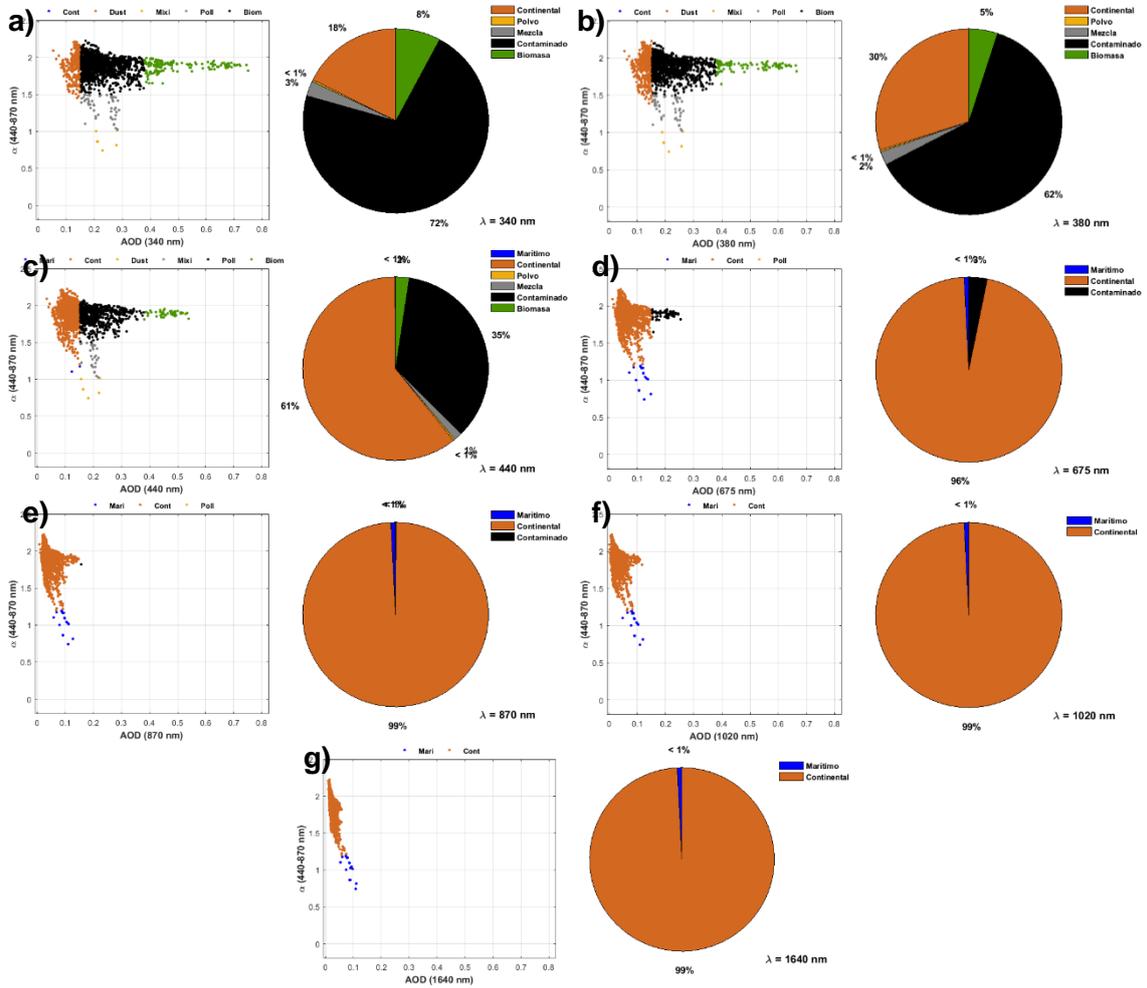
Year	Season	500 nm EOA	440 nm EOA	Precipitación (mm)
2015	Verano	0.05705	0.04946667	34.54
	Otoño	0.02413333	0.0202	12.375
	Invierno	0.06835	0.06006667	11.513
	Primavera	0.04145	0.02746667	67.153
2016	Verano	0.049	0.049	313.01
	Otoño	0.049	0.049	124.24
	Invierno	0.099	0.055	41.413
	Primavera	0.122	0.068	2.520



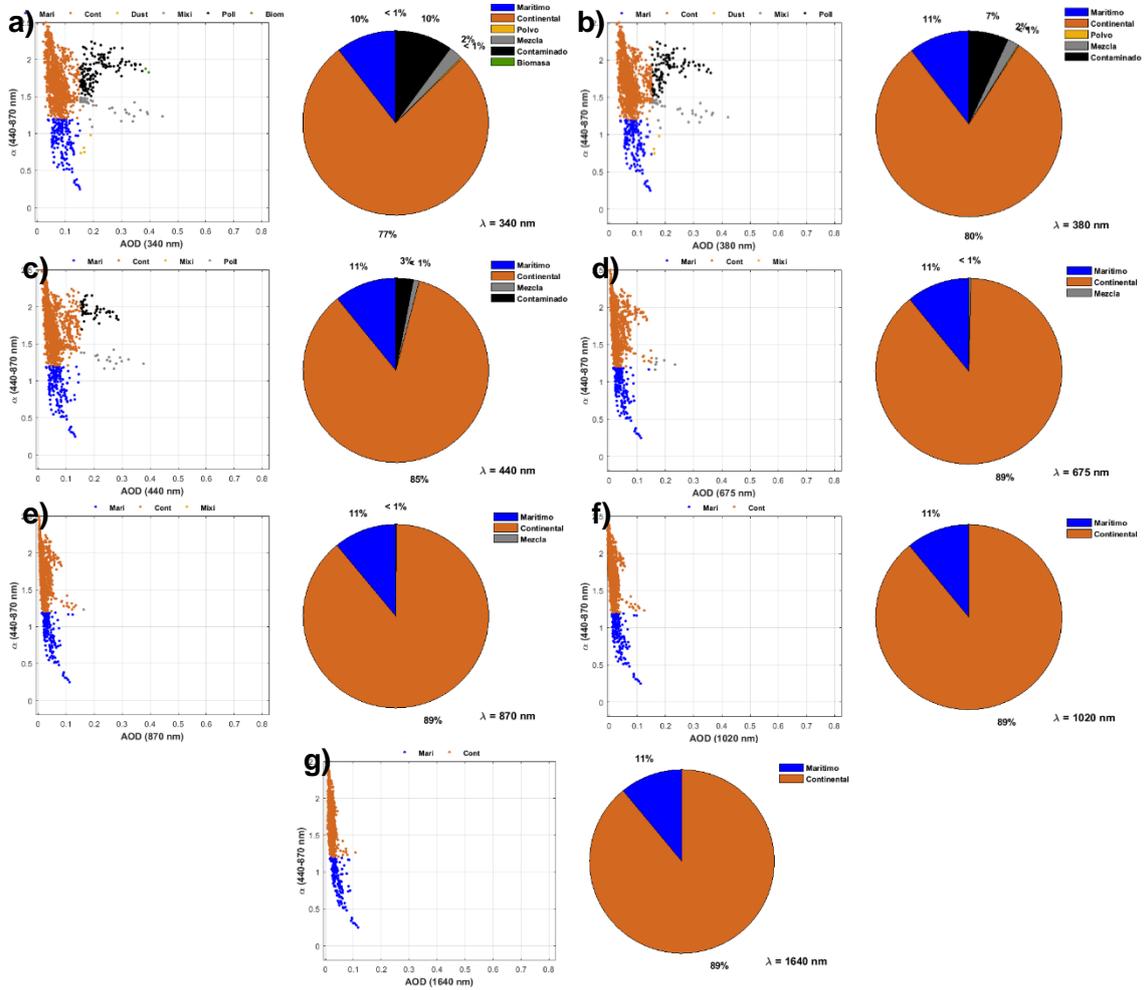
ANEXO N° 17: Clasificación de los tipos de aerosoles y porcentajes para las longitudes de onda de: 340 nm (a), 380 nm (b), 440 nm (c), 675 nm (d), 870 nm (e), 1020 nm (f) y 1640 nm (g), correspondientes al mes de marzo de 2015



ANEXO N° 18: Clasificación de los tipos de aerosoles y porcentajes para las longitudes de onda de: 340 nm (a), 380 nm (b), 440 nm (c), 675 nm (d), 870 nm (e), 1020 nm (f) y 1640 nm (g), correspondientes al mes de septiembre de 2015.



ANEXO N° 19: Clasificación de los tipos de aerosoles y porcentajes para las longitudes de onda de: 340 nm (a), 380 nm (b), 440 nm (c), 675 nm (d), 870 nm (e), 1020 nm (f) y 1640 nm (g), correspondientes al mes de enero de 2016.



