



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Forzamiento radiativo de la Concentración de material particulado
entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia de Brasil en el periodo
2020

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL

AUTORA:

Solano Navarro, Susán Estefani (ORCID: 0000-0002-8237-6487)

ASESOR:

Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio (ORCID: 0000-0002-3419-7361)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios, creador de todo, por guiar mis pasos rumbo al éxito frente a las adversidades.

A mis amados padres Vilma Navarro Ártica y Primitivo Solano Camayo, por ser partícipes en mi vida, darme amor, comprensión y ser mi mayor fortaleza para lograr mis objetivos; a mis hermanos Yeison y Yerson Solano por cuidarme, guiarme y ser mis ejemplos a seguir; a mi hijo Alessandro Mateo; por ser mi inspiración, fuerza y resignación por la pérdida de mi Madre como una víctima más del Covid-19; a mi pareja Ronald Mateo por ser mi sustento, cómplice y apoyo incondicional; a mis abuelos, madrina, sobrinos (Rousvi, Valentín) y familiares que han contribuido de manera directa o indirecta en uno de mis grandes logros como profesional.

Solano Navarro, Susan Estefani

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la universidad Cesar Vallejo que nos brinda la oportunidad de crecer como profesionales para un futuro mejor.

A mi familia Solano Navarro – Mateo Solano por brindarme el apoyo económico y emocional para seguir adelante.

A mi asesor externo Ing. Julio Ángeles Suazo, por su apoyo, paciencia y confiar en mí.

Al Dr. Ordoñez Gálvez, Juan Julio, por ser un gran líder y docente.

A la red AERONET-NASA por los datos brindados gratuitamente, como del Observatorio de Huancayo (Instituto Geofísico del Perú)

Al portal purple-air por los datos brindados.

Solano Navarro, Susan

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
INDICE DE TABLAS	iv
INDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	26
IV. RESULTADOS.....	30
V. DISCUSIÓN	45
VI. CONCLUSIONES	50
VII. RECOMENDACIONES	52
VIII. REFERENCIAS	53
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de investigación	27
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. distribuciones del tamaño de partículas de aerosol según USEPA 1996, 2004, y Querol et al. (2001)	14
Figura 2. Forzamiento radiativo global promedio debido a las actividades naturales y antropogénicas Desde 1950 (IPCC, 2013).....	17
Figura 3. Ubicación de las quemas de biomásas y estaciones de monitoreo..	28
Figura 4: Trayectorias de vientos: A. 300hpa, B. 450hp y utilizando C. el modelo HYSPLIT	31
Figura 5: Distribución de la concentración de material particulado menor a 1um para A. estación seca, B. estación húmeda, material particulado entre 1 a 2.5um para C. estación seca, D. húmeda, material particulado entre 2.5 a 10um para E. estación seca y F. húmeda.....	33
Figura 6: Distribución temporal de material particulado (menor a 1um, de 1 a 2.5um y valores entre 2.5 a 10um) para la estación A. El tambo, B. UEA-EST, C. MPAC_SRP_01, D. MPAC_MTH_01, E. MPAC_FIJ_01	34
Figura 7: Correlación múltiple entre la estación T1 y T2, T3, T4, T5 para MP1, MP2.5 y MP10	35
Figura 8: Variación mensual del espesor óptico de aerosol para las áreas de A. Huancayo, B. Paraná y C. Rio Branco	36
Figura 9: Forzamiento radiativo en Huancayo durante el periodo 2016	38
Figura 10: Forzamiento radiativo en Huancayo durante el periodo 2017	39
Figura 11: Forzamiento radiativo directo mensual en Huancayo durante 2020.	42
Figura 12: Forzamiento radiativo directo mensual en Paraná durante 2020 ...	42
Figura 13: Forzamiento radiativo directo mensual en Rio Branco durante 2020	43
Figura 14: Promedio mensual de forzamiento radiativo para A. Huancayo, B. Paraná, C. Rio Branco durante 2020.....	44
Figura 15: Relación de forzamiento radiativo directo entre Huancayo, Parana y Rio Branco	44

RESUMEN

Describimos los resultados del estudio de profundidad óptica de aerosoles (EOA) y Forzamiento Radiativo Directo (FRD) en Top Of Atmosphere (TOA), obtenidos a partir de la medición y seguimiento de red AERONET en los meses de enero y diciembre de 2020 a las ciudades de Huancayo, Paraná y Rio Branco. Utilizamos un fotómetro solar CIMEL, que se encuentra dentro del marco instrumental de la NASA. Este instrumento midió y calculo el EOA donde varió entre 0.01 a 0.5, para las tres ciudades en estudio, presenta el valor máximo que es 0.48 (enero) y mínimo que es 0.19 (junio) para Huancayo. Propiedades ópticas registradas utilizadas para estimar el forzamiento radiativo de aerosol directo (FRAD) en la parte superior de la atmósfera. Los resultados indican que, en el sitio de Paraná, Rio Branco y Huancayo el FRD está entre [-100 -20]; [-70-5] y [-200 -6] W / m² respectivamente.

Palabras clave: Aerosol, Forzamiento radiativo, Brasil, Perú

ABSTRACT

We describe the results of the study of aerosol optical depth (AOD) and Direct Radiative Forcing (DRF) in Top Of Atmosphere (TOA), obtained from the measurement and monitoring of AERONET red in the months of January and december 2020 to the cities of Huancayo, Parana and Rio Branco. Our used a CIMEL sun photometer, which is within the instrumental framework of the NASA. This instrument measured and calculated of AOD and varied between 0.01 to 0.5, to the three cities in study, presents the value maximum that is 0.48 (january) and minimum that is 0.19 (June) to Huancayo. Recorded optical properties used to estimate the direct aerosol radiative forcing (DARF) at the top of the atmosphere. The results indicates that on Parana, Rio Branco and Huancayo site the DARF is between [-100 -20]; [-70 -5] and [-200 -6] W/m² respectively.

Keywords: Aerosol, Radiative Forcing, Brasil, Perú

I. INTRODUCCIÓN

La población humana desde la antigüedad tiende a migrar desde las zonas rurales hacia las zonas urbanas (ciudades), aumentando la concentración de población en un solo lugar, esta población necesita satisfacer necesidades, para lo cual inician a utilizar los recursos naturales y generar residuos sólidos, líquidos y gaseosos que afectan al medio ambiente. Uno de estos residuos son las partículas que se encuentran suspendidas en la atmosfera a los que se les denomina aerosoles atmosféricos (Young, y otros, 2001).

Los aerosoles atmosféricos desarrollan un papel muy importante dentro del clima, de manera directa al absorber y dispersar la radiación solar, e indirecta al funcionar como núcleos de condensación de nubes (CCN) (Deng et al. 2014) . Los efectos de los aerosoles sobre el clima según el Panel Intergubernamental Del Cambio Climático (IPCC) son la mayor incertidumbre a la hora de evaluar el forzamiento radiativo (Young, y otros, 2001).

En el Perú, los aerosoles atmosféricos provienen principalmente de la Amazonía, siendo su fuente de origen en un alto porcentaje la quema de biomasa, a esto se incluye los provenientes de otros países como Brasil, Colombia, Venezuela, etc. (R . P Piñas Sumalave 2015). Además, este aumento coincide con el inicio de incendios, generado por los agricultores en la región amazónica para la limpieza y preparación de sus terrenos agrícolas (Cristóbal Vivanco 2014).

La presente investigación tiene como **problema general**: ¿Cuál es la relación del forzamiento radiativo de la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña-2020?, y como **problemas específicos**: ¿Cuál es la variabilidad temporal de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020?, ¿Cuál es el comportamiento de los vientos en el transporte de material particulado desde la Amazonia Brasileña hacia Huancayo?; ¿Cuál es la relación de concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña?, ¿Cuál es el forzamiento radiativo

en Huancayo y Brasil?

La justificación Ambiental, es debido a que las actividades antropogénicas en la provincia de Huancayo en los últimos años han venido afectando la temperatura, la precipitación, etc., convirtiéndose así en un factor negativo para la contaminación atmosférica; contribuyendo al calentamiento global y cambio climático, siendo uno de los impactos de estas actividades la dispersión y absorción de la radiación solar visible que llega a la superficie. Es muy importante comprender el impacto que dichas actividades están causando al ambiente.

Los aerosoles atmosféricos son el material particulado que se encuentra suspendido en la atmosfera (Pope and Dockery, 1994), en la actualidad su estudio es vital debido a los efectos adversos que estas partículas pueden causar en la salud de los habitantes de la Provincia de Huancayo, ya que a menor tamaño del material particulado mayor es la posibilidad de inhalación de estas partículas y por ende mayor vulnerabilidad de las personas a contraer enfermedades, también causa efectos adversos al ambiente, causando fenómenos como cambios drásticos en la temperatura, lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, etc., comprobados por diversos estudios científicos así como por el importante papel que desempeñan en el balance radiativo del sistema tierra – atmósfera y en el ciclo hidrológico. (Trujillo Navarrete, 2013)

Además, respondiendo a las preguntas de investigación, se formuló como **objetivo general**: Determinar la relación entre el forzamiento radiativo de la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña-2020, y como **objetivos específicos**: Determinar la variabilidad temporal de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020, Determinar el comportamiento de los vientos en el transporte de material particulado desde la Amazonia Brasileña hacia Huancayo; Determinar la relación de concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña, Determinar el forzamiento radiativo en Huancayo y la Amazonia de Brasil

A lo ya mencionado, se adiciona la **hipótesis general**: La relación del

forzamiento radiativo directo del material particulado sobre Huancayo y Amazonia de Brasil durante el periodo 2020 presenta valores negativos produciendo un enfriamiento en el sistema atmosférico, y como hipótesis específicos: la variabilidad temporal de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020 presenta valores máximos en la estación seca, Los vientos influyen significativamente en el transporte de material particulado de la Amazonia Brasileira hacia la ciudad Huancayo; Existe una relación directa entre la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña, El forzamiento radiativo en Huancayo y la Amazonia de Brasil es menor a cero.

II. MARCO TEÓRICO

En el desarrollo de investigación se revisaron diferentes artículos, revistas e investigaciones de pensadores que guardan relación con el presente trabajo. Seguidamente, se exhiben los trabajos previos con similitud:

De La Cruz et al. (2019), en su investigación titulada “Chemical characterization of PM 2.5 at rural and urban sites around the metropolitan area of Huancayo (Central Andes of Perú)”, donde determina la concentración másica de PM2.5 y el contenido de oligoelementos e iones solubles en agua en muestras recolectadas dentro del Área Metropolitana de Huancayo. Se instalaron cuatro estaciones de monitoreo en tres áreas urbanas (UNCP, HYO y CHI) y una rural (IGP). La campaña de muestreo se llevó a cabo en marzo de 2017 a noviembre de 2017. El contenido de PM2.5 se determinó por método gravimétrico, y se detectaron quince oligoelementos y siete iones solubles en agua mediante espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y cromatografía iónica (IC), respectivamente. Los conjuntos de datos se evaluaron mediante una prueba ANOVA para detectar diferencias significativas entre las estaciones de monitoreo. Se aplicó el análisis jerárquico de conglomerados (HCA) y el análisis de componentes principales (PCA) para la identificación de fuentes. La concentración media anual de las concentraciones másicas de PM2.5 ha variado (promedio) de 3.4 a 36.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($16.6 \pm 6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para las estaciones de monitoreo bajo estudio. Se superaron los umbrales anuales de la Organización Mundial de la Salud y los estándares nacionales de calidad del aire. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la mayoría de los elementos traza en áreas urbanas y rurales.

Li et al. (2020) en su investigación titulada “Spatiotemporal imputation of MAIAC AOD using deep learning with downscaling”, concluye que las tecnologías de teledetección se han aplicado ampliamente para estimar las concentraciones de PM2.5 y que posee alta confiabilidad para su estimación y es fundamental para los lugares donde el hombre no posee un acceso fácil y libre.

Zhang et al. (2019)). en su investigación titulada “Drivers of improved PM2.5 air quality in China from 2013 to 2017”, determina que el producto AOD del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) recientemente lanzado se está volviendo cada vez más popular para estimar concentraciones de PM2.5 debido a su mayor precisión con una resolución espacial más fina.

Xiao et al. (2017) en su investigación titulada “Full-coverage high-resolution daily PM2.5 estimation using MAIAC AOD in the Yangtze River Delta of China”, indica que, el algoritmo de recuperación de AOD puede fallar debido a cielos nublados, cobertura de nieve o alta reflectancia en la superficie, lo que lleva a una ausencia no aleatoria en el producto AOD.

Lee, Chatfield y Strawa (2016) y Ma et al. (2016), en sus investigaciones tituladas “Enhancing the Applicability of Satellite Remote Sensing for PM2.5 Estimation Using MODIS Deep Blue AOD and Land Use Regression in California, United States”; “Satellite-derived high resolution PM2.5 concentrations in Yangtze River Delta Region of China using improved linear mixed effects model”. respectivamente, nos menciona que, las concentraciones de PM2.5 solo se estimaron en base a las recuperaciones de AOD disponibles en el sensor MODIS, lo que resultó en una alta tasa de pérdida de estimaciones diarias de PM2.5, además que el sensor MODIS es importante por su nivel de confiabilidad por su resolución espacial y temporal.