ANEXO N° 22: Fragmento de la función de Matlab para el procesamiento de los datos de AERONET, donde se realiza la clasificación de los tipos de aerosoles.

```

1 function MesScattFig(yy, lambda, mes, aod, ang, max, dat, fpath)
2
3 at = {'1640 nm', '1020 nm', '870 nm', '675 nm', '500 nm', '440 nm', '380 nm', '340 nm'};
4 months_esp = ['ENE'; 'FEB'; 'MAR'; 'ABR'; 'MAY'; 'JUN'; 'JUL'; 'AGO'; 'SEP'; 'OCT'; 'NOV'; 'DIC'];
5 color_mari = [ 0 0 254]./255;
6 color_cont = [211 104 32]./255;
7 color_dust = [237 173 15]./255;
8 color_mixi = [130 130 130]./255;
9 color_poll = [ 0 0 0]./255;
10 color_biom = [ 73 149 0]./255;
11
12 fh = figure('Name', ['Clasificación :: ', at(lambda), ' :: ', months_esp(mes, :)], '- ', num2str(yy)], ...
13 'Position', [15 239 960 420], 'PaperPositionMode', 'auto');
14
15 subplot(1,2,1);
16 % Marinos
17 mark = '.';
18 mark_size = 10;
19 plot(aod(:,1), ang(:,1), 'LineStyle', 'none', 'Marker', mark, ...
20 'MarkerEdgeColor', color_mari, ...
21 'MarkerFaceColor', color_mari, ...
22 'MarkerSize', mark_size);
23 % Continental
24 hold on;

```

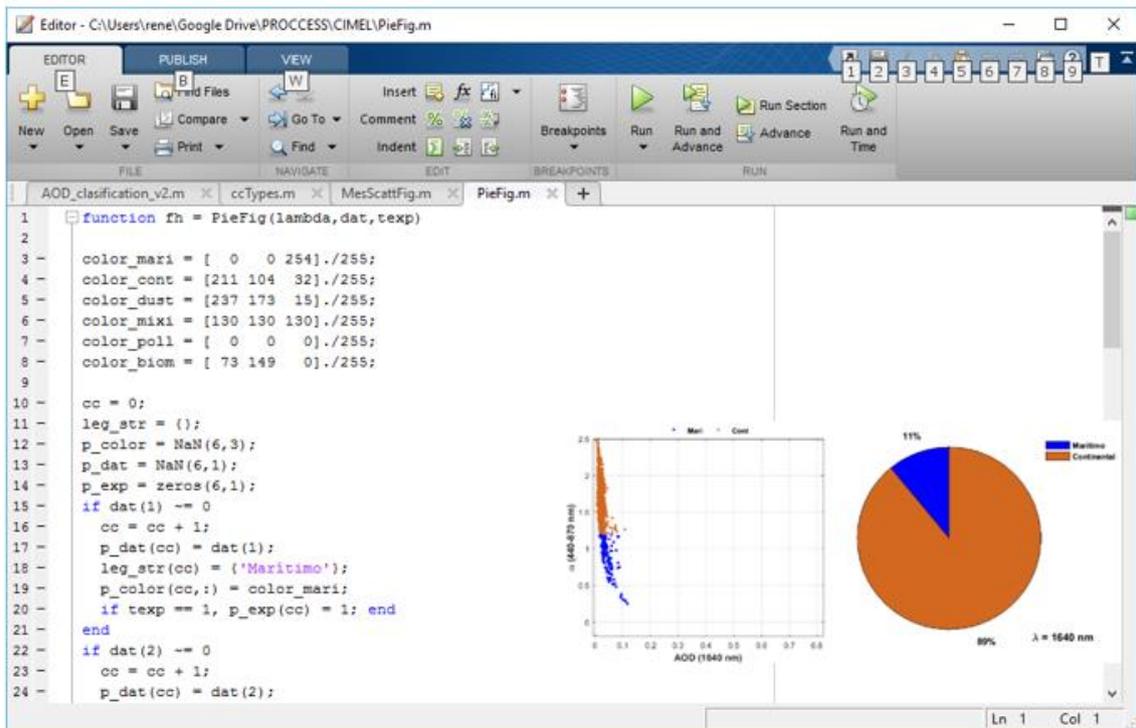
ANEXO N° 23: Fragmento de la función de Matlab para el procesamiento de los datos de AERONET, para el graficado del diagrama de dispersión.

```

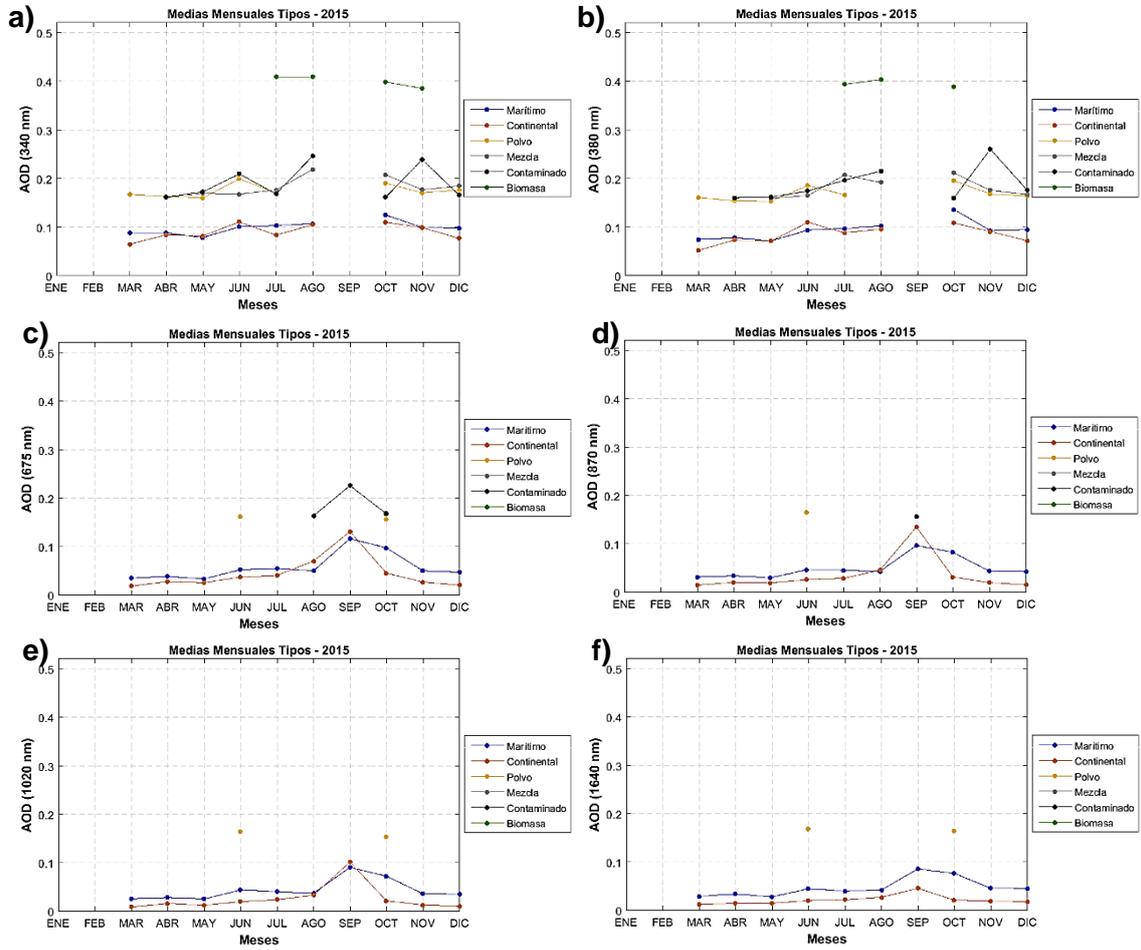
1 function [aod_, ang_, dat_, cnt_] = ccTypes(iaod, iang, idat)
2
3 c_mari = 0;
4 c_cont = 0;
5 c_dust = 0;
6 c_mixi = 0;
7 c_poll = 0;
8 c_biom = 0;
9 c_nova = 0; % contador de casos no válidos iang < 0
10
11 tt_cases = size(idat,1);
12 aod_ = NaN(tt_cases,6);
13 ang_ = NaN(tt_cases,6);
14 dat_ = NaN(tt_cases,6);
15 cnt_ = NaN(7,1);
16
17 for i=1:tt_cases
18     if (iang(i) > 0)
19         % Tipo Marino
20         if ( (iang(i) > 0) && (iang(i) <= 1.2) )
21             if ( (iaod(i) > 0) && (iaod(i) <= 0.153) )
22                 c_mari = c_mari + 1;
23                 aod_(c_mari,1) = iaod(i);
24                 ang_(c_mari,1) = iang(i);
25                 dat_(c_mari,1) = idat(i);

```

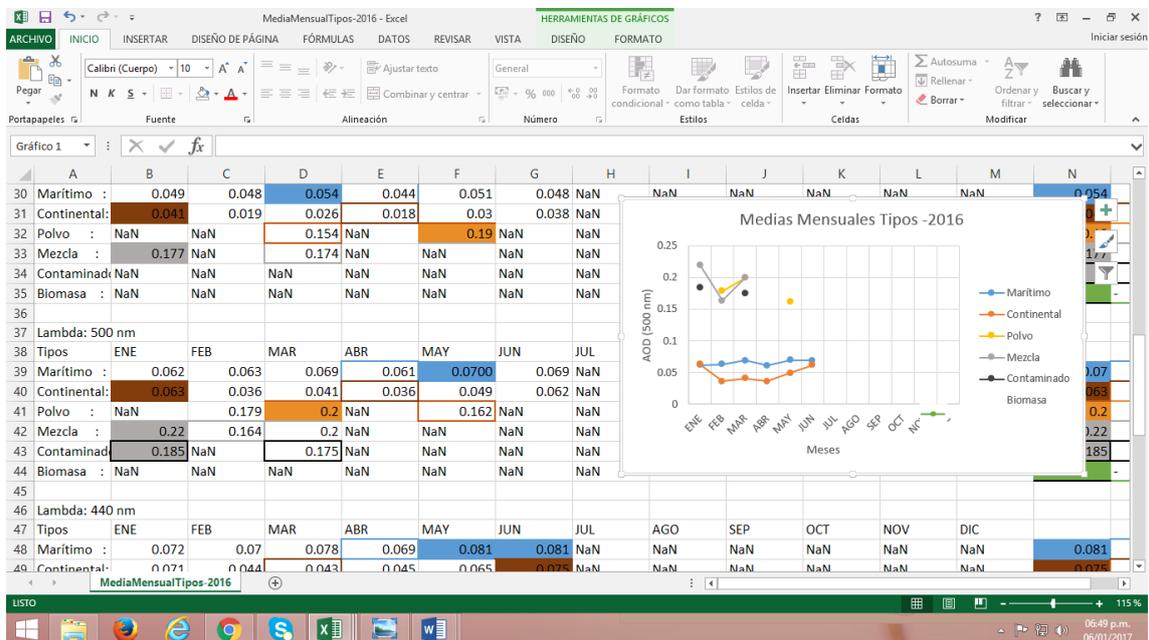
ANEXO N° 24: Fragmento de la función de Matlab para el procesamiento de los datos de AERONET, para el gráfico de pastel de los porcentajes de presencia de los tipos de aerosoles.



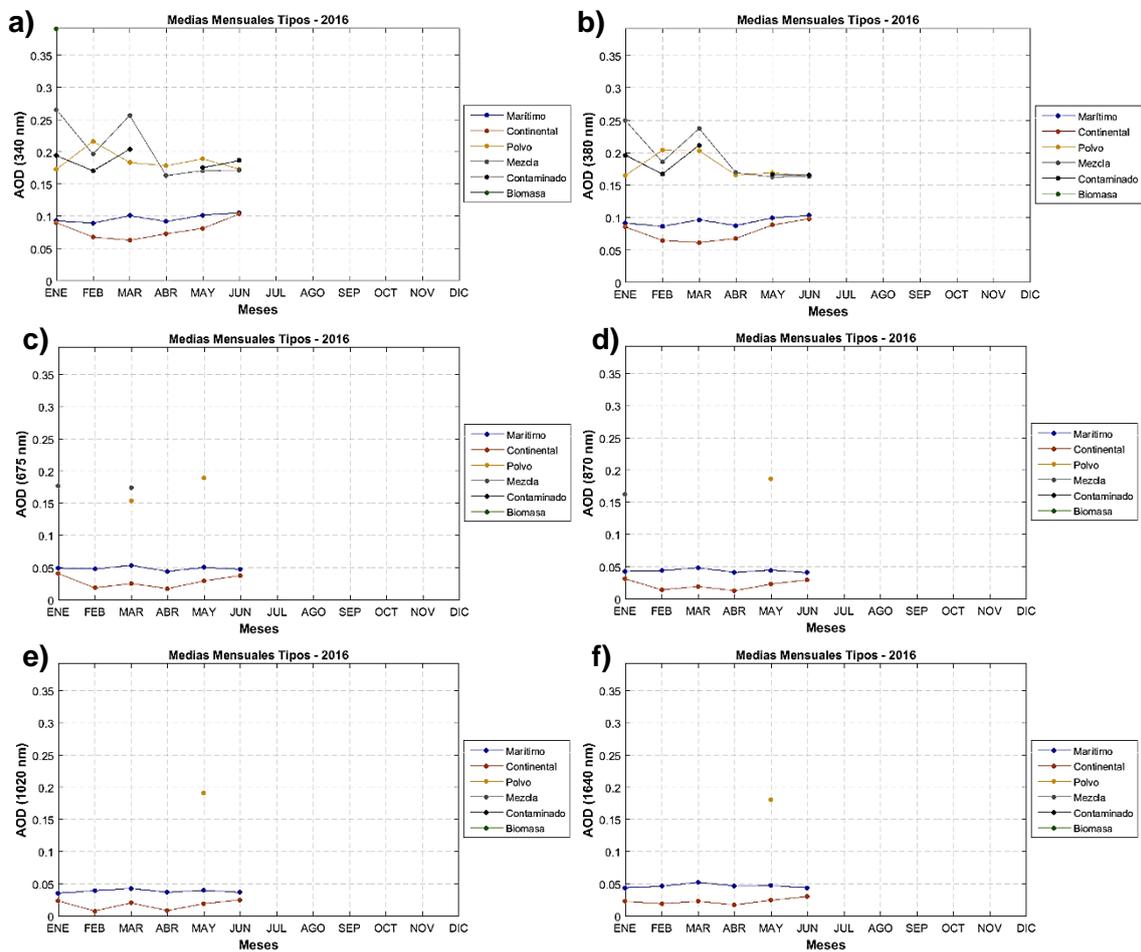
ANEXO N° 25: Medias mensuales del EOA por tipos en las longitudes de onda de 340 (a), 380 (b), 675 (c), 870 (d), 1020 (e) y 1640 nm (f), para el año 2015.



ANEXO N° 26: Obtención de las medias mensuales del EOA por tipos en la longitud de onda de 500 nm del año 2016



ANEXO N° 27: Medias mensuales del EOA por tipos en las longitudes de onda de 340 (a), 380 (b), 675 (c), 870 (d), 1020 (e) y 1640 nm (f), para el año 2016.



ANEXO N° 28: Paso 1 para elaborar las Retrotrayectorias e información de focos de Incendios. Ubicar la página web Air Resources Laboratory(<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) y descargar los datos.



ANEXO N° 29: Paso 2, para elaborar las Retrotrayectorias e información de focos de Incendios. Fragmento del script de Matlab para el procesamiento de los datos de Retrotrayectorias e Incendios, donde se realiza la lectura de los datos de retrotrayectorias.

```

Editor - C:\Users\rene\Google Drive\PROCESS\Fuegos\Retro-Incendios\retro_incendios.m
EDITOR PUBLISH VIEW
+ Find Files Compare Go To Comment % Breakpoints Run Run and Advance Run and Time
New Open Save Print Find Indent Breakpoints Run Run and Advance Run and Time
FILE NAVIGATE EDIT BREAKPOINTS RUN
retro_incendios.m x +
35 % Limites de la región de estudio
36 lim_coord.xMin = -82;
37 lim_coord.xMax = -59.5;
38 lim_coord.yMin = -20.9;
39 lim_coord.yMax = 5.3;
40
41 cd(TPATH);
42 % SPATH = strsplit(sp, '\');
43 [FileName, PathName] = uigetfile('*.txt', 'Seleccione fichero de retrotrayectoria');
44 fclose;
45 fid2 = fopen([PathName FileName], 'r');
46 hys1 = textscan(fid2, '%d %d', 1);
47 hys2 = textscan(fid2, '%s %d %d %d %d', hys1{1});
48 hys3 = textscan(fid2, '%d %s %s', 1);
49 num_levels = hys3{1};
50 hys4 = textscan(fid2, '%d %d %d %d %f %f %f', num_levels);
51 hys5 = textscan(fid2, '%d %s', 1);
52 hys_dat = textscan(fid2, '%d %d %d');
53 fclose(fid2);
54
55 yy = hys4{1,1}(1,1) + 2000;
56 mm = hys4{1,2}(1,1);
57 dd = hys4{1,3}(1,1);
58 hh = hys4{1,4}(1,1);
Ln 1 Col 1