Bahadur et al. (2012) en su investigación titulada “Solar absorption by elemental and brown carbon determined from spectral observations”, determina que el material particulado fino (PM 2.5) tiene impactos dañinos en la salud pública, y que la calidad del aire y la visibilidad juega un papel importante en el cambio climático al afectar el balance de radiación de la Tierra. Asimismo, el carbono negro, que se emite directamente por la quema de biomasa y los vehículos, absorbe fuertemente la radiación solar y es un importante contribuyente al forzamiento climático, solo superado por el CO2

Cheng et al. (2016) en su investigación titulada ”Status and characteristics of

ambient PM2.5 pollution in global megacities” Cuantifica los Iones inorgánicos secundarios solubles en agua, incluidos sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), y componentes carbonosos, principalmente carbono orgánico (CO) y carbono elemental (CE), que son constituyentes principales de PM2.5 en las principales megaciudades del mundo.

Reid y Aherne (2016) en su investigación titulada “Staggering reductions in atmospheric nitrogen dioxide across Canada in response to legislated transportation emissions reductions”, nos dice que los ARS se forman principalmente a partir de sus respectivos precursores gaseosos, a saber, SO_2 , NO_x y NH_3 , a través de reacciones en fase gaseosa y acuosa.

Qiao et al. (2019), en su investigación titulada “Characterization of water soluble inorganic ions and their evolution processes during PM2.5 pollution episodes in a small city in southwest China”, determina que los aerosoles debido a su higroscopicidad y propiedades de dispersión de la radiación solar, juega un papel importante en el deterioro de la visibilidad o la aparición de neblina y eventos de fuerte contaminación del aire.

Chen et al. (2021) en su investigación titulada “An interpretable self-adaptive deep neural network for estimating daily spatially-continuous PM2.5 concentrations across China”, estima la concentración diaria espacial continua de PM2.5 (partículas finas), que es un requisito previo para abordar los problemas de salud pública ambiental, y los productos del espesor óptica de aerosol (AOD) basados en satélites se han utilizado ampliamente para estimar las concentraciones de PM2.5 utilizando modelos estadísticos. Sin embargo, los modelos basados en estadística simplifican demasiado las relaciones AOD-PM2.5, mientras que las tecnologías complejas de aprendizaje automático ignoran la heterogeneidad espacio-temporal de los predictores y demuestran una escasez de interpretación. Además, las grandes extensiones de datos de AOD que dan lugar a sesgos de estimación de PM2.5 rara vez se han imputado en estudios anteriores, especialmente a escalas nacionales. Para llenar los vacíos de investigaciones anteriores, este estudio intenta presentar una metodología factible para estimar las concentraciones diarias

de PM_{2.5} en China. Los resultados de la validación mostraron una alta precisión del modelo con coeficiente de determinación y valores de error cuadrático medio iguales a 0.86 (0.84) y 13.07 (14.30) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente,

Wang et al. (2021) , en su investigación titulada “Spatiotemporal trends of PM_{2.5} and its major chemical components at urban sites in Canada”, evalúa la efectividad de las regulaciones de control de emisiones diseñadas para reducir la contaminación del aire, durante la última década, donde se recopilaron datos de PM_{2.5} en Canadá a través de la red Nacional de Vigilancia de la Contaminación del Aire. Se analizaron el PM_{2.5} cada 24 horas, recolectadas en siete sitios urbanos y dos rurales durante 2010-2016 para caracterizar los patrones geográficos y estacionales; como las posibles causas asociadas. Las concentraciones promedias de masa de PM 2.5 durante siete años oscilaron entre 5.7 a 9.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Liu et al. (2021), en su investigación titulada “Chemical formation and source apportionment of PM_{2.5} at an urban site at the southern foot of the Taihang mountains”, indica que Taihang en la llanura del norte de China se caracteriza por una grave contaminación por partículas finas. Para aclarar el mecanismo de formación y los factores de control, realizaron un estudio observacional para investigar las propiedades físicas y químicas de las partículas finas en la ciudad de Jiaozuo, China. Las concentraciones máscas de iones solubles en agua de PM 2.5 y precursores de contaminantes gaseosos, que se midieron cada hora desde el 1 de diciembre de 2017 hasta el 27 de febrero de 2018. Se utilizó el método de factorización de matriz positiva (PMF) para identificar las fuentes de PM_{2.5}. Los resultados mostraron que la concentración de masa promedio de PM_{2.5} fue de 111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el período de observación.

Amarillo et al. (2021), en su investigación titulada “Exploratory analysis of carbonaceous PM_{2.5} species in urban environments: Relationship with meteorological variables and satellite data”, analizó la composición química carbonosa y la concentración máscas de partículas con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm (PM_{2.5}), así como su relación con datos satelitales y variables meteorológicas. Se recolectaron muestras de PM_{2.5} en nueve sitios de muestreo

con diferente uso del suelo en el área metropolitana de la ciudad de Córdoba, durante el otoño e invierno de 2018, y se midieron las concentraciones de carbono orgánico (OC) y carbono elemental (CE). El espesor óptico del aerosol (AOD) se obtuvo del sensor MODIS, de los satélites Aqua y Terra. El AOD se validó utilizando datos de fotómetros solares terrestres. Además, la concentración y composición de la masa de PM_{2.5} se simularon utilizando modelos de regresión lineal múltiple, con el AOD y los parámetros meteorológicos como variables de entrada. Los datos mostraron que las concentraciones de masa de PM_{2.5} variaron en el espacio a lo largo de la ciudad; de hecho, en cuatro sitios de muestreo, excedieron las pautas diarias de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las concentraciones de masa de OC y EC fueron moderadas y bajas, respectivamente, en comparación con otras ciudades del mundo.

Song et al. (2021), en su investigación titulada "Characteristics of aerosol chemical components and their impacts on direct radiative forcing at urban and suburban locations in Southeast Texas", indica que las características mensuales/estacionales de la concentración y el espesor óptico del aerosol (AOD) de cuatro componentes del aerosol (soluble en agua, insoluble, carbón negro (BC) y sal marina) y su forzamiento radiativo directo (DRF) se investigaron en tres ubicaciones en el sureste de Texas. Utilizaron muestras de partículas finas (PM_{2.5}) medidas en un sitio residencial urbano (Aldine (AD)) y dos sitios suburbanos (Deer Park (DP) y West Liberty (WL)) ubicados alrededor de Houston durante 2016-2017, y realizó un modelo -análisis basado en las concentraciones de masa de los cuatro componentes del aerosol para evaluar su impacto en el DRF. Se encontró que los DRF en la parte superior de la atmósfera (DRFTOA) y en el nivel de la superficie (DRFSFC) para la mayoría de los componentes del aerosol fueron más altos en el invierno de 2017 (AD), la primavera de 2016 e invierno de 2017 (DP), y el invierno de 2016 y otoño de 2017 (WL). Las excepciones fueron la sal marina y los componentes insolubles, que mostraron un pico en el verano de 2016 y ninguna variación mensual clara, respectivamente. Se encontró que las incertidumbres en los DRF de los cuatro componentes de aerosol, objetivo calculado utilizando mediciones de humedad relativa (HR) in situ eran inferiores al 20%, con la excepción del componente soluble en agua en WL (24%). Una prueba de

sensibilidad mostró que los DRF de los componentes del aerosol estaban leve y significativamente influenciados por cambios en la AOD y el albedo de dispersión simple, respectivamente; además, sensiblemente cambiado con RH.

Wu et al. (2021), en su investigación titulada “Radiative effects and chemical compositions of fine particles modulating urban heat island in Nanjing, China”, indica que el material particulado con diámetros aerodinámicos no mayores de $2.5\mu\text{m}$ (PM_{2.5}) afecta la radiación solar por medios directos e indirectos, y los efectos varían con diferentes composiciones. Las distribuciones heterogéneas de la concentración y composición de PM_{2.5} entre el centro urbano y las áreas suburbanas conducen a cambios en la intensidad de la isla de calor urbano (UHI). Este estudio investigó los efectos directos e indirectos de PM_{2.5} y el impacto de la dispersión y absorción de PM_{2.5} en la intensidad de UHI en Nanjing, China, utilizando modelos numéricos. Los resultados mostraron que tanto los efectos directos como indirectos de PM_{2.5} redujeron la intensidad del UHI (aproximadamente entre 0.04 K y 0.07 K) durante el día y la fortalecieron durante la noche (aproximadamente entre 0.05 K y 0.08 K). Además, las composiciones de dispersión y absorción tienen un impacto comparable en la UHI donde la concentración de las composiciones de dispersión es nueve veces la concentración de las composiciones de absorción. Ambos disminuyeron la intensidad de la UHI durante el día (hasta aproximadamente 0,1 K) y la aumentaron durante la noche (hasta aproximadamente 0,12 K). La existencia de composiciones absorbentes de PM_{2.5} y sus altas concentraciones pueden haber trabajado en conjunto para enmascarar el fenómeno UHI y otros problemas encontrados en el desarrollo urbano en las últimas décadas.

Flores et al. (2016), en su investigación titulada “Estimation of atmospheric turbidity and surface radiative parameters using broadband clear sky solar irradiance models in Rio de Janeiro-Brasil”, en su investigación: estima la turbidez atmosférica y los parámetros de radiación superficial usando modelos de banda ancha para cielo despejado en Río de Janeiro-Brasil. El objetivo principal de este documento fue estimar un conjunto de valores óptimos estacionales, diarios y por hora de la turbidez atmosférica y parámetros de radiación superficial como el

coeficiente de turbidez de Angstroms, y albedo medio de superficie (ρ_g) usando el método de minimización multidimensional “Fuerza neta” con la finalidad de minimizar la diferencia entre los componentes de irradiancia solar medidos y simulados, expresados como funciones de costo. Para simular los componentes de la irradiación solar de onda corta (directa, difusa y global) para condiciones de cielo despejado, incidentes sobre una superficie horizontal en el Área Metropolitana de Río de Janeiro (AMRJ) Brasil ($22^{\circ}51'27''$ S, $43^{\circ}13'58''$ W), donde se usó dos modelos parametrizados de irradiación solar de banda ancha, llamados CPC2 e Iqbal C, basados en información sinóptica. Las variables meteorológicas tales como el agua precipitable (uw) y la concentración de ozono (uo) requeridas por los modelos solares de banda ancha se obtuvieron a partir del sensor MODIS (Espectro radiómetro de imagen de resolución moderada) en las plataformas Terra y Aqua NASA. Para los procesos de implementación y validación, se utilizó datos de irradiancia solar global y difusa medidos por la plataforma radiométrica de LabMiM, ubicada en el área norte del MARJ. Los datos se midieron entre los años 2010 y 2012 en intervalos de 1 minuto. El rendimiento de los modelos de irradiancia solar utilizando parámetros óptimos se evaluó con varios indicadores estadísticos cuantitativos y un subconjunto de datos medidos de irradiancia solar.

Silva et al. (2017) en su investigación titulada “Particulate matter levels in a South American megacity: the metropolitan area of Lima-Callao, Perú”, indica que en Perú, los estudios sobre la composición química y los iones solubles en agua de material particulado son escasos en la literatura científica. Por ejemplo, estudiaron los niveles de concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} medidos de 2010 a 2015 en el área metropolitana de Lima-Callao. Los resultados mostraron que las concentraciones de PM_{2.5} excedieron los umbrales anuales de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los estándares nacionales de calidad del aire (ECA).

Suárez-Salas et al. (2017) en su investigación titulada “CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO DEL CENTRO URBANO DE HUANCAYO, PERÚ”, midió las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} en muestras recolectadas durante tres meses en 2007 en el centro urbano de Huancayo y concluyeron que la concentración de PM_{2.5} excedía la normativa anual

peruana de calidad del aire.

De La Cruz et al. (2018) en su investigación titulada “Trace element biomonitoring in the Peruvian andes metropolitan region using Flavoparmelia caperata lichen”, utilizaron líquenes como biomonitores. Sus resultados a través del análisis de componentes principales (PCA) mostraron 3 grupos de oligoelementos: Grupo 1 (Ba, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Sb, V y Zn), grupo 2 (As y Cd) y grupo 3 (K y Rb) se originaron en fuentes vehiculares, prácticas agrícolas y fuentes naturales, respectivamente.

Lu et al. (2019), Luo et al. (2020), Brunekreef and Hoffmann (2016), Krishan et al. (2019; Lelieveld et al. (2015); Lin et al. (2020); Sekar et al. (2016); en sus investigaciones tituladas “Analysis of the adverse health effects of PM2.5 from 2001 to 2017 in China and the role of urbanization in aggravating the health burden”; “Quantifying public health benefits of PM2.5 reduction and spatial distribution analysis in China”; “Air quality modelling using long short-term memory (LSTM) over NCT-Delhi, 40 India”; “The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale”; “Air pollutants and subsequent risk of chronic kidney disease and endstage renal disease”: A population-based cohort study”; “Potential Assessment of Neural Network and Decision Tree Algorithms for Forecasting Ambient PM2.5 and CO Concentrations Case Study” respectivamente, cuantificaron que el PM2.5 (material particulado fino con diámetros aerodinámicos menores de 2.5 μm), puede estar suspendido en el aire por un tiempo prolongado y adherir sustancias tóxicas y microorganismos que se asocia en gran medida con la mortalidad premature.