```

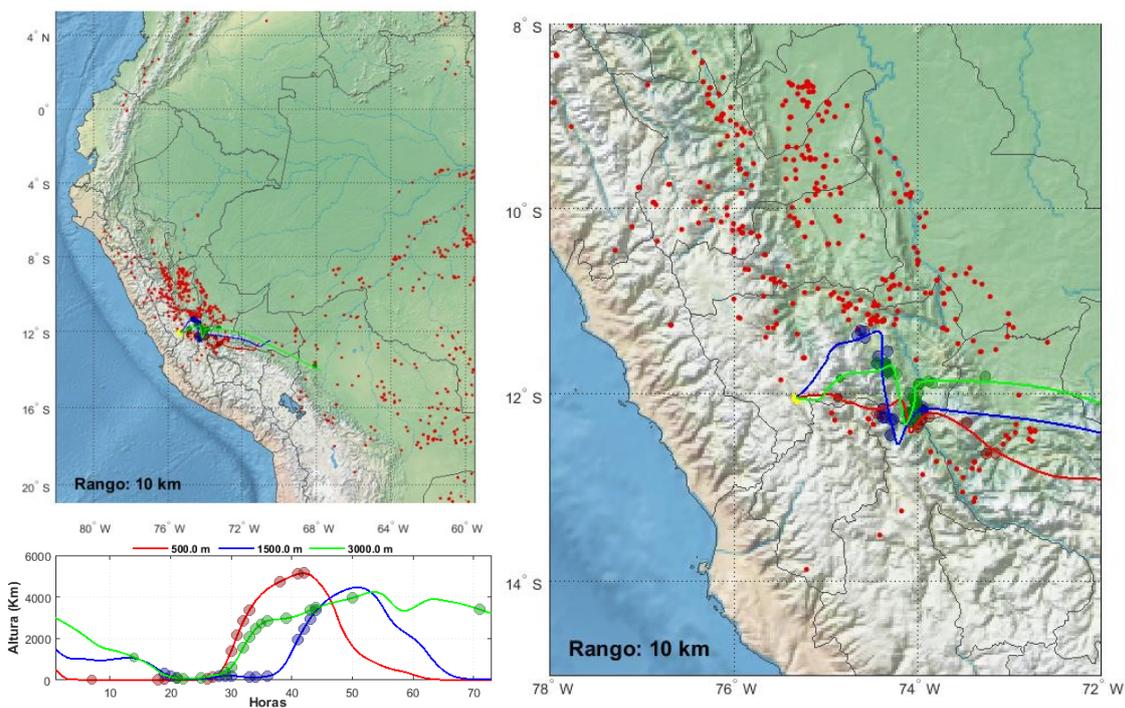

ANEXO N° 32: Paso 5, para elaborar las Retrotrayectorias e información de focos de Incendios. Fragmento del script de Matlab para el procesamiento de los datos de Retrotrayectorias e Incendios, donde se realiza el graficado conjunto de los datos de las retrotrayectorias y de incendios.

```

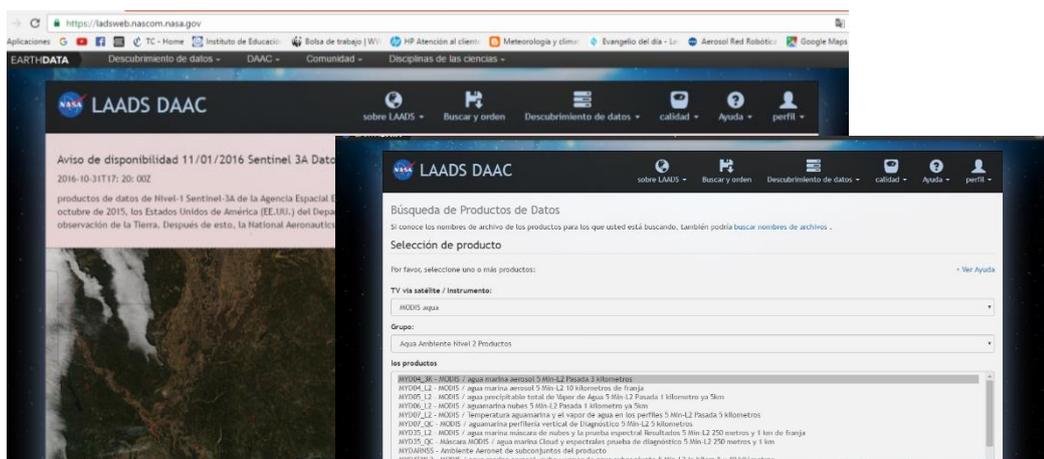
Editor - C:\Users\rene\Google Drive\PROCESS\Fuegos\Retro-Incendios\retro_incendios.m
EDITOR PUBLISH VIEW
New Open Save Find Files Compare Print Go To Find Comment Indent Breakpoints Run Run and Advance Run and Time
FILE NAVIGATE EDIT BREAKPOINTS RUN
retro_incendios.m
306 - name_g = sprintf('ZOOM: %02d-%02d-%4d %02d:00 (%02d km)', dd, mm, yy, hh, range);
307 - f2 = figure('Name', name_g, 'Position', [21 55 592 628],...
308 -         'Visible','on','PaperPositionMode','auto');
309 - ham = axesm('mercator','Frame','on','Grid','on',...
310 -         'MapLatLimit',[-15 -8],'MapLonLimit',[-78 -72],...
311 -         'MeridianLabel','on','ParallelLabel','on',...
312 -         'GLineWidth',(0.4),...
313 -         'MLineLocation',2,'FLineLocation',2,'FLineWidth',1,...
314 -         'MLabelParallel','south');
315 - set(ham,'Position',[0.01 0.01 0.95 0.98],...
316 -         'Box','off','Visible','off');
317 - b = findobj(gcf);
318 - c = findall(b,'Type','Patch');
319 - set(c,'FaceColor','w');
320 - geoshow(backgmap);
321 - landareas = shaperead([mapas_path 'peruPoly.shp'],'UseGeoCoords', true);
322 - geoshow(landareas,'color',color_border,'LineWidth',0.5);
323 - set(ham,'OuterPosition',[-3.19 -1.055 16.2 3.8]);
324 - geoshow(hcy.lat,hcy.lon,'DisplayType','point','MarkerSize',6,...
325 -         'Marker','*','MarkerEdgeColor',color_hyo,...
326 -         'MarkerFaceColor',color_hyo,'LineWidth',2);
327 - % Puntos de fuego dentro de la region de estudio
328 - geoshow(reg_lat,reg_lon,'DisplayType','point','MarkerSize',10,...
script Ln 86 Col 1

```

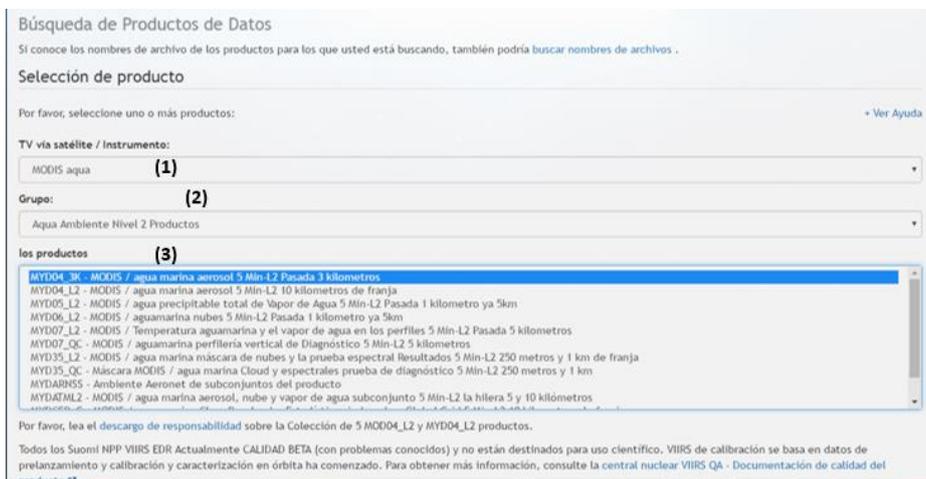
ANEXO N° 33: Paso 6, para elaborar las Retrotrayectorias e información de focos de Incendios. Figuras obtenidas por el correr de los scripts anteriores.



ANEXO N° 34: Paso 1, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Buscar la página LAADS DAAC y pulsar “buscar y orden”.



ANEXO N° 35: Paso 2, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Colocar en selección del producto lo siguiente; (1) en TV vía satélite / Instrumento: MODIS Aqua; (2) Grupo: Aqua Ambiente Nivel 2 Productos; (3) Los productos: MYD04_3K-MODIS/Aqua marina Aerosol 5 Min -L2 Pasada 3 Kilómetros.



ANEXO N° 36: Paso 3, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Colocar en selección temporal y colección; (1) Tipo Temporal: Fecha y hora de Rango; (2) Fecha de inicio y hora: 09/16/2015; (3) Colección: 6-MODIS Colección 6-L1, Atmos y Land.

ANEXO N° 37: Paso 4, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. En selección espacial colocar; (1) Sistema coordinado: Latitud longitud; (2) Se colocan las coordenadas como se muestra en la figura; y pulsar buscar.

ANEXO N° 38: Paso 5, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Posteriormente se pulsa “Solicitar Archivos Ahora”.

Resultados de la búsqueda Mostrar origen

Un total de 6 archivos (54.47 MB) coincide con los parámetros seleccionados. Usted puede [refinar su búsqueda](#).

Usted puede modificar su orden activando o desactivando la casilla de verificación de cada archivo. También puede seleccionar o casillas claras haciendo clic en "Seleccionar casillas de verificación en línea", "Seleccionar Desconectado Las casillas de verificación", o "Borrar todas las casillas". Tenga en cuenta que sólo los archivos en línea son seleccionados por defecto. Usted puede ordenar archivos que están fuera de línea haciendo clic en "Seleccionar Desconectado Las casillas de verificación". Sin embargo, no recibirá estos archivos inmediatamente. Ellos serán regenerados y se le notificará por correo electrónico cuando estén listos.

El usuario no puede ordenar los archivos que han caducado o se encuentran temporalmente fuera de servicio. Archivos caducados están en un archivo de rodadura y sólo están disponibles para un periodo determinado de tiempo. No disponibles temporalmente los archivos están en un disco de archivo que está abajo y no puede ser ordenado hasta que el disco es una copia de seguridad.

Tampoco podrá ordenar archivos Envisat MERIS, ya que sólo se pueden descargar haciendo clic en el nombre de archivo e introduciendo un nombre de usuario y contraseña. Visita el [Registro URS](#) página para registrar un nombre de usuario y contraseña.

Hora	Producto	Nombre del archivo	tamaño	En línea	añadir	Vistazo
2015-259 16:50	MYD04_3K	MYD04_3K.A2015259.1650.006.2015260163409.hdf	8 MB	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	N / A
2015-259 16:55	MYD04_3K	MYD04_3K.A2015259.1655.006.2015260163439.hdf	12 MB	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	N / A
2015-259 18:25	MYD04_3K	MYD04_3K.A2015259.1825.006.2015260163216.hdf	7 MB	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	N / A
2015-259 18:30	MYD04_3K	MYD04_3K.A2015259.1830.006.2015260153553.hdf	7 MB	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	N / A
2015-259 18:35	MYD04_3K	MYD04_3K.A2015259.1835.006.2015260170910.hdf	10 MB	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	N / A
2015-259 20:05	MYD04_3K	MYD04_3K.A2015259.2005.006.2015260164807.hdf	11 MB	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	N / A

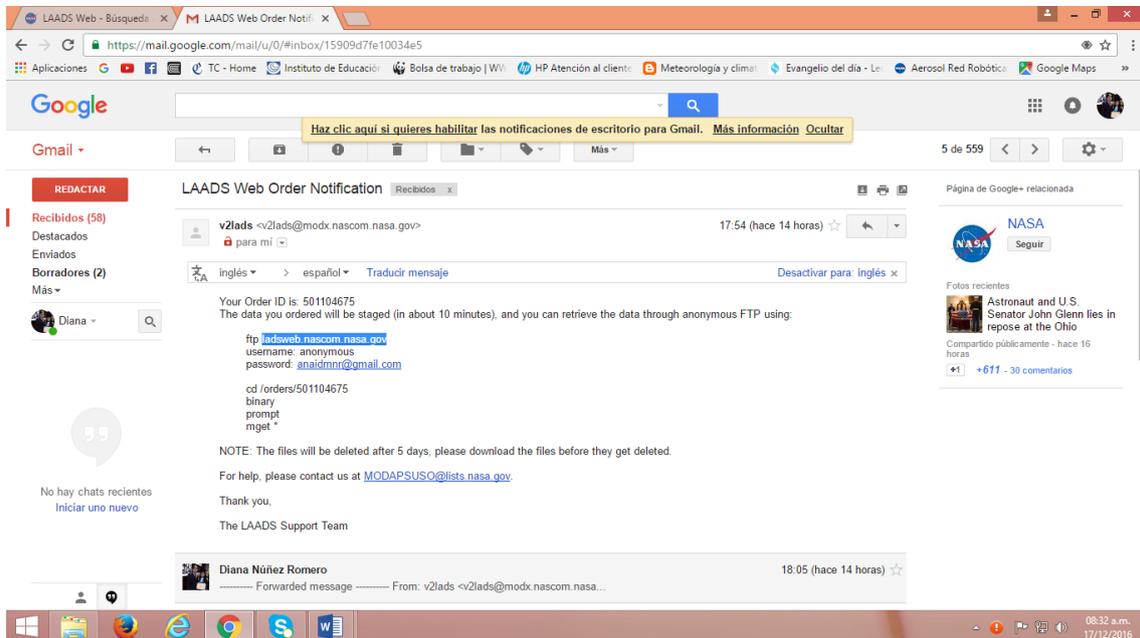
Las casillas de verificación en línea Seleccionar
 Seleccionar Desconectado Las casillas de verificación
 Borrar todas las casillas

Tenga en cuenta que si quieres el procesamiento posterior de los archivos (subconjunto, reproyectar, reformatear, pantalla de calidad de datos, etc.) es necesario seleccionar "Añadir archivos a la cesta de la compra" y hacer el pedido de su carrito de compras. Si selecciona "Solicitar Archivos Ahora", la orden será colocado inmediatamente, sin post-procesamiento.

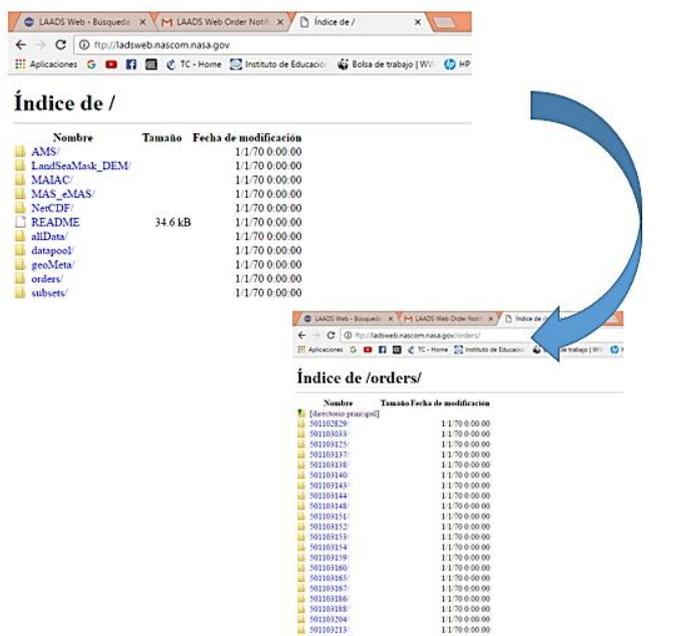
ANEXO N° 39: Paso 6, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Colocar correo electrónico para el envío de archivos ftp.

The screenshot shows the NASA LAADS DAAC website interface. The main content area is titled "Búsqueda de Productos de Datos" and includes a section for "Dirección de correo electrónico" (Email address) with a text input field. Below this is the "Seleccionar método de entrega" (Select delivery method) section, which offers two options: "FTP y jalar" (selected) and "FTP-Push". The "FTP y jalar" option includes instructions and a link to "Ver Ayuda". The browser's address bar shows the URL "https://ladsweb.nascom.nasa.gov/search/add.html".

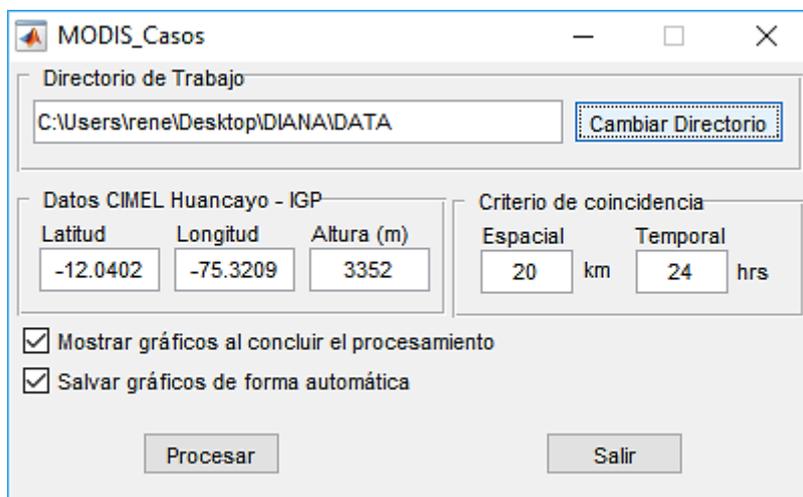
ANEXO N° 40: Paso 7, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Copiar el link; el cual esta resaltado, que será enviado al correo electrónico y pegarlo en el buscador.



ANEXO N° 41: Paso 8, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Se obtiene los datos requeridos para ser llevados a Mat Lab.



ANEXO N° 42: Paso 9, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Interface para el procesamiento de los datos de MODIS, en ella se definen la carpeta donde se encuentran los datos, las coordenadas del punto en superficie para la comparación y los criterios de coincidencia, espacial y temporal.



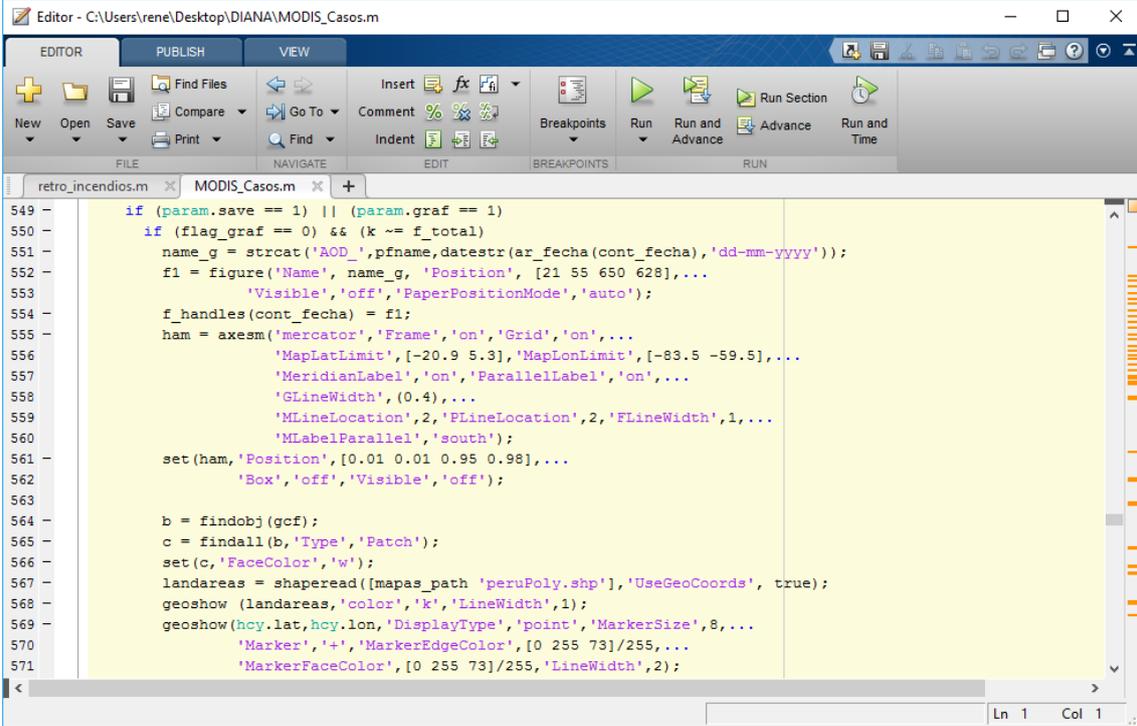
ANEXO N° 43: Paso 10, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Fragmento del script de Matlab para el procesamiento de los datos de MODIS, donde se realiza la lectura de los datos de MODIS.

```

393 - load('modis_cm','mycmap');
394 - fprintf('Total de ficheros a analizar: %d\n', f_total);
395
396 - pgb = waitbar(0,'Procesando días');
397 - for k=1:f_total
398 -     if (strcmp(flist(k).name, '.') == 0 || strcmp(flist(k).name, '..'))
399 -         waitbar(k / f_total);
400 -         str = sprintf('%s',flist(k).name);
401 -         if (strncmpi(str, 'myd', 3) ~= 0)
402 -             pname = 'Aq_';
403 -         elseif (strncmpi(str, 'mod', 3) ~= 0)
404 -             pname = 'Tr_';
405 -         end;
406
407 -         p_name = strcat(TPATH, '\', flist(k).name);
408 -         hdf_lon = double(hdfsread(p_name, 'Longitude'));
409 -         hdf_lat = double(hdfsread(p_name, 'Latitude'));
410 -         hdf_utc = hdfsread(p_name, 'Scan_Start_Time');
411 -         hdf_aod = hdfsread(p_name, 'Optical_Depth_Land_And_Ocean');
412 -         hdf_type = hdfsread(p_name, 'Aerosol_Type_Land');
413 -         hdf_ang = hdfsread(p_name, 'Angstrom_Exponent_1_Ocean');
414 -         hdf_ang = double(hdf_ang)/1000;
415