Butt et al. (2017) en su investigación titulada “Global and regional trends in particulate air pollution and attributable health burden over the past 50 years”, demostró que las concentraciones de PM2.5 han aumentado aproximadamente un 53% en China durante los últimos cincuenta años.

Park et al. (2020) en su investigación titulada “Estimation of spatially continuous daytime particulate matter concentrations under all sky conditions

through the synergistic use of satellite-based AOD and numerical models”; estimo que la concentración diaria de PM_{2.5} es un requisito previo para abordar los problemas de salud pública ambiental, el Plan de acción de control y prevención de la contaminación del aire fue promulgada por el gobierno chino en 2013 para monitorear mejor las concentraciones de PM_{2.5} mediante el establecimiento de redes de monitoreo en China. Sin embargo, la cobertura de las redes de monitoreo todavía es escasa para identificar la heterogeneidad espacio-temporal de las concentraciones de PM_{2.5} en China. Por lo tanto, la estimación espacial continua diaria de las concentraciones de PM_{2.5} es de gran importancia para el gobierno chino y los epidemiólogos.

Saad et al. (2016); en su investigación titulada “Spatial and temporal variability of the atmospheric turbidity in Tunisia”, en su investigación: Variabilidad espacial y temporal de la turbidez atmosférica en Túnez menciona que la turbidez atmosférica es un parámetro importante en meteorología, climatología y proporciona información retrospectiva sobre la contaminación atmosférica de partículas en áreas locales. En este trabajo se hicieron 1260 mediciones de radiación solar directa realizadas en el Centro de Túnez, en marzo de 2015 a febrero de 2016. Estas mediciones se realizaron con un pirheliómetro solo cuando las nubes no obstruían el disco solar. La turbidez atmosférica se cuantifica por medio tanto del factor de turbidez de Linke (TLI) como del coeficiente de Angstrom (β). Durante el año, los valores de TLI y β varían en los rangos 1 - 15 y 0 - 0.7, con los valores más probables alrededor de 3.5 y 0.05, respectivamente. Sin embargo, se observa un patrón estacional marcado para los dos parámetros de turbidez. Logran su máximo en los meses de primavera y verano, su mínimo en invierno y otoño aparece como un período de transición. La comparación de los resultados obtenidos en el Centro de Túnez con tres estaciones de AERONET ubicadas en el norte (Cartago), centro-norte (Ben Salem) y en el sur (Medenine) Túnez, revela que este patrón estacional de turbidez atmosférica es válido para todo el territorio tunecino, y probablemente más allá. En escalas de tiempo más cortas (por hora), el comportamiento diurno de la turbidez en el Centro de Túnez es diferente en los meses de verano de lo observado durante el resto del año. De hecho, se observa una mejora de TLI durante el día. Esto se atribuye supuestamente a la producción

de aerosoles secundarios por fotoquímica atmosférica. Se compararon algunos resultados diarios para el exponente de longitud de onda de Angstroms (α) con los valores del parámetro Angstroms (440-870 nm) obtenidos por red robótica de aerosol (AERONET) durante 11 días, que muestran un nivel aceptable. Los resultados para el coeficiente de turbidez Angstroms β , asociado con la cantidad de aerosoles en la atmósfera, muestra un patrón estacional de acuerdo con el aumento de la precipitación durante los meses de verano (diciembre de febrero) en el MARJ.

Después de la revisión de los antecedentes, se presentó los principales conceptos relacionados a las variables del proyecto de investigación, como: Los aerosoles atmosféricos son pequeñas partículas líquidas o sólidas que están presentes un medio gaseoso como la atmósfera, tienen una velocidad de caída insignificante por lo que estas partículas pueden permanecer por horas, días, semana o meses. Su proveniencia es de diferentes fuentes, como pueden ser de origen antrópico, emisiones de las industrias, combustión interna de vehículos, incendios forestales o quema de vegetación (Carrillo y Marin, 2007). También estas partículas tienen orígenes naturales, como fuentes tenemos polvos de los desiertos, polen, sales marinas, minerales derivados por la erosión de los vientos sobre alguna superficie geológica, polen, hongos, bacterias, virus, o erupciones volcánicas, entre otros (Cholan y Rojas, 2016).

La cantidad de masa de aerosoles presente en una unidad de volumen de aire, también es variable, oscilando desde 1 ug/m^3 , valor que se observa en los casquetes polares o en la troposfera libre, hasta los 1000 ug/m^3 , que se observan en las tormentas de arena o en los humos cargados de ceniza de los incendios forestales (Cristóbal Vivanco, 2014; Cholan y Rojas, 2015)

La producción de grandes cantidades de partículas se asocia a diferentes procesos en su mayoría antrópicos como producción, industrial y agroindustrial (Céspedes, Cuero y Hernández, 2015)

Los aerosoles presentes en la atmosfera pueden ser transportados a grandes distancias de la fuente de origen, siendo así más difícil de calcular, como

un ejemplo ponemos los aerosoles generados por la quema de biomasa en amazonia en temporadas secas desde Junio hasta Noviembre, que pueden ser trasladadas hasta los andes Peruanos (Suarez et al., 2015).

El tamaño de los aerosoles varía desde unos pocos nanómetros hasta cientos de micras de diámetro y se clasifican en función de su diámetro como se muestra en la **Figura 1**. Las partículas con diámetros mayores de 2,5 μm se clasifican como partículas gruesas, teniendo como ejemplo los aerosoles marinos, polvo del suelo, emisiones volcánicas y de origen biogénico de partículas. Aquellos con un diámetro inferior a 2,5 μm son llamados partículas finas, que incluyen típicamente la mayor parte del número total de partículas. Las partículas de la modalidad de precisión pueden subdividirse en otras tres clases de tamaño: la moda de nucleación ($D_p < 30 \text{ nm}$); Moda Aitken ($30 < D_p < \sim 120 \text{ nm}$) y la acumulación de la moda ($\sim 80 < D_p < \sim 2500 \text{ nm}$).

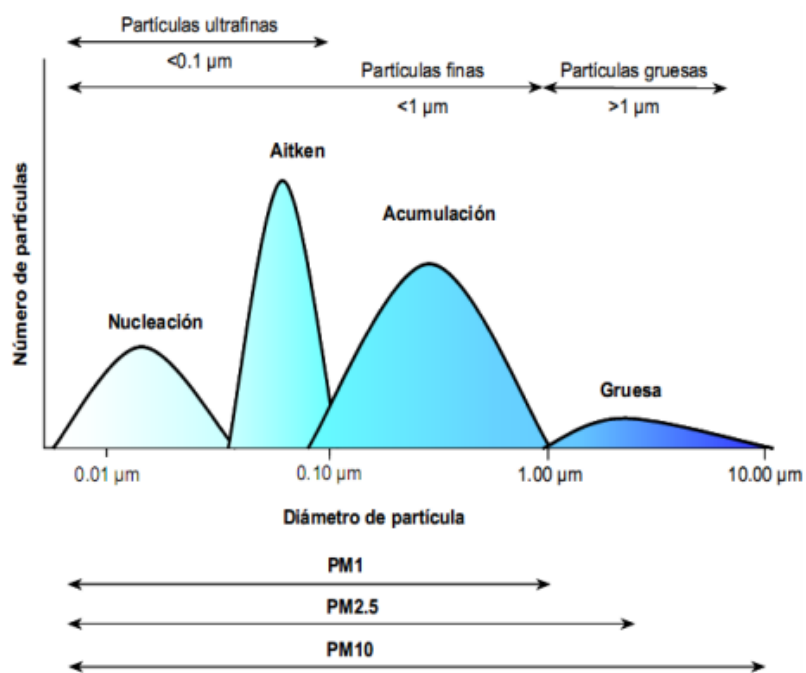


Figura 4. distribuciones del tamaño de partículas de aerosol según USEPA 1996, 2004, y Querol et al. (2001)

El aerosol tiene su propio ciclo atmosférico, que implica su transformación y deposición. El tiempo de permanencia en la atmósfera es del orden de un día a dos

semanas en la troposfera, y alrededor de un año en la estratosfera (Seinfeld y Pandis, 2006). La emisión de partículas y procesos naturales hecha por el hombre en la atmósfera libera grandes cantidades de aerosoles que efectúan cambios en sus propiedades físico-químicas. Después de liberado a la atmósfera, las partículas de aerosol interactúan con el entorno circundante y entre sí por medio de un número de procesos físico-químicas, tales como la condensación, la deposición de activación de la coagulación de nucleación y la oxidación. Estos procesos son importantes porque afectan a las propiedades ópticas y la siembra de nubes de aerosol. El ciclo de vida de las nubes, a su vez, está relacionado con el equilibrio de precipitación y radiación, además de ser influenciado por las propiedades de superficie y termodinámica de la atmósfera en su conjunto.

Los aerosoles afectan el balance radiativo de la tierra directamente por dispersión y absorción de la radiación solar (Charlson et al., 1992); (Kiehl y Briegleb, 1993), e indirectamente, a través de su acción como núcleos de condensación de nubes (Andreae et al., 2004); (Kaufman et al., 2005), y fue identificado como una de las mayores fuentes de incertidumbre en la interpretación clima de la Tierra a en escala global y regional (IPCC, 2013).

A través del efecto de dispersión de aerosol, gran parte de la radiación solar incidente cambia de dirección y se envía de vuelta al espacio, lo que resulta un enfriamiento y por lo tanto se da un forzamiento negativo. Por otra parte, cuando la radiación es absorbida por las partículas, su energía se convierte en calor causando el calentamiento de la región donde se encuentra la partícula, y que resulta en un forzamiento positivo. Por otra parte, si las partículas se componen de una mezcla de material dispersor puro, tal como sulfato de amonio y parcialmente absorbente, tales como el hollín, el efecto de enfriamiento o de calentamiento depende de la forma en la que las dos sustancias se mezclan en una población de partículas.

El efecto indirecto de aerosoles en el cambio climático es causado por la formación de nubes. Todas las gotas de las nubes están formadas por agua que se condensa en un aerosol de partículas. Al cambiar el tamaño, la concentración y composición química de los aerosoles, la cantidad de nubes varía como

consecuencia de sus propiedades ópticas (Ramanathan et al., 2001). El segundo efecto indirecto es también el resultado de pequeñas gotas de las nubes que retrasa la precipitación y por lo tanto aumenta la vida de las nubes (Albrecht, 1989).

Los aerosoles están formados de muchos compuestos diferentes, dependiendo de su origen. Según el último informe del IPCC, los principales constituyentes del aerosol atmosférico son especies inorgánicas (por ejemplo, sulfatos, nitratos., Sal marina), especies orgánicas (especies carbonosas en general, a excepción de C.), el carbono negro y las especies minerales (Boucher et al., 2013).

Por otro lado, la transferencia radiativa es un proceso físico de transferencia de energía en forma de radiación electromagnética. La propagación de radiación a través de la atmosfera es afectada por los procesos de absorción, emisión y dispersión de la radiación solar por los diversos constituyentes atmosféricos.

Asimismo, definiremos el forzamiento radiativo que es un cambio impuesto en el balance radiativo de la Tierra. Se mide por el cambio en el flujo por radiación neta en un cierto nivel en la atmósfera, que se producen en respuesta a una perturbación.

De acuerdo con la definición adoptada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), el forzamiento radiactivo se define como la diferencia en la radiación neta en la tropopausa entre un estado de referencia y un estado preocupada por un agente de cambio climático externa. El IPCC adopta el principio de la revolución industrial (considerada 1750) estado de referencia (Myhre et al., 2013).

Los aerosoles atmosféricos en general enfrían el sistema climático y por lo tanto se oponen al calentamiento de los gases de efecto invernadero ($1,68 \text{ W/m}^2$) (IPCC, 2013). Los aerosoles de origen antropogénico (principalmente sulfatos, nitratos, carbono orgánico, polvo mineral y negro de carbono), por ejemplo, en conjunto producen un efecto de enfriamiento, con un forzamiento radiactivo directo

el nivel general de -0.27 ($0,77$ a $0,23$) W/m^2 (IPCC, 2013) (**Figura 2**). Al mismo tiempo, causan un efecto indirecto asociado con un cambio en la nube albedo de $-0,55$ ($1,33$ a $-0,06$) W / m^2 . Los efectos locales de los aerosoles, sin embargo, pueden ser mucho más alto y llegar a cientos de W/m^2 en las regiones cercanas de las fuentes de emisión (García et al., 2012).