```

ANEXO N° 44: Paso 11, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Fragmento del script de Matlab para el procesamiento de los datos de MODIS, donde se realiza el graficado de los datos de MODIS para el área de estudio.



```
549 -     if (param.save == 1) || (param.graf == 1)
550 -         if (flag_graf == 0) && (k ~= f_total)
551 -             name_g = strcat('AOD_',pfname,datestr(ar_fecha(cont_fecha),'dd-mm-yyyy'));
552 -             f1 = figure('Name', name_g, 'Position', [21 55 650 628],...
553 -                 'Visible','off','PaperPositionMode','auto');
554 -             f_handles(cont_fecha) = f1;
555 -             ham = axesm('mercator','Frame','on','Grid','on',...
556 -                 'MapLatLimit',[-20.9 5.3],'MapLonLimit',[-83.5 -59.5],...
557 -                 'MeridianLabel','on','ParallelLabel','on',...
558 -                 'GLineWidth',(0.4),...
559 -                 'MLineLocation',2,'PLineLocation',2,'FLineWidth',1,...
560 -                 'MLabelParallel','south');
561 -             set(ham,'Position',[0.01 0.01 0.95 0.98],...
562 -                 'Box','off','Visible','off');
563 -
564 -             b = findobj(gcf);
565 -             c = findall(b,'Type','Patch');
566 -             set(c,'FaceColor','w');
567 -             landareas = shaperead([mapas_path 'peruPoly.shp'],'UseGeoCoords', true);
568 -             geoshow(landareas,'color','k','LineWidth',1);
569 -             geoshow(hcy.lat,hcy.lon,'DisplayType','point','MarkerSize',8,...
570 -                 'Marker','+','MarkerEdgeColor',[0 255 73]/255,...
571 -                 'MarkerFaceColor',[0 255 73]/255,'LineWidth',2);
```

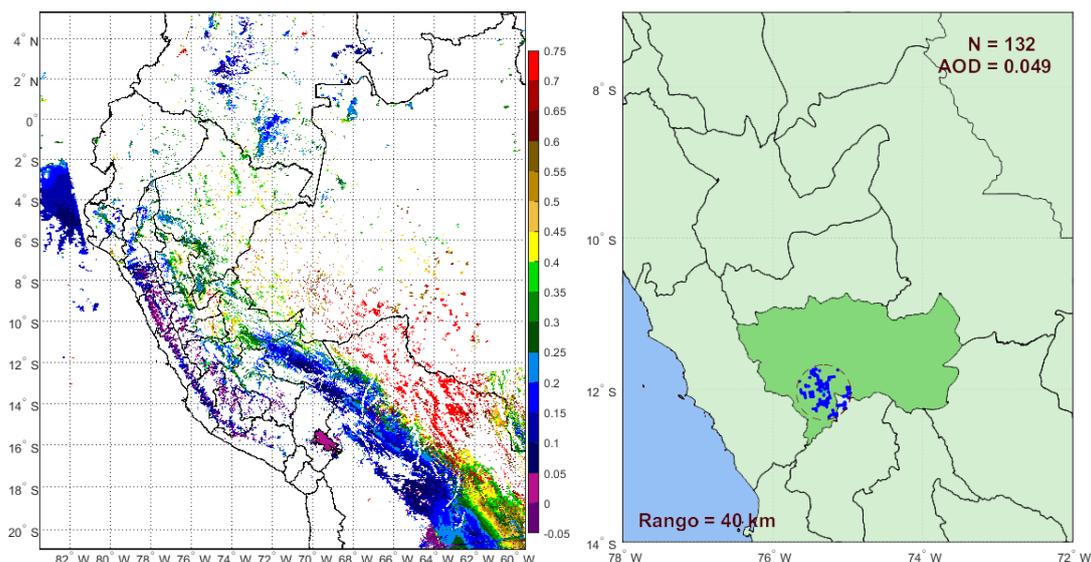
ANEXO N° 45: Paso 12, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Fragmento del script de Matlab para el procesamiento de los datos de MODIS, donde se realiza la selección de casos coincidentes.

```

Editor - C:\Users\rene\Desktop\DIANA\MODIS_Casos.m
EDITOR PUBLISH VIEW
New Open Save Find Files Compare Go To Comment % % % Indent Breakpoints Run Run and Advance Run and Time
FILE NAVIGATE EDIT BREAKPOINTS RUN
retro_incendios.m MODIS_Casos.m
645
646 ff_fecha = 0;
647 for k=1:tt_dias
648     fdist = fopen([out_path 'CoincidenDist_' num2str(range.dist) 'km_' datestr(ar_fecha(k),'dd-mm-yyyy') '.txt'])
649     for i=1:ac_siz(k)
650         DistP = Cal_Dist(hcy.lat, hcy.lon, ac_lat(i,k), ac_lon(i,k));
651         if ar_fecha(k) ~= ff_fecha
652             fprintf('%s\n', datestr(ar_fecha(k), 'dd-mm-yyyy'));
653             fprintf(fdist, '%s\n', datestr(ar_fecha(k), 'dd-mm-yyyy'));
654             ff_fecha = ar_fecha(k);
655         end
656         if (DistP < range.dist)
657             if (ac_aod(i,k) ~= aod_fill_value)
658                 tc_dist(k) = tc_dist(k) + 1;
659                 if ac_aod(i,k) > 0
660                     near_utc(tc_dist(k)) = ac_utc(i,k);
661                     near_aod(tc_dist(k)) = ac_aod(i,k);
662                     near_lon(tc_dist(k)) = ac_lon(i,k);
663                     near_lat(tc_dist(k)) = ac_lat(i,k);
664                     fprintf(' --> AOD: %.3f (%.3f) - Dist: %.2f\n', ac_aod(i,k), near_aod(tc_dist(k)), DistP);
665                     fprintf(fdist, ' --> AOD: %.3f - Dist: %.2f\n', ac_aod(i,k), DistP);
666                 end
667             end
668         end
669     end
670 end
Ln 1 Col 1

```

ANEXO N° 46: Paso 13, caso de estudio coincidente mediante uso de datos MODIS/Aqua, MODIS/Terra. Los Script anteriores se hacen correr y se obtienen los gráficos correspondientes.



ANEXO N° 47: Incendios forestales registrados en la Región Junín en el año 2015, reportado por Andina del Perú para el Mundo el 31-08-16.



ANEXO N° 48: Incendios forestales registrados en la región de Cusco en el año 2015, reportado por el diario digital Cusco en Portada el 29-08-15.

Imágenes impresionantes del voraz incendio que nuevamente devastó el cerro Picol

Sábado, 29 agosto, 2015



ANEXO N° 49: Incendio forestal en el centro poblado de Muruhuay, provincia de Tarma, reportado por el diario El Comercio el 19-09-15.

SÁBADO 19 DE SEPTIEMBRE DEL 2015 | 14:11

Tarma: más de 9 horas duró el incendio forestal en Muruhuay

Bomberos, policías y personal de serenazgo lograron apagar el fuego que amenazaba con llegar al templo

Compartir 0 Twittear G+1 0 Compartir 0 Pin it 0 3



El fuego se inició ayer, cerca de las 11 de la mañana. (Foto: Radio Super A1)

ANEXO N° 50: Incendio forestal ocurrido en la jurisdicción de la Municipalidad distrital Rio Tambo, comunicado emitido el 14 de septiembre de 2016.



ANEXO N° 52: Reporte Mensual de agosto de Incendios Forestales y Quemas en Bolivia, septiembre-2015.



ESTADO PLURINACIONAL
DE BOLIVIA

Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad,
Cambio Climático y de Gestión y Desarrollo Forestal

Dirección General de Gestión y Desarrollo Forestal



MMAyA



Reporte Mensual de Agosto
de Incendios Forestales y Quemas

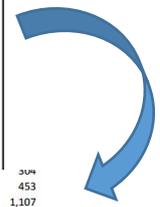
La Paz, Septiembre de 01 de 2015

Resumen

En el mes de **Agosto** se identificó una superficie de 28,019 ha en incendios forestales y 212,238 ha en quemas, siendo un total general de 240,257 ha; el departamento con mayores incendios forestales es Santa Cruz con una superficie de 22,764 que representa el 81% del total de la superficie afectada, le sigue el departamento de Beni con ha que representa el 16%; para el caso de las quemas el departamen afectada es Beni con 142,370 ha que representa el 67% y le sigue el Cruz con una superficie de 50,217 ha que representa un total del 24%

Asimismo se ha identificado que el tipo de bosque más afectado es: superficie de 11,477 ha, le sigue bosque Amazónico con 5,372 ha y e

Iquique	304
Totora	453
Villa Tunari	1,107
Cochabamba Total	5,035
Apolo	204
Cajuata	221
Charazani (Gral.Perez)	38
Guanay	58
Inquisivi	75
La Paz	11,824
Mocomoco	15
Quime	47
Sica Sica	37
Sorata	67
Tiahuanacu	38
La Paz Total	12,625



ANEXO N° 53: Incendios Forestales en Brasil, durante el año 2015.