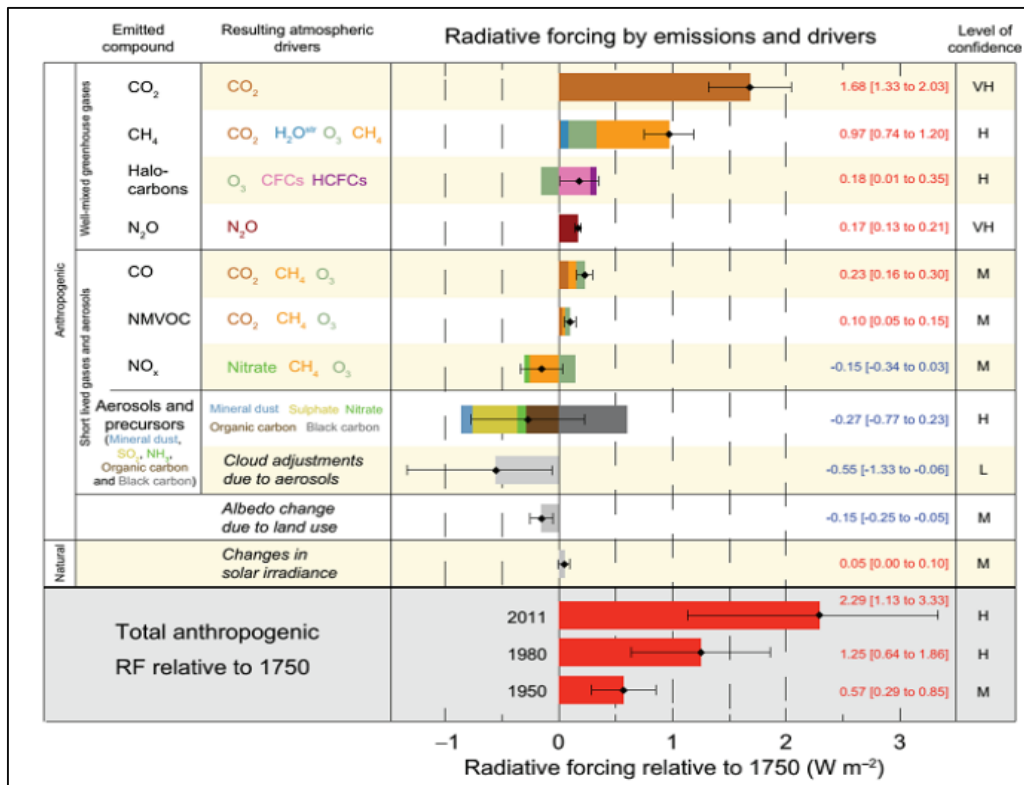


Figura 5. Forzamiento radiativo global promedio debido a las actividades naturales y antropogénicas Desde 1950 (IPCC, 2013)

La dispersión y la absorción de radiación por moléculas de gases y aerosoles contribuyen a la atenuación de la radiación solar y terrestre que pasa a través de la atmosfera. Estas contribuciones son proporcionales a tres factores: (1) la intensidad de radiación en cada punto a lo largo de la trayectoria de la radiación directa, (2) la concentración local de los gases y/o partículas presentes en la atmosfera y (3) la eficacia de los absorbentes y dispersadores.

En general, las propiedades radiativas de los constituyentes atmosféricos pueden variar rápidamente con el cambio de las principales variables meteorológicas, tales como la temperatura, la humedad, la precipitación y la

cantidad de aerosoles, que tienen una importante influencia sobre el balance de radiación en superficie.

No obstante, los efectos a la salud debido al material particulado, produce daños al sistema respiratorio, donde la principal vía de entrada del material particulado en el organismo. La deposición de las partículas en diferentes partes del cuerpo humano depende del tamaño, forma y densidad de las partículas y la composición química de las partículas, así como de la respiración del individuo (nasal u oral). Posteriormente, los efectos que puede inducir el material particulado en el organismo dependen de la granulometría, la morfología, el tiempo de exposición y la susceptibilidad de cada persona. todas las partículas de diámetro $<10 \mu\text{m}$ (PM_{10} , partículas torácicas) tienen un tamaño suficiente para penetrar en la región traqueo bronquial. pero sólo aquellas de diámetro $<2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$, partículas alveolares) pueden alcanzar la cavidad alveolar y, por tanto, provocar mayores afecciones.

En consecuencia, la contaminación del aire y la deposición atmosférica de oligoelementos tóxicos se han convertido en una de las principales preocupaciones medioambientales en todo el mundo debido a sus efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente (Janta y Chantara, 2017; Mateus et al., 2013). Entre los principales contaminantes del aire urbano, se encuentran las partículas en suspensión en el aire (PM), en partículas gruesas inhalables (PM_{10} : partículas que tienen diámetros aerodinámicos menores o iguales a $10 \mu\text{m}$) o partículas particularmente finas ($\text{PM}_{2.5}$: diámetros aerodinámicos de $2.5 \mu\text{m}$ o menos)(Mateus et al., 2013) muestran un riesgo potencial para la salud humana causando mortalidad prematura y enfermedades cardiovasculares (Polichetti et al. 2009). El material particulado en el aire representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas (Chirino et al., 2015), (WHO/Europe, 2010) como elementos químicos (es decir, Si, Al, Fe, Ca, Ti, V, Cr, Cu, Zn), compuestos orgánicos volátiles (COV), iones solubles en agua (es decir, SO_2 , NO_3 , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+) entre otros que pueden amenazar a los organismos vivos y la salud humana (Wu, Jin y Carlsten 2018) -(Kim, Kabir y Kabir 2015). Estos contaminantes podrían ser liberados de fuentes naturales y/o antropogénicas (Chen

y Yu 2017). En las zonas urbanas, las concentraciones de masa de PM_{2.5} en el ambiente se pueden vincular directamente con fuentes móviles o estacionarias, como actividades industriales, emisión de tráfico (escape, no escape, desgaste de componentes de automóviles), combustión de combustibles fósiles, quema de biomasa residencial, sal marina, construcción/demolición de edificios y pavimento y resuspensión del suelo de las carreteras.

Por ejemplo, estudios anteriores han indicado que Ba, Fe, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb y Zn son marcadores y trazadores fiables de emisiones vehiculares (Clements et al., 2014). El aluminio, Na, K, Rb, Ca, Ti y Mg se atribuyeron a un origen natural (Wang et al. 2018),(De La Cruz et al. 2018). Por el contrario, los iones solubles en agua como el Na⁺ y el Cl⁻ suelen estar relacionados con la sal marina (Zhou et al., 2018), el Ca²⁺ y el Mg⁺² suelen atribuirse al polvo del suelo (Rao et al., 2016), el K⁺ como trazadores de combustión de biomasa (Phillips-Smith et al., 2017), mientras que el SO₂⁴⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ son especies secundarias de aerosoles producidas por la oxidación de SO₂ y NO₂ liberados generalmente por la energía de carbón y las emisiones de vehículos. Aerosoles secundarios que comprenden > 50% de PM_{2.5} y son los principales responsables de la alteración del balance de radiación terrestre, la reducción de la visibilidad y la contaminación por neblina regional (Madronich, 1993). Debido a que la concentración y composición de la masa de partículas son cambiantes y dependen en gran medida de muchos factores como la variación climática, la ubicación geográfica y las fuentes de emisión (Silva et al., 2017), es importante comprender y determinar su composición química para diseñar o implantar estrategias para el control de la contaminación del aire.

Las PM_{2.5} pueden clasificarse en partículas primarias descargadas directamente de fuentes de contaminación y partículas secundarias generadas después de que varios contaminantes experimentan reacciones químicas en la atmósfera. Las partículas primarias incluyen principalmente aerosoles de carbono orgánico e inorgánico, y las partículas secundarias incluyen principalmente aerosoles de sulfato, nitrato y sal de amonio. En comparación con las partículas de aerosol gruesas con tamaños de partículas más grandes, las partículas finas

pueden estar suspendidas en el aire durante más tiempo y pueden transportarse a distancias más largas mientras transportan metales pesados, microorganismos y otras sustancias tóxicas y nocivas. Las partículas finas son importantes contaminantes del aire que pueden afectar la meteorología y el medio ambiente. Pueden dispersar y absorber la radiación solar directa o indirectamente actuando como núcleos de condensación de nubes, lo que afecta el equilibrio energético del sistema tierra-gas y el clima terrestre. El forzamiento radiativo efectivo se define en el quinto informe de evaluación del IPCC como el efecto sobre la radiación de tres aerosoles antropogénicos (sulfato, carbón negro y carbón orgánico). El forzamiento radiativo efectivo total de aerosol global es aproximadamente $-0,9 \text{ W/m}^2$ (Stocker et al, 2013) destacó que el forzamiento radiativo efectivo total fue de $-2,49 \text{ W/m}^2$ entre 1850 y 2010. Este efecto de forzamiento radiativo podría reducir la temperatura media global de la superficie en aproximadamente $0,55\text{-}1 \text{ K}$ (Gettelman, Shindell y Lamarque, 2015).

El efecto de isla de calor urbano (UHI) se refiere al aumento de la temperatura de la superficie sobre las áreas urbanas en comparación con la de las áreas circundantes. En las últimas décadas, la rápida urbanización ha aumentado e influido significativamente en la cobertura del suelo, el albedo de la superficie y el flujo de calor antropogénico (Xia et al., 2014). Las partículas finas causan un efecto de enfriamiento inconsistente en las temperaturas de la superficie entre el centro urbano y las áreas suburbanas, lo que significa que la intensidad de UHI podría verse afectada (Cao et al., 2016). Las diferencias en las cargas de PM_{2.5} en el centro urbano y las regiones suburbanas podrían reducir la intensidad del UHI durante el día e incluso resultar en una “isla fría urbana” (UHI negativo que podría observarse durante el día) (Wu et al., , 2014). Una capa de aerosol también podría resultar en más radiación de onda larga que puede intensificar el UHI nocturno (Cao et al., 2016). Nuestro trabajo anterior también descubrió que una disminución de la concentración de PM_{2.5}, de acuerdo con el plan de control de la contaminación del aire en China, intensificaría el UHI diurno y reduciría el UHI nocturno (Wu et al., , 2014). Además de las diferencias en la concentración de PM_{2.5} entre las áreas urbanas y suburbanas, las composiciones son diferentes (Chen et al., 2015). La industrialización y el tráfico pesado hacen que el PM_{2.5} contenga más carbono

negro en el centro urbano; las partículas que contenían mostraron una fuerte capacidad de absorción, mientras que las de las áreas suburbanas tenían una fuerte capacidad de dispersión (Fan et al, 2013). Aunque varias investigaciones se centraron en la relación entre las partículas finas y el UHI (Cao et al., 2016), detalles como la intensidad del UHI debido a las diferentes Aún faltan efectos de forzamiento radiativo y diferentes composiciones de PM_{2.5}.

Sensor PurpleAir (PA-II): es un contador óptico de partículas suspendidas en el aire. Donde se realizan recuentos para la medición de concentraciones de masas de PM_{1.0} PM_{2.5} y PM₁₀. Su principio de operación del PurpleAir PA-II es mediante la utilización de un contador de partículas por láser Plantower PMS5003, donde los rayos láser detectan las partículas que pasan por su reflectividad. Estos sensores cuentan partículas suspendidas en tamaños de 1.0, 2.5 y 10 μm . Estos conteos de partículas son procesados por el sensor usando un algoritmo complejo para calcular la masa de PM_{1.0}, PM_{2.5} y PM₁₀ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fotómetro solar CIMEL CE-318T: el fotómetro solar Cimel CE-318T se encuentra instalado en el Laboratorio de Microfísica Atmosférica y Radiación (LAMAR) del observatorio de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú (IGP), desde el 20 de marzo de 2015, esto como parte del programa Aerosol Robotic Network (AERONET) de la National Aeronautic Space (NASA). Es un instrumento diseñado para realizar mediciones directas de radiación solar de forma automática, estas mediciones se realizan en 8 longitudes de onda 340, 380, 440, 500, 670, 870, 940, y 1020 nm, con mediciones cada 15 minutos, y permite calcular el espesor óptico de aerosol (AOD) a partir de la atenuación de la radiación solar directa medida en cada longitud de onda y calculada según la ley de Lambert Beer – Bouguer. Los datos a cada hora son transmitidos a satélites y retransmitidos para la central de control en la NASA, donde son procesadas y habilitadas para los usuarios en internet (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>). Los datos de AOD se calculan para tres niveles de calidad: nivel 1.0 (datos obtenidos sin alguna modificación), nivel 1.5 (datos filtrados inicialmente, pero es posible que no se aplique la calibración final) y nivel 2.0 (calibración aplicada antes y después del campo), por lo que para la presente investigación se trabajó con datos del nivel 2.0. La calibración del equipo

está a cargo de Goddard Space Flight Center (GSFC) de la NASA y son responsables de mantener la calidad y funcionamientos de los instrumentos, la calibración al fotómetro solar se realiza de 6 a 12 meses después de recopilar datos, ya que los datos obtenidos pasando los 12 meses no son fiables porque son susceptibles a condiciones ambientales. El fotómetro solar se calibra mediante la técnica de Langley, con el que se busca determinar el coeficiente de calibración para convertir el número digital de salida del instrumento en una salida deseada para los datos de AOD, agua precipitable y radiancia.

Modelo de dispersión atmosférica Langragiana: Los modelo de difusión atmosférica hoy en día son una de las soluciones más exactas y eficientes en el análisis del comportamiento de los contaminantes presentes en la atmósfera, su desarrollo y planteamiento general consiste en aplicar un modelo matemático para describir todas las variaciones que experimentan los contaminantes en su paso por la atmósfera, y sumar todas las contribuciones de ellas en una ecuación de balance, basados principalmente en la entrada de datos meteorológicos, información de la fuente emisora, topografía, uso de tierras, etc (Gomez & Cuesta, 2011).

Los modelos de dispersión Lagrangianos matemáticamente siguen la contaminación de un penacho en parcelas y/o partículas, modelando el movimiento de las partículas como un desplazamiento de trayectoria aleatoria (Villar, 2017). El modelo Lagrangiano estima la dispersión de contaminantes en el aire calculando la estadística de la trayectoria de un número de partículas centrándose en la teoría estadística de la difusión turbulenta propuesta por Taylor, cuyo sistema de referencia es móvil y acompaña a un elemento de fluido en su trayectoria (Gómez, 2002).

La expresión Langragiana se basa en una función de densidad de la probabilidad de transición, la misma que representa la probabilidad de que; si el elemento de contaminante está en \vec{x}' en un tiempo t' , se desplace hasta \vec{x} en el instante como se muestra en la ecuación 1:

$$t(Q(\vec{x}, t | \vec{x}', t')) \quad (1)$$

Teniendo en cuenta la distribución inicial del elemento como el aporte de los focos emisores $S(\vec{x}', t')$. Se tiene la siguiente ecuación fundamental de la dispersión Lagrangiana:

$$\bar{c}(\vec{x}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} Q(\vec{x}, t | \vec{x}_0, t_0) c(\vec{x}_0, t_0) d\vec{x}_0 + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{t_0}^t Q(\vec{x}, t | \vec{x}', t') S(\vec{x}', t') dt' d\vec{x}' \quad (2)$$

Si se supone una turbulencia estacionaria y homogénea, la probabilidad de transición Q de una partícula depende específicamente de los desplazamientos en el tiempo y en el espacio, y no de donde o cuando la partícula fue introducida en la corriente; es decir:

$$Q(\vec{x}, t | \vec{x}', t') = Q(\vec{x} - \vec{x}', t - t') \quad (3)$$

En los modelos Lagrangianos se distinguen dos sistemas de coordenadas: fijo; se da en el foco emisor, para el movimiento general al que tienen lugar los contaminantes y móvil; el cual se desplaza con el penacho, para la descripción de la dispersión turbulenta en su interior. Las emisiones, reacciones, deposición y mezcla de contaminantes son analizadas para un volumen de aire que constantemente va cambiando de posición, esto principalmente en función a la velocidad y dirección del viento (Draxler, 2004).

Entre los modelos de trayectoria más usados está el Hysplit, Draxler & Rolph, (2010) el cual se aplicó en el desarrollo del presente trabajo.

Modelo Hysplit: es un servicio del laboratorio de recursos atmosféricos desarrollado por la NOAA, y es uno de los más utilizados para realizar cálculos de trayectoria atmosférica y dispersión de contaminantes en el aire, también describe la deposición de contaminantes y materiales peligrosos. Además, hace un seguimiento y pronóstico de contaminantes de diversas fuentes de emisiones estacionarias y móviles (Villar, 2017).

El sistema Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) proporciona un portal "cuasi operativo" para que los usuarios ejecuten el modelo de dispersión y transporte atmosférico Hysplit y las herramientas para interpretar los resultados. Las aplicaciones de usuario típicas incluyen emergencias atmosféricas o ejercicios asociados con la liberación de materiales peligrosos, humo de grandes incendios, calidad del aire, caída de ceniza de erupciones volcánicas y diversos estudios climatológicos. Los usuarios del sitio web READY pueden producir trayectorias de masas de aire que mueven una sola partícula lagrangiana de acuerdo con el viento medio (sin incluir la turbulencia) definido por modelos meteorológicos operativos. Los usuarios también pueden modelar la dispersión de contaminantes con Hysplit rastreando miles de partículas lagrangianas a través de un dominio del modelo que incluye turbulencia, a diferencia de una partícula como es el caso de una sola trayectoria. De esta manera, se pueden producir penachos contaminantes a partir de fuentes tales como incendios forestales, emisiones químicas o radiológicas o erupciones volcánicas (Glen et al., 2017).

Forzamiento radiativo directo por aerosoles: La atenuación de los aerosoles en condiciones de cielo despejado se conoce como la influencia "directo" de los aerosoles sobre el clima. Se estimó que la media anual global es equivalente al efecto directo de los aerosoles, pero de signo contrario al forzamiento radiativo de los gases de efecto invernadero (IPCC, 1995). La parte superior media anual de la atmósfera (TOA), directo de radiación de onda corta de aerosol forzar, ΔF puede ser más o menos estima como sigue (Haywood y Shine, 1995);

$$\Delta F = -DS_oT_{at}^2(1 - Ac)\omega\beta\tau \left((1 - R_s)^2 - \frac{2R_s}{\beta} \left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) \right) \quad (4)$$

Donde D es la longitud del día fraccionada, S_o (1370 Wm⁻²) la constante solar, T la transmisión atmosférica, Ac la cobertura de nubes fraccionada, y R_s la reflexión de superficie, single scattering albedo, ω , fracción upscatter, β y el

espesor óptico del aerosol, τ .

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo, diseño y nivel de investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, el tipo de investigación fue aplicada debido que brinda las casusas que produce al emitir partículas atmosféricas a la atmosfera sobre el clima. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), mencionan que el tipo de investigación cuantitativo consiste en la necesidad de medir y estimar magnitudes de la investigación, así como también en la recolección de datos y en el análisis de estos. Así mismo, Barroso (2018), indica que las investigaciones aplicadas de por sí se basan en la resolución de problemas cotidianos, de esta manera haciendo aportes tecnológicos, artesanales y sobre todo el aporte científico basándose en teorías confiables que han sido constantemente reproducidas.

El diseño de investigación fue de diseño descriptivo longitudinal. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), el diseño de nuestra investigación se realizó de manera descriptiva ya que no requiere la manipulación intencional de las variables para analizar los posibles resultados, revisando previamente estudios con similitud.

El nivel de investigación para el presente estudio fue explicativo, ya que la previa revisión bibliográfica permitió explicar de manera coherente el desarrollo de la investigación. De acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), señala que el nivel explicativo va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos, ya que está dirigido a responder las causas de un suceso, determinando el comportamiento de una variable en función de otra. De la misma manera, Baena (2014) indica que el objetivo de una investigación explicativa es la solución de un problema a través de estudios previos de fuentes confiables, los cuales serán llevados a la práctica, si ese es el caso la nueva información será reproducido y valorado teóricamente.

3.2 Variables y operacionalización

Las variables de la investigación se muestran en la **Tabla 1** y en el **Anexo 1**

se presenta la operacionalización de dichas variables.

Tabla 1. Variables de investigación

Variables de investigación	
Concentración de material particulado	INDEPENDIENTE
Forzamiento radiativo	DEPENDIENTE

3.3 Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

La población establecida para esta investigación fueron los valores mensuales obtenidos de material particulado durante el periodo 2020.

La muestra para este proyecto fueron los mismos valores mensuales obtenidos de material particulado durante el periodo 2020.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos fue la observación, debido a que este procedimiento permitió recolectar y organizar información del fenómeno a observar a través del sensor purple air y fotómetro solar CIMEL.

3.5 Procedimiento

3.5.1 Ubicación del lugar

Como primer punto, se ubicó las zonas a estudiar para después ser georreferenciadas, por consiguiente, realizar mapa de localización, el mapa permite conocer los ítems de recolecta los datos. Y se ubicó en la ciudad de Huancayo y la región Amazónica de Brasil, tal como se aprecia en la **Figura 3**.

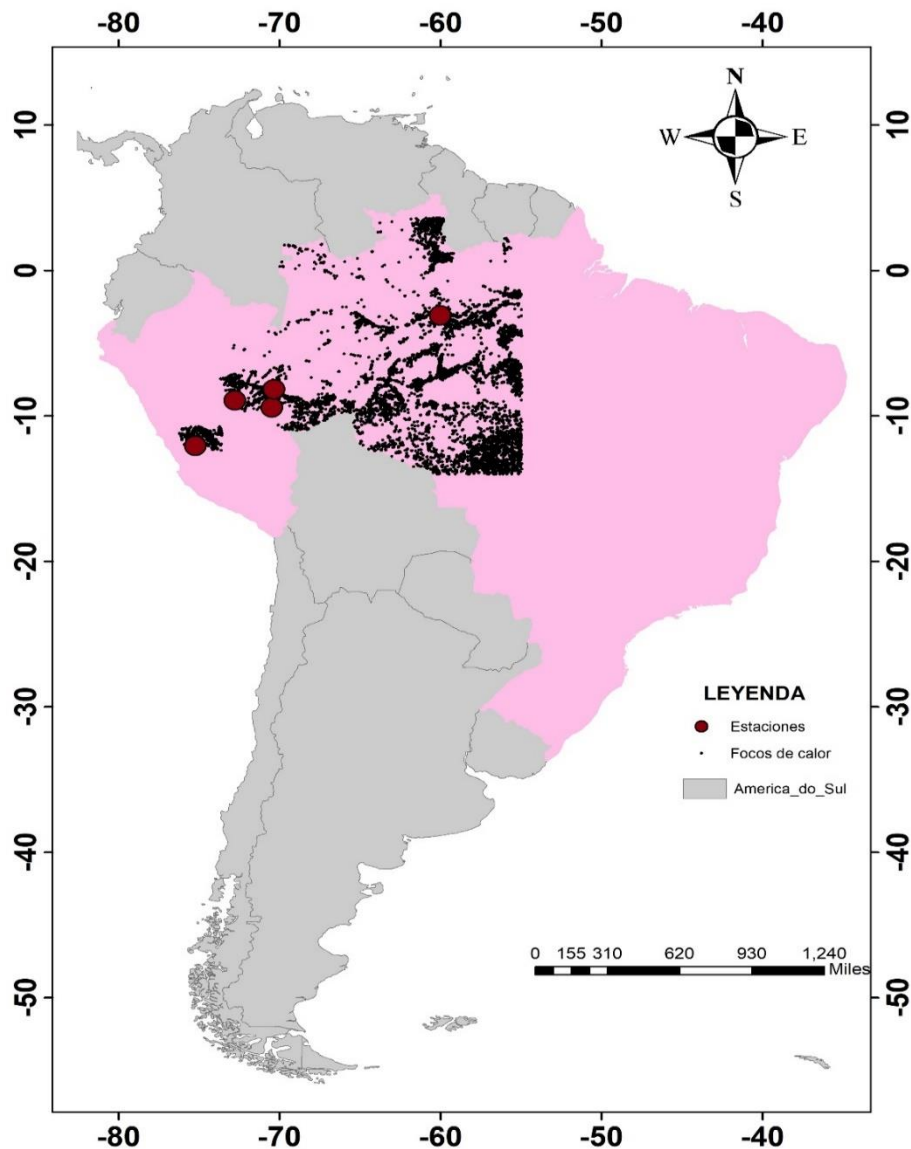


Figura 6. Ubicación de las quemas de biomazas y estaciones de monitoreo

3.5.2 Extracción y preparación de datos

Se resalta lo significativo que es considerar el proceso de toma de muestra, el contaminante en estudio. El monitoreo para la identificación tuvo la finalidad evaluar la calidad del aire debido a la emisión de material particulado en los puntos de monitoreo, de acuerdo normativa actual, D.S. N° 003-2017-MINAM y a partir de ello evidenciar si existe presencia de contaminación en las zonas

evaluadas.

Se registró manualmente, PM 10 y PM 2.5, como de las propiedades físicas de material particulado, por el cual se empleó una cédula de recopilación de datos. El registro de los datos en cada punto de monitoreo se realizó por día. Con el registro de datos se procedió a realizar el diagnóstico y el cálculo de forzamiento radiativo. Para lo cual se agruparon los datos de cada variable en estudio y se determinaron sus medidas de tendencia central, medidas extremas y medidas de dispersión, los cuales han sido utilizados para determinar la relación entre variables. Finalmente, la información registrada se analizó estadísticamente para establecer si se halla la relación en el actual estudio.

3.6 Métodos de análisis de datos

Para la ejecución del análisis de datos se utilizó la estadística descriptiva, en el cual se empleó Shapiro Will Wilk (aplicado para muestras menores a 30) para determinar si los datos del proyecto de investigación presentaron una distribución normal, si el caso de los resultados obtenidos fuera menor al 5% quiere decir ($p < 0.05$) se rechazará la hipótesis nula. Con respecto al análisis de los resultados. Finalmente, el análisis estadístico se realizó a un nivel de confianza del 95%.

3.7 Aspectos éticos

El presente proyecto de investigación, es auténtico, basándose en el principio de honestidad con respecto al contenido y en el cumplimiento de lo escrito del código de ética en la resolución del consejo universitario N°0126 - 2017. De igual manera en el uso de la resolución del consejo universitario N°0200- 2018 de la Universidad Cesar Vallejo para la guía de las líneas de investigación, seguido del reglamento N° 0089-2019, el cual nos brindó los pasos detallados para la elaboración del trabajo con relación al uso adecuado de las informaciones disponibles y derecho de autor y finalmente, en el Turnitin el cual no debe exceder del 25% de similitud con los trabajos utilizados como fuente de investigación para la elaboración de este proyecto.