Aumentan incendios forestales en Brasil

América Latina | Brasil | Incendios Forestales

Nota



El 2015 fue el segundo con más incendios

La situación es atribuida al fenómeno de El Niño

RÍO DE JANEIRO, BRASIL (05/ENE/2016).- Brasil registró unos 235 mil incendios forestales en 2015, un número en un 27.5 por ciento superior al de 2014, según datos divulgados hoy por el Gobierno y en un fenómeno que los especialistas atribuyen a El Niño.

El año pasado fue el segundo con más incendios forestales desde que comenzaron a ser contabilizados en 1999, tan sólo por debajo de 2010 (249 mil), según los datos divulgados por el estatal Instituto Nacional de Estudios Espaciales (INPE), que mide los focos de calor en la vegetación con la ayuda de imágenes de satélite.

La mayoría de los incendios en 2015, sin embargo, se concentró en los últimos cinco meses del año, tradicionalmente el período menos lluvioso en Brasil, según las estadísticas del INPE.

La mayoría de los incendios en 2015, se concentró en los últimos cinco meses del año. EL INFORMADOR / ARCHIVO

Más información

- Colombia declara alerta roja ante altas temperaturas
- Incendios forestales en Colombia dejan un muerto
- Al menos cuatro muertos en incendios forestales en Australia

ANEXO N° 54: Reporte de incendios forestales en Atalaya, Ucayali, septiembre 2015.

Incendio Forestal en sector Yauyos de Atalaya deja zona agrícola destruida

Vie, 25 septiembre del 2015 en Atalaya con 473 Visita(s)



Atalaya.- Un nuevo incendio forestal en nuestra ciudad de Atalaya, deja destruida zona agrícola en producción, el siniestro fue provocado por los propietarios del predio, cuando intentaban practicar la tradicional quema, el fuego avanzó tan rápido que fue necesaria la presencia del cuerpo general de bomberos voluntarios de nuestra localidad.

Fausta Gago Toribio, propietaria del predio agrícola, reconoció que fue un descuido de sus trabajadores lo que provocó el incendio forestal, "Estábamos quemando un rose de malezas y el viento trasladó el fuego a otro sector de la parte baja, el descuido nos pasó la factura, quedando destruida plantas de cacao injertados y plátanos" dijo muy angustiada.

Recu



ANEXO N° 55: Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><u>Problema General:</u></p> <p><i>¿Cuál es el Comportamiento de la variación diurna, mensual y estacional del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?</i></p> <p><u>Problemas específicos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo se caracteriza de la variación 	<p><u>Objetivo General:</u></p> <p><i>Caracterizar de la variación diurna, mensual y estacional del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, en el periodo comprendido desde marzo de 2015 hasta julio de 2016.</i></p> <p><u>Objetivos específicos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Caracterizar la variación diurna del Espesor Óptico de Aerosoles, 	<p><u>A nivel internacional</u></p> <ul style="list-style-type: none"> DÍAZ R. (2006), realizó la investigación titulada “Caracterización de los aerosoles atmosféricos y su influencia en los niveles de radiación UV en la Región de Canarias”. EXPÓSITO G. (199), realizó una investigación titulada: “Determinación del Espesor Óptico de Aerosoles Mediante Técnicas de 	<p><u>Hipótesis de la Investigación:</u></p> <p>Hi: La caracterización de la variación del espesor óptico de aerosoles registrados en el Observatorio de Huancayo, muestran que existe aumento de las concentraciones debido a las actividades humanas, como la quema de biomasa o el parque automotor, y a las condiciones del tiempo atmosférico.</p> <p><u>Hipótesis nula:</u></p> <p>Ho: La caracterización de la variación del espesor óptico de</p>	<p><u>Variable 1:</u></p> <p>Espesor óptico de aerosoles</p> <p><u>Dimensiones:</u></p> <p>_ Adimensional</p> <p><u>Tipo:</u></p> <p>_ Independiente</p> <p><u>Variable 2:</u></p> <p>Coefficiente de Ångström</p> <p><u>Dimensiones:</u></p> <p>_ Adimensional</p>	<p><u>Tipo de investigación:</u></p> <p>Aplicada</p> <p><u>Nivel de Investigación:</u></p> <p>Descriptivo-Correlacional</p> <p><u>Método General:</u></p> <p>Hipotético-Deductivo</p> <p><u>Diseño de investigación:</u></p> <p>No experimental.</p> <p><u>Tipo de diseño:</u></p> <p>Longitudinal</p> <p><u>Población:</u></p>

<p>diurna del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se caracteriza la variación mensual del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016? • ¿Cómo se caracteriza la variación estacional del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en 	<p>registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar la variación mensual del Espesor Óptico de Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016. • Caracterizar la variación estacional del Espesor Óptico por Aerosoles, registrados en el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016. 	<p>Teledetección de la Región De Canarias”.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La investigación realizada por ALMEIDA C. (2005), titulada: “Propiedades ópticas de partículas de aerosol e uma nova metodologia para a obtenção de espessura óptica via satélite sobre São Paulo”. <p><u>A nivel Nacional:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • El artículo científico que lleva como título: “Variabilidad temporal de aerosoles atmosféricos en Huancayo” (Vivanco, 2014). • El artículo científico titulado: 	<p>aerosoles registrados en el Observatorio de Huancayo, no muestra un comportamiento cíclico; porque las concentraciones varían independientemente de las condiciones atmosféricas, estacionales y de la influencia de las actividades humanas.</p> <p><u>Hipótesis alterna:</u> Ha: La caracterización de la variación del espesor óptico de aerosoles registrados en el Observatorio de Huancayo, se ven afectados por la actividad de la población como la construcción de la carrera aledaña.</p> <p><u>Hipótesis específicas:</u> H1: LOS valores de la caracterización de la</p>	<p>Tipo: _ Independiente</p>	<p>Comprende todas las medidas de espesor óptico de aerosoles atmosféricos del Observatorio de Huancayo.</p> <p><u>Muestra:</u> La muestra es no probabilística por conveniencia; ya que las mediciones son tomadas de un periodo en específico, desde marzo de 2015 hasta julio de 2016.</p> <p><u>Técnicas de recolección:</u> _Extracción de datos de AERONET y MODIS. _Fichas de registro de datos digitales.</p> <p><u>Técnicas de procesamiento:</u> -Procesamiento con computadora a</p>
---	--	--	---	---	---

<p>el Observatorio de Huancayo, periodo marzo-2015 hasta julio-2016?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se caracteriza la variación diurna, mensual y estacional de los aerosoles de acuerdo a su clasificación por tipos, periodo marzo-2015 hasta julio-2016? 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar la variación de los aerosoles de acuerdo a su clasificación por tipos, periodo marzo-2015 hasta julio-2016. 	<p>“Determinación del espesor óptico de aerosol en la Estación Antártida Peruana Macho Picchu” (Ángeles, 2013).</p> <ul style="list-style-type: none"> • El artículo científico titulado: “Estudio de la Dinámica del espesor óptico de aerosoles en Perú y América del Sur a partir de las imágenes MODIS de los satélites TERRA y AQUA en el periodo 2000-2013” (Rojas, y otros, 2015). • El artículo científico de PIÑAS S. (2015) que lleva como título: “Modelos e Instrumentos para estudios sobre Espesor Óptico de Aerosoles y su 	<p>variación diurna del espesor óptico de aerosoles aumentan mientras se incrementa la presencia de focos de incendio o quema de vegetación.</p> <p>H2: La caracterización de la variación mensual del espesor óptico de aerosoles presenta un comportamiento periódico, ya que en los meses de julio a setiembre las concentraciones aumentan.</p> <p>H3: La caracterización de la variación estacional del espesor óptico de aerosoles presenta un comportamiento estacional, debido a las condiciones características de cada</p>		<p>través de software Excel y Matlab.</p>
--	--	---	--	--	---

		<p>relación con el forzamiento radiativo terrestre”.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El artículo científico titulado: “Variabilidad Espacial y Temporal del Espesor Óptico de los Aerosoles sobre Perú usando Imágenes de Satélite” (Rojas A., y otros, 2009; Díaz, 2006). • El artículo científico lleva el título: “Estudio de la variación estacional de Ozono troposférico y Aerosoles del Perú relacionado a las Quemas de la Vegetación en la Amazonia” (Suárez, y otros, 2006). 	<p>estación; ya que en primavera y verano la presencia de estos aumenta, mientras que en otoño e invierno disminuye.</p>		
--	--	---	--	--	--

ANEXO N° 56: Trabajo realizado por Arden Pope III y Douglas W. Dockery, en junio de 2006; donde se especifica que los aerosoles atmosféricos, entre ellos el material particulado (PM), pueden causar daños a la salud humana así como afectar la calidad del aire.