IV. RESULTADOS

Para el tema de la **trayectoria de vientos**, tenemos que en la en la región andina central (noroeste del Perú), el alto relieve no contribuye a la ocurrencia de patrones de viento que favorezcan el levantamiento de aerosoles. Una región que llama la atención en este sentido es precisamente la que comprende el sur oeste de Brasil, que tiene poca elevación y está rodeada de floresta. Las simulaciones con el modelo Hysplit utilizando la trayectoria inversa y la estación AERONET instaladas en la amazonia brasilera y Huancayo, como referencia indicaron constantemente la región del sur oeste de Brasil como la fuente de las masas de aire que fueron transportadas hacia Huancayo (**Figura 4**) Los datos de entrada utilizados son Global Data Assimilation Sistema (GDAS), con resolución de 0.5 grads. Su et al. (2015) mostraron que las diferentes resoluciones de la base de datos del GDAS pueden generar diferentes resultados en la estimación de la trayectoria. Por lo que hay que considerar que el modelo de trayectoria no se puede utilizar de forma aislada para indicar el origen del transporte. En el caso de las condiciones meteorológicas de Brasil están asociadas con el levantamiento de arena en África Occidental para, entre los factores señalados se encuentran desde la ocurrencia de los vientos de Harmatão (Oluleye & Jimoh, 2018) hasta el posicionamiento del alto subtropical (Chiapello et al., 1997). Ambos casos implican características sinópticas identificables.

También se observaron patrones de velocidad del viento asociados con cada fuente de transporte. La **Figura 4** muestra la velocidad del viento en la superficie para cinco eventos, uno de cada fuente. Cuando el origen de los aerosoles está en el suroeste de la Amazonia Brasileira, hay un núcleo con una mayor velocidad del viento por encima de los 10S. En estos eventos, la velocidad del viento estuvo repetidamente por encima de los 10 m/s. Se cree que este patrón de velocidad del viento a niveles bajos más altos en esta región puede estar asociado principalmente con el posicionamiento de la altura subtropical, según Chiapello et al. (1997), no descartando la posibilidad de la ocurrencia de otros sistemas no mencionados en este estudio. En los eventos, los patrones de viento en niveles bajos asociados con

el transporte de material particulado debido a diversas fuentes de contaminación que ocurren alrededor de 70 ° O y 10 ° S días antes de que las plumas abandonen la floresta brasilera. En las **Figuras 4A y 4B** es posible identificar en esta región un núcleo con alta velocidad del viento dos días antes de que comiencen a identificarse las plumas que salen del continente.

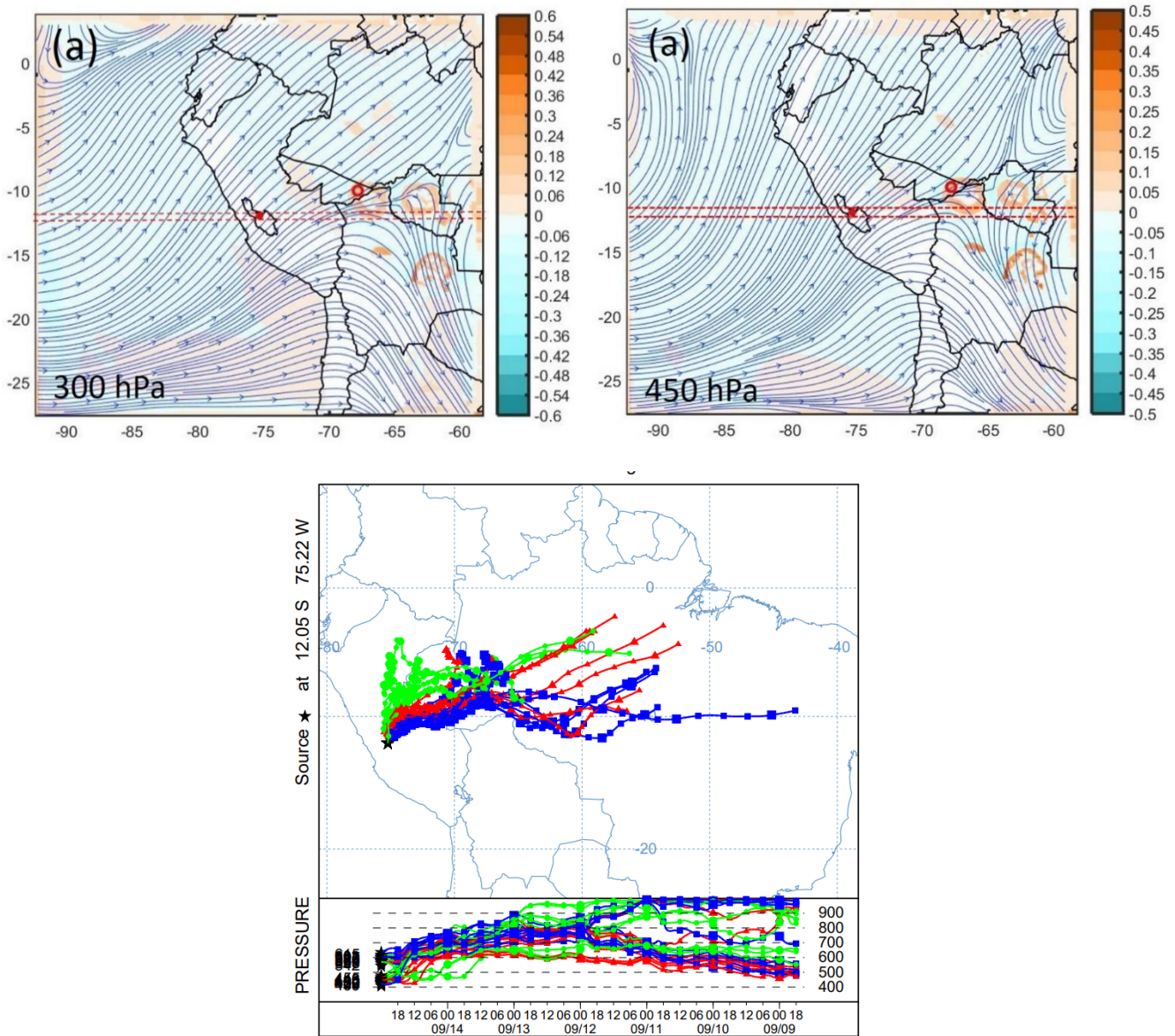


Figura 4: Trayectorias de vientos: **A.** 300hpa, **B.** 450hp y utilizando **C.** el modelo HYSPLIT

Con relación la **distribución y dispersión de material particulado**, tenemos que durante la estación seca, la concentración de masa promedio de PM1 para T5 ($9.1 \pm 3.2\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) es significativamente menor que la masa de PM1 para

T3 ($15.9 \pm 7.6 \mu\text{g.m}^{-3}$), con una tasa de aumento del factor de 1.27. Estos resultados indican que altas cargas de partículas finas afectan las regiones de estudio, debido al transporte a larga distancia de los incendios regionales llevados por advección, tan común durante la estación seca en la Amazonía. La mayor concentración de PM1 en la época seca en el sitio T1 también fue observada por con un valor promedio de $18.5 \mu\text{g.m}^{-3}$, relacionándola con las influencias de los incendios. Con respecto a la concentración de PM1 en el sitio T1, fue predominantemente mayor, lo que sugiere que estos cambios se deben a fuentes distintas a las mencionadas anteriormente para T5. Las posibles fuentes principales que causan este fuerte impacto en la región son: emisiones de incendios regionales, emisiones de hornos de carbón y fábricas de ladrillos en la región, emisiones de actividades industriales, vehiculares y la producción de energía por centrales termoeléctricas en la ciudad de Manaus. En opinión de Kuhn et al. (2010), las concentraciones de CO y CN eran altas en las plumas urbanas de Manaus, extendiéndose hasta 10 km de la ciudad, por lo que el sitio T2 fue severamente afectado por las emisiones de Manaus. Otro factor para considerar es el impacto relacionado con la quema de combustible por parte de la flota de vehículos automotores en Manaus. Asimismo, se puede observar en la **Figura 5C** para MP2.5 que en la estación seca predomina las concentraciones obtenidas en las estaciones T3($21.4\mu\text{g}/\text{m}^3$) y T1($29.2\mu\text{g}/\text{m}^3$), para la estación húmeda se da una ligera predominancia en la estación T1($20.4\mu\text{g}/\text{m}^3$), esto se debe a que en el área de Huancayo las lluvias fueron tardías y bajo en su tasa de precipitación. Este patrón estacional está asociado con diferencias en las condiciones climáticas y las fuentes de emisiones características de los períodos lluviosos y secos. Por otro lado, en las **Figuras 5E, 5F**; el MP10, en la estación seca predomina las concentraciones obtenidas en las estaciones T3($22.4\mu\text{g}/\text{m}^3$) y T1($28.2\mu\text{g}/\text{m}^3$), para la estación húmeda se da una ligera predominancia en la estación T1($25.4\mu\text{g}/\text{m}^3$), esto se debe a que en el área de Huancayo las lluvias fueron tardías y bajo en su tasa de precipitación.

Así mismo, en la **Figura 6** se observa que en la estación T1, se presenta que en algunos días (mes de julio, agosto, setiembre, diciembre) sobrepasan el ECA para MP2.5, del mismo modo para algunos días del mes de setiembre y

diciembre se sobrepasa los ECA para MP10. Por otro lado, en la estación T2, no presenta valores que sobrepasan los estándares de calidad ambiental. En la estación T3 para algunos días del mes de agosto y setiembre sobrepasa los ECA para MP10. Para la estación T4 no presenta valores que sobrepasan los estándares de calidad ambiental. Y por último en la estación T5, se observa que para algunos días (mes de setiembre y octubre) sobrepasan valores establecidos de ECA para MP2.5.

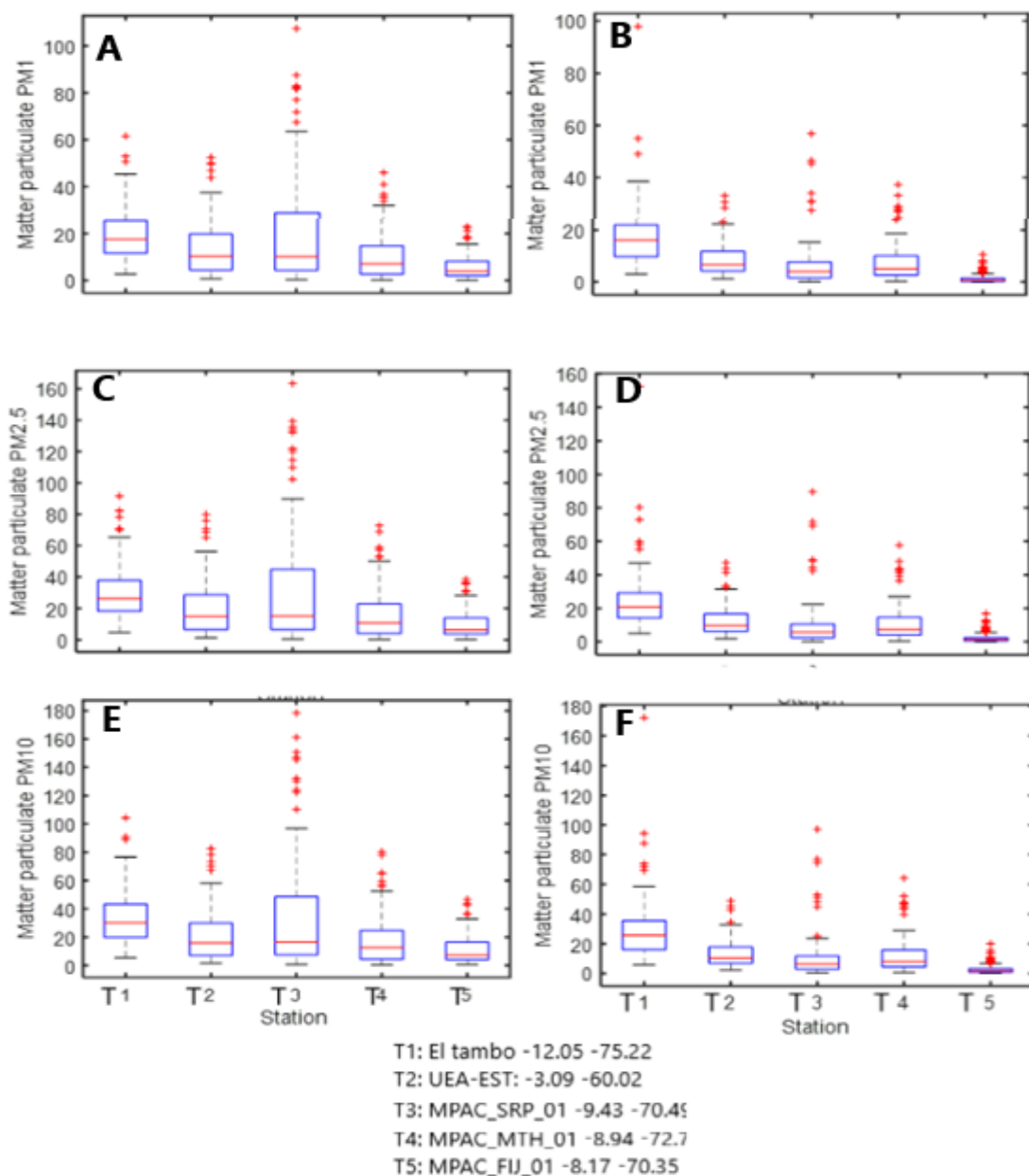


Figura 5: Distribución de la concentración de material particulado menor a 1um para A. estación seca, B. estación húmeda, material particulado entre 1 a 2.5um para C. estación seca, D. húmeda, material particulado

entre 2.5 a 10um para E. estación seca y F. húmeda

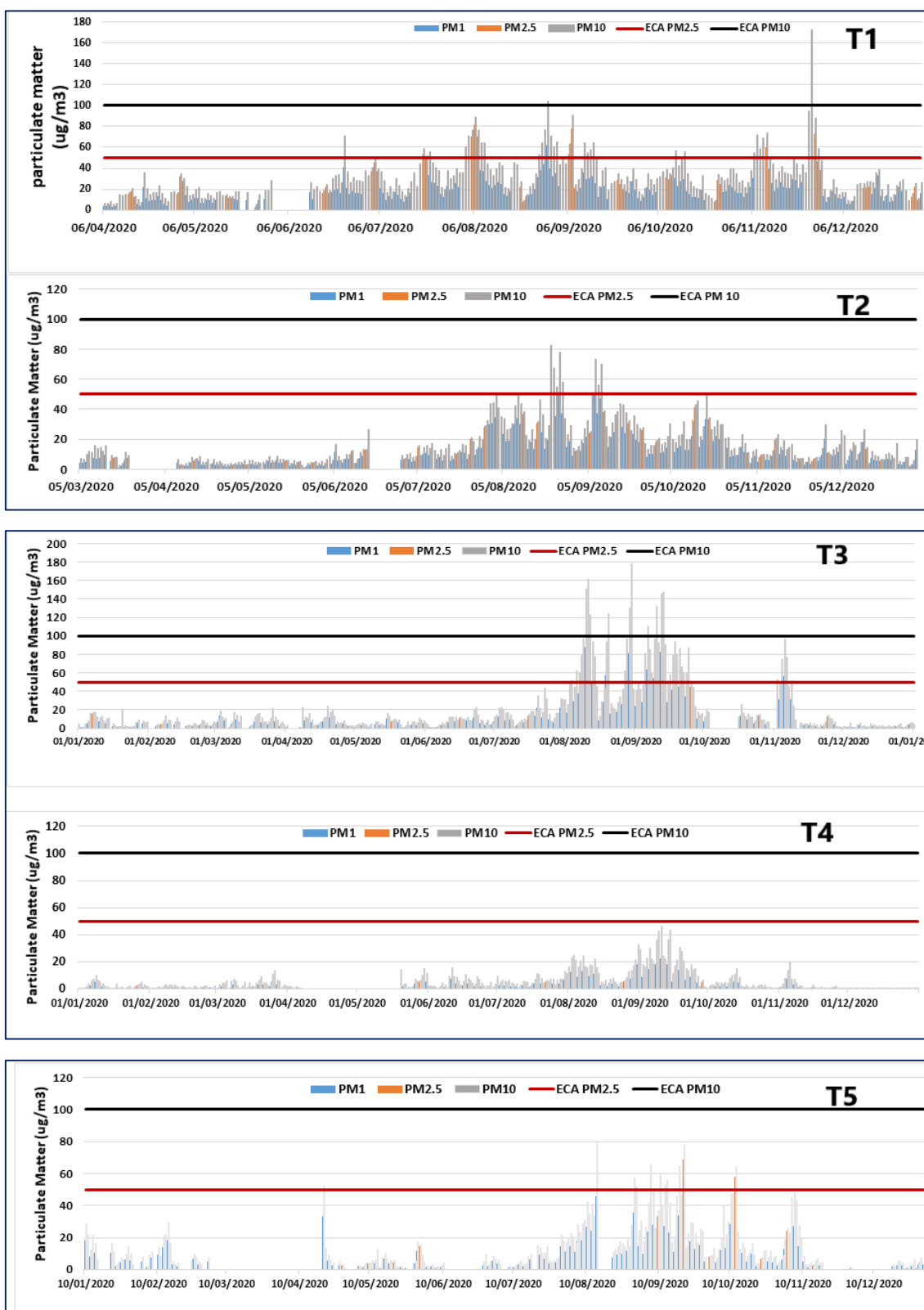


Figura 6: Distribución temporal de material particulado (menor a $1\mu\text{m}$, de 1 a $2.5\mu\text{m}$ y valores entre 2.5 a $10\mu\text{m}$) para la estación A. El tambo, B. UEA-EST, C. MPAC_SRP_01, D. MPAC_MTH_01, E. MPAC_FIJ_01

Para conocer la **relación de material particulado entre las 5 estaciones de monitoreo** utilizando el sensor Purple air, se ha elaborado la **Figura 7** donde se observa la relación que existe entre la estación T1 con las estaciones T2, T3, T4 y T5, donde se estimó el grado de correlación lineal que existe entre ellos para concentraciones de MP1, MP2.5 y MP10. Por ello se obtuvo que la estación T1 tiene una dependencia lineal de un 39% y 40% con la estación T2 y T5 respectivamente para el MP1. Así mismo, tiene una dependencia lineal con la estación T2, T4 y T5 de 38, 36 y 40% respectivamente para MP2.5. No obstante, se presentó una dependencia lineal de 39, 36 y 39% con las estaciones T2, T3 y T5 respectivamente para MP10. Cabe resaltar que la dependencia lineal con estación T3 es baja para los 3 tipos de material particulado alrededor de 20%

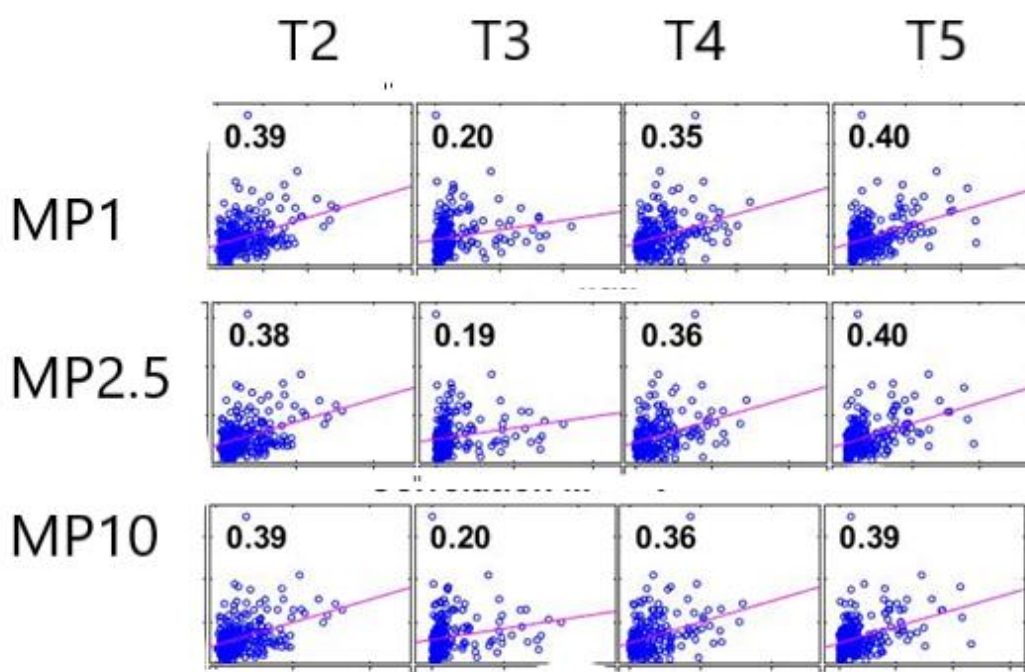


Figura 7: Correlación múltiple entre la estación T1 y T2, T3, T4, T5 para MP1, MP2.5 y MP10

En relación con el **espesor óptico de aerosol (EOA)**, cabe resaltar que, de las 5 estaciones de monitoreo, se utilizó 3 estaciones que cuentan con los fotómetros solares CIMEL de la red AERONET, donde se ubican en Rio Branco, Paraná para Huancayo. El EOA promedio (**Figura 8**) fue de 0.53 para aerosoles en

la estación de Paraná (desviación estándar = 0.3); de 0.15 para aerosoles en la estación de Rio Branco (desviación estándar = 0.1) y de 0.4 para la estación de Huayao que se ubica en Huancayo (desviación estándar=0.3).

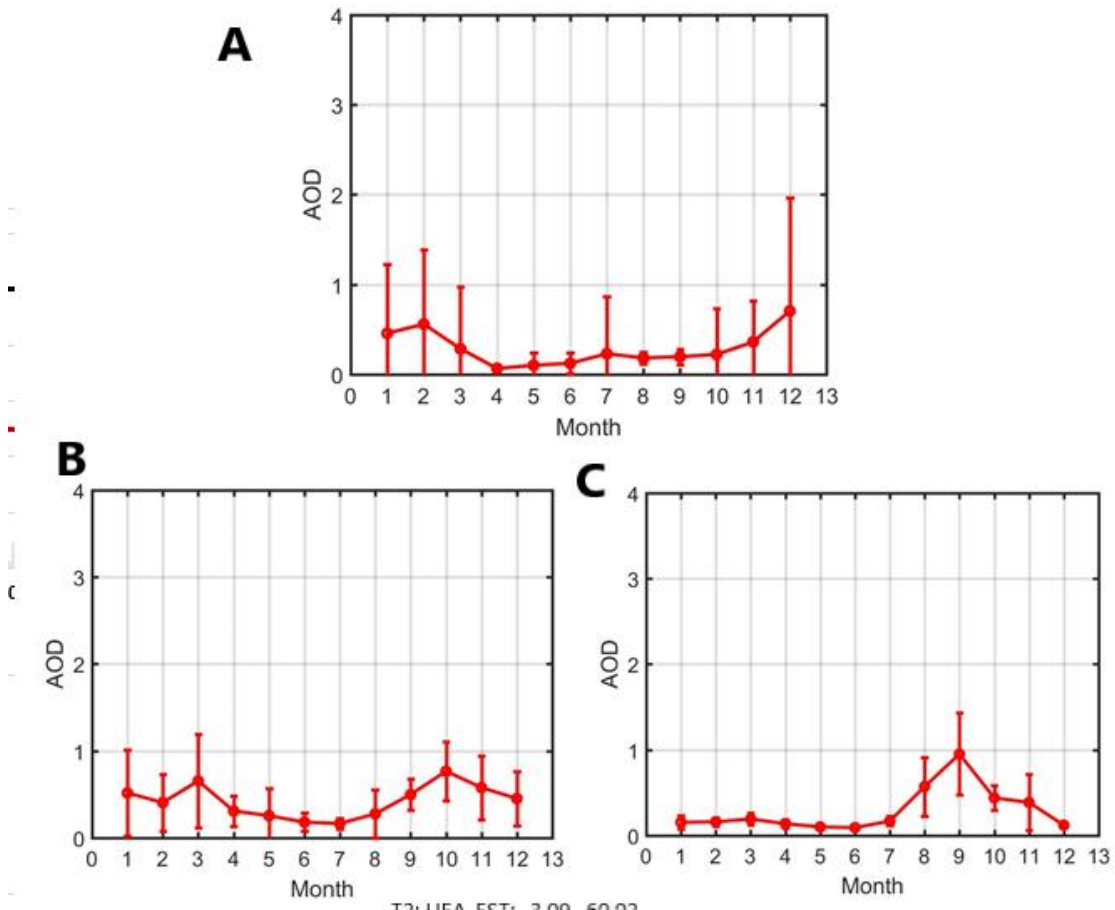


Figura 8: Variación mensual del espesor óptico de aerosol para las áreas de A. Huancayo, B. Paraná y C. Rio Branco

Sobre el **forzamiento radiativo directo (FRD)**, el FRA para Paraná y Rio Branco fue respectivamente -33 W/m^2 (desviación estándar = 27 W/m^2) y -36 W/m^2 (desviación estándar = 36 W/m^2). Según Reboita et al. (2010), las lluvias máximas en el noreste de la región amazónica, donde las columnas de aerosoles ingresan al continente, ocurren en el primer semestre. Los mismos autores asociaron este comportamiento con el desempeño de la Zona de Convergencia Intertropical, la convección local y una serie de otros sistemas sinópticos y de mesoescala. (Orlanski, 1975), además de que la alta densidad de nubes aumenta la posibilidad de que nubes cercanas afecten los caudales medidos en el TOA. En cuanto a las

observaciones, no fue posible identificar los patrones ya observados en el océano de relación entre el FRA y el AOD.