2006 CRITICAL REVIEW

ISSN 1047-3289 *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 56:709–742
Copyright 2006 Air & Waste Management Association



C. Arden Pope III



Douglas W. Dockery

Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect

C. Arden Pope III
Department of Economics, Brigham Young University, Provo, UT

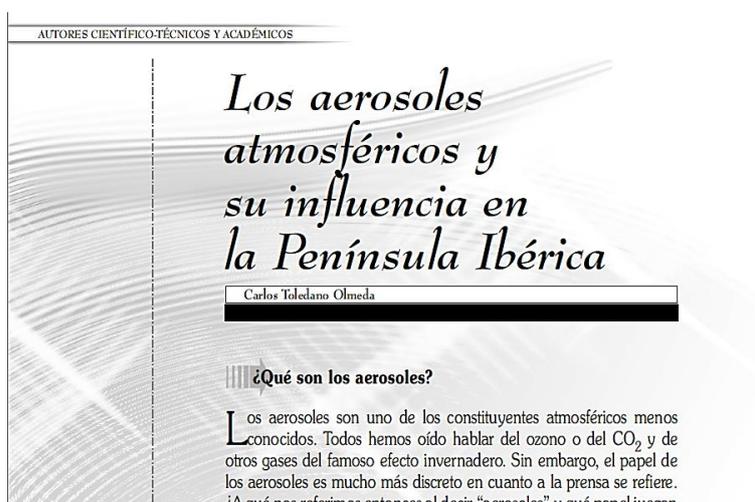
Douglas W. Dockery
Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Boston, MA

ABSTRACT

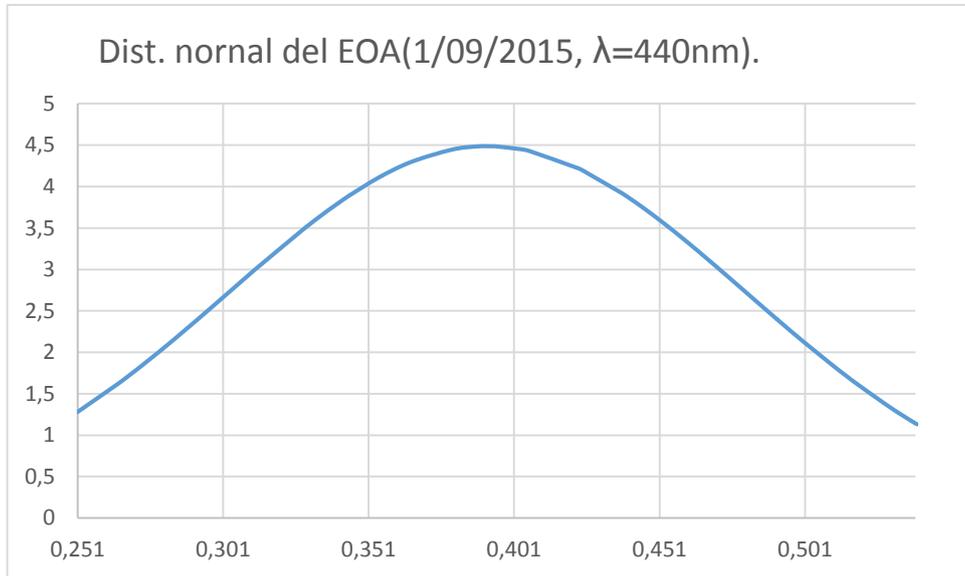
Efforts to understand and mitigate the health effects of particulate matter (PM) air pollution have a rich and interesting history. This review focuses on six substantial lines of research that have been pursued since 1997 that have helped elucidate our understanding about the effects of PM on human health. There has been substantial progress in the evaluation of PM health effects at different

United States reported apparent health effects at unexpectedly low concentrations of ambient PM. These efforts included: (1) a series of studies that reported associations between daily changes in PM and daily mortality in several cities^{17–24}; (2) the Harvard Six Cities and American Cancer Society (ACS) prospective cohort studies that reported long-term PM exposure was associated with respiratory illness in children²⁵ and cardiopulmonary mortal-

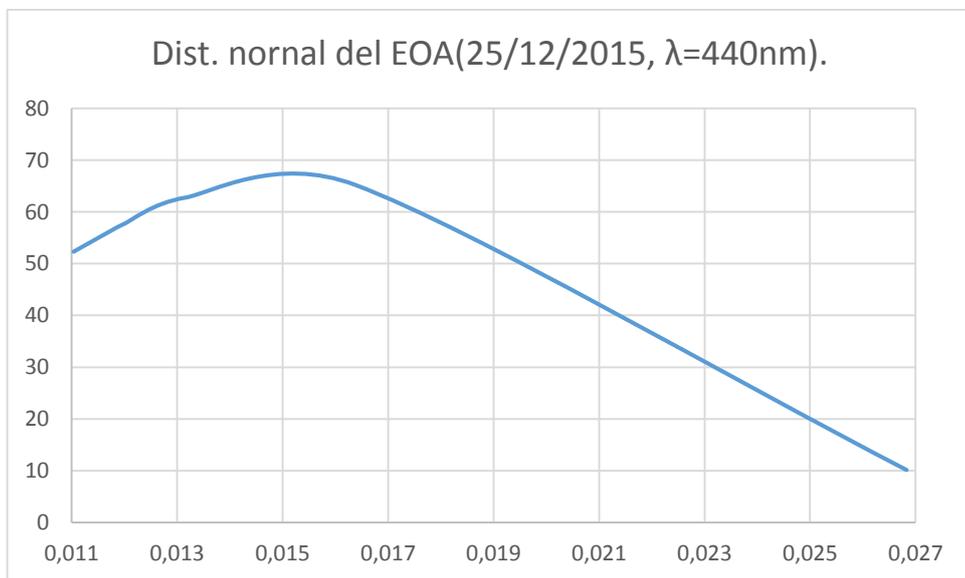
ANEXO N° 57: Manual Informativo realizado por Carlos Toledano en 2008; donde se explica los efectos directos e indirectos a la atmosfera de los aerosoles atmosféricos, así como la influencia en la característica ópticas de las nubes.



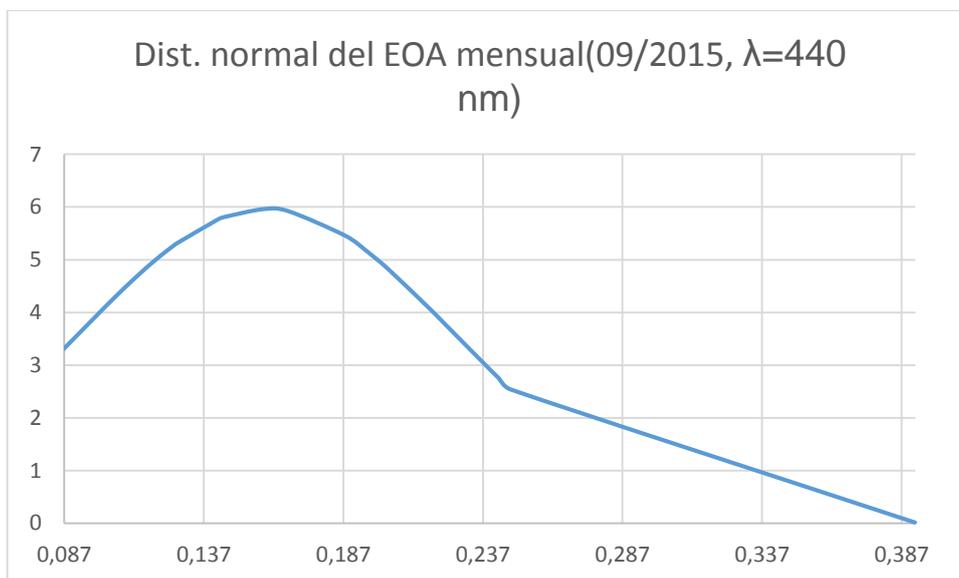
ANEXO N° 58: Campana de Gauss de los datos del EOA del 1 de septiembre de 2015, en la longitud de onda de 440 nm.



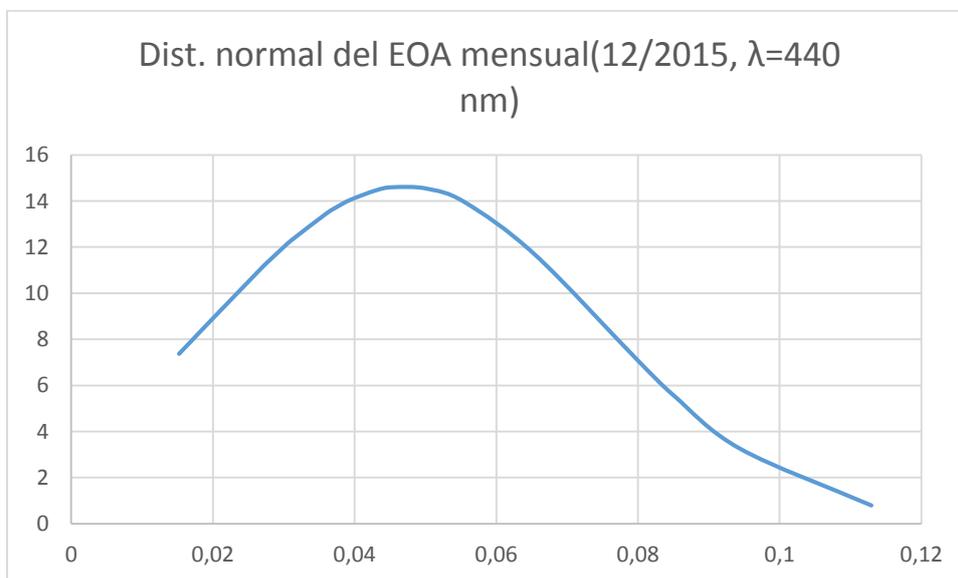
ANEXO N° 59: Campana de Gauss de los datos del EOA del 25 de diciembre de 2015, en la longitud de onda de 440 nm.



ANEXO N° 60: Campana de Gauss del EOA mensual del mes de septiembre de 2015, en la longitud de onda de 440 nm.



ANEXO N° 61: Campana de Gauss del EOA mensual del mes de diciembre de 2015, en la longitud de onda de 440 nm.



ANEXO N° 62: Campana de Gauss del EOA mensual de todo el periodo de estudio (2015-2016), en la longitud de onda de 440 nm.