Artaxo y col. (1988) demostraron que el bosque es una fuente importante de aerosoles para la atmósfera. Así, se espera que los penachos de aerosoles que llegan a la Amazonía se mezclen con los aerosoles que se originan en la selva y, a medida que ingresan al continente, en promedio cambiarán sus propiedades ópticas. Por esta razón, es posible que muchos de los puntos observados representen una mayor cantidad de otros tipos de aerosoles que la arena del desierto. La comparación de la distribución de tamaños entre la fase inicial de transporte y la llegada a la Amazonía da una idea de cuán diferente es la pluma entre una etapa y otra. A la fecha de este evento, no existía una base de datos diaria disponible en la plataforma Hysplit para verificar la trayectoria con este modelo. Sin embargo, fue posible identificar la columna de aerosol en los primeros días del evento.

Se debe considerar la posibilidad de una presencia significativa de aerosoles de otras fuentes en lo que se observó en Parana y Rio Branco. En un estudio utilizando un sitio de medición en la ciudad de Serra do Navio, en el estado de Amapá (aproximadamente a 550 km de distancia de la estación AERONET en Surinam), Artaxo et al. (1993) destacaron la presencia de aerosoles de origen marino y origen de emisiones del propio bosque en la región norte de la cuenca amazónica, donde la quema de biomasa, especialmente en la época de lluvias, no es una fuente importante de aerosoles. Esta es otra indicación de que lo que se ve en la distribución de tamaños en Surinam en realidad representa la mezcla de aerosoles de diferentes fuentes, lo que ciertamente también afecta el albedo simple estimado. A continuación, a partir de los datos obtenidos del fotómetro solar CIMEL, que pertenece a la red AERONET instalados en el centro poblado de Huayao-Huancayo, se obtuvo los datos de forzamiento radiativo directo en la parte superior de la atmósfera para los periodos 2016 y 2017. Donde se obtuvo para el 2016 en el mes de agosto alrededor de -22W/m^2 y para el año 2017 en los meses julio, agosto y setiembre los valores de -28 , -22 y -26 W/m^2 respectivamente, tal como se muestra en las **Figuras 9 y 10**.

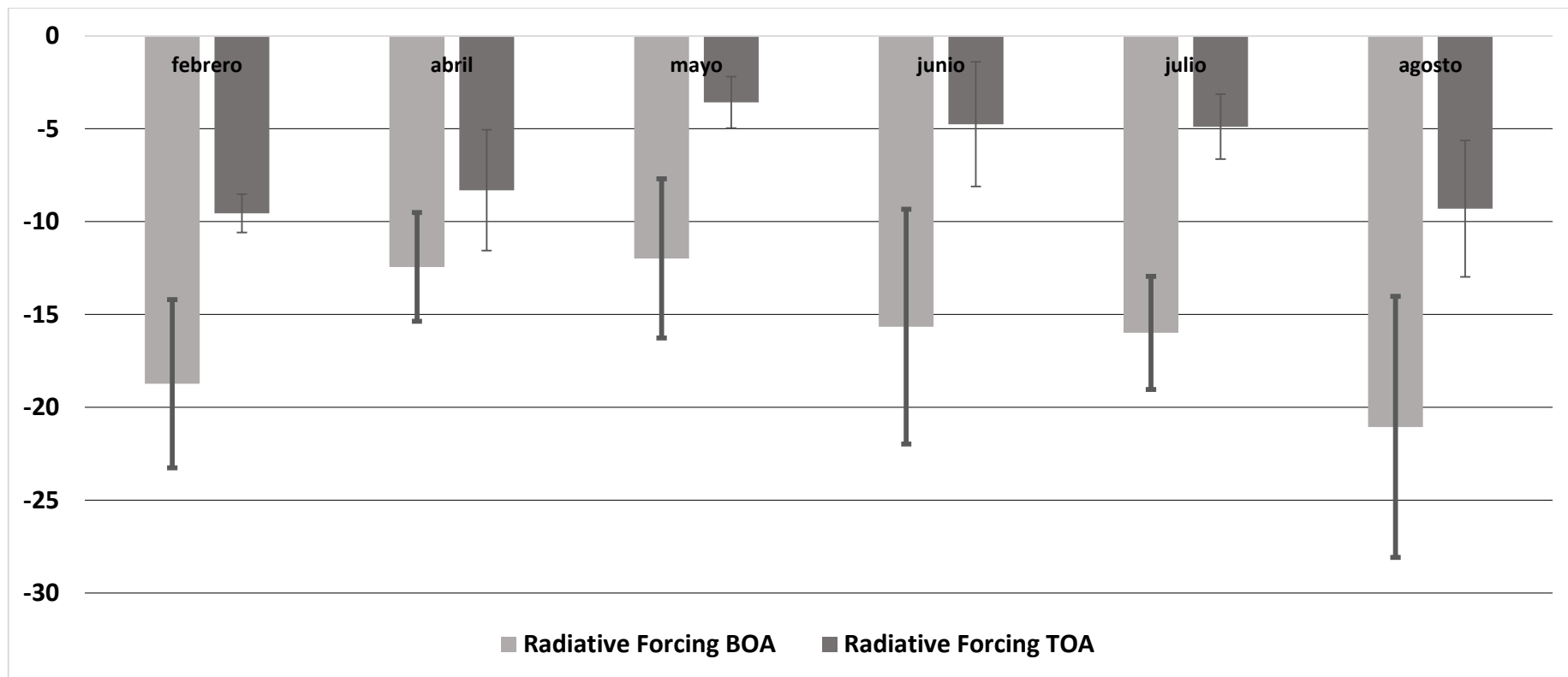


Figura 9: Forzamiento radiativo en Huancayo durante el periodo 2016

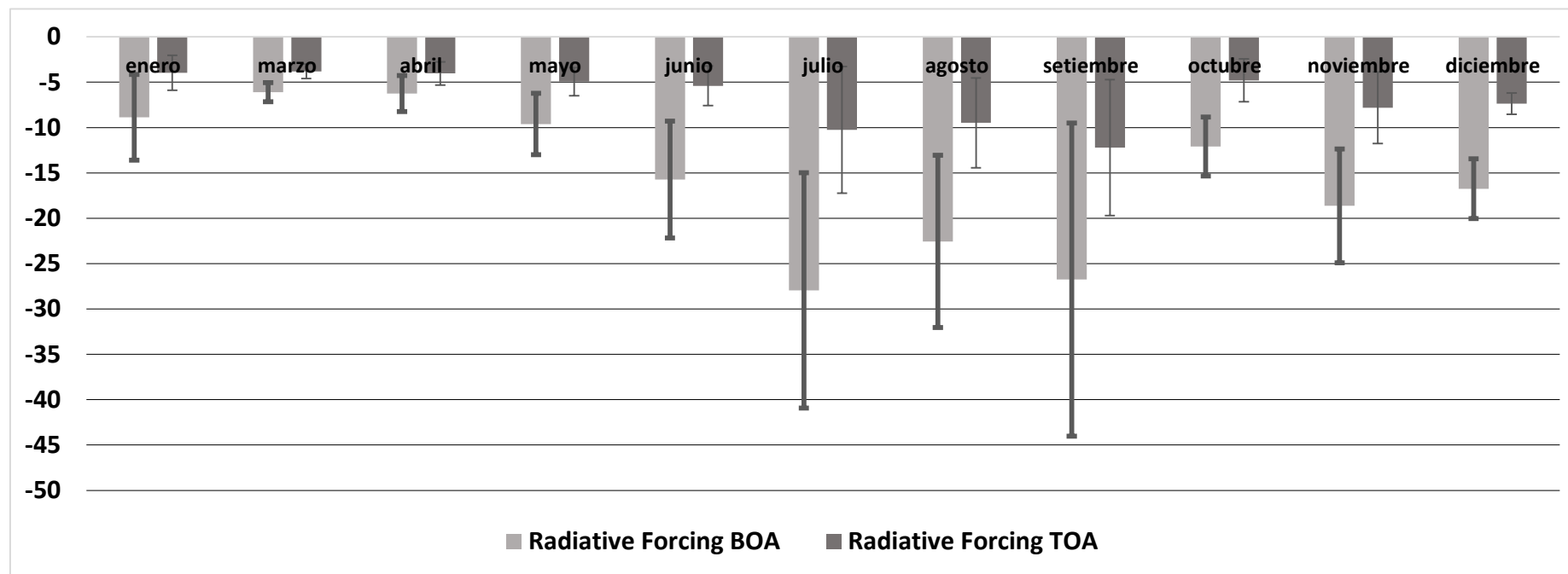


Figura 10: Forzamiento radiativo en Huancayo durante el periodo 2017

Para identificar los impactos radiativos debido a los aerosoles, los eventos se separaron según su origen. Los FRD calculados aquí son instantáneos, desde el momento de las observaciones, por lo tanto, traen consigo la dependencia del espesor óptico de aerosol. Esta dependencia se minimiza al calcular la eficiencia diaria. Las Figuras 11 al 13 muestran el forzamiento radiativo promedio mensual para Huancayo, Parana y Rio Branco, para el TOA, junto con el AOD promedio, basado en mediciones de AERONET. Son valores medios para todos los casos identificados.

Uno de los primeros factores para llamar la atención sobre los valores medios es el alto valor (en módulo) del forzamiento radiativo sobre la superficie. Aquí está claro que esta es la capa y región del espectro más impactada desde el punto de vista radiativo. Esto puede justificarse por tres factores principales: el albedo de dispersión simple, el patrón de dispersión y la estructura de las capas de aerosol. Como ya se mencionó, el albedo simple de los aerosoles que se originan es, en general, bastante alto ($\sim [0.9 \text{ a } 1]$, alcanzando $\sim 0,99$ en el infrarrojo cercano), lo que significa que estos aerosoles tienen una alta capacidad de dispersión de radiación. El patrón de difusión de este tipo de aerosol, como ya se mencionó, es preferiblemente frontal. Siguiendo esta información, lo que sería natural sería una gran propagación frontal de irradiancia solar descendente, lo que resultaría en un bajo forzamiento radiativo; sin embargo, con base en la estructura de la pluma vertical descrita por Liu et al. (2012). Esta estructura vertical junto con una dimensión horizontal del orden de cientos de miles de km, permite que un haz de radiación solar interactúe en numerosas ocasiones con los aerosoles a su paso, haciendo que los factores de absorción y retrodispersión sean de mayor representatividad de lo que serían si el espesor de la capa de aerosol era más pequeño.

La hipótesis planteada aquí, entonces, es que, al interactuar con las columnas de aerosol, la irradiancia solar descendente que no se transmite a la superficie: 1) es absorbida por los aerosoles; 2) se retro dispersa y acaba siendo absorbido por componentes atmosféricos en niveles entre las plumas y el TOA; o 3) es retro dispersado y alcanza la TOA. Con base en el forzamiento radiativo en el

espectro solar en TOA, está claro que 3) representa una porción menor de la radiación total que no ha logrado llegar a la superficie, por lo que 1) y 2) son los principales factores que justifican el mayor forzamiento radiativo en la superficie, que en TOA o en la atmósfera. Estos procesos también justifican el comportamiento cualitativo presentado, con forzamiento positivo en la atmósfera, y negativo en la superficie y en el TOA para la radiación solar. Otro factor que llama la atención en el FRA es la diferencia entre los valores en el espectro solar y en el espectro terrestre, teniendo este último valor mucho menor en valor absoluto. El albedo de dispersión simple aumenta, por este motivo, la absorción de radiación por aerosoles, que ya no era un factor destacado en el espectro solar, pierde aún más importancia, mientras que la dispersión se acerca al patrón simétrico. En el espectro terrestre, no es posible identificar patrones directamente asociados solo con la presencia del aerosol, lo que indica que otros actores no investigados en este estudio (como el vapor de agua, por ejemplo) pueden tener un impacto mucho mayor en el largo plazo.

En la evolución de las plumas de aerosol, entre los pasos, el EOA disminuye, debido a los procesos de deposición de las partículas, y el FRD sigue la reducción, en valores absolutos. Junto con esta reducción, hubo una disminución en el patrón de linealidad en la relación entre el FRD y el EOA. Se cree que este cambio de comportamiento, inicialmente lineal, en la relación entre el FRD instantáneo en el espectro solar en TOA y EOA está relacionado con dos factores. Uno de ellos es el físico, que se refiere a los procesos de envejecimiento de los aerosoles y descomposición de la pluma, ya mencionados en este estudio. El otro factor, estadístico, se refiere a la disminución de puntos y concentración de estos puntos en valores bajos de EOA y material particulado, con alta variabilidad de FRD.

Así mismo en las **Figuras 11, 12 y 13** la variabilidad mensual del forzamiento radiativo para Huancayo, Paraná y Rio Branco respectivamente. En ese contexto para Huancayo, se observa que en los meses de julio y abril puede alcanzar valores de -200 y -6 W/m² respectivamente cuando los valores del espesor óptico de aerosol y albedo de dispersión simple alcanza valores máximos. Para Paraná, se observa que en los meses de mayo y junio puede alcanzar valores de -100 y -20

W/m² respectivamente, cuando los valores del espesor óptico de aerosol y albedo de dispersión simple alcanza valores máximos. Por último, en Rio Branco se observa que en los meses de setiembre y febrero puede alcanzar valores de -70 y -5 W/m² respectivamente, cuando los valores del espesor óptico de aerosol y albedo de dispersión simple alcanza valores máximos alrededor de 0.99.

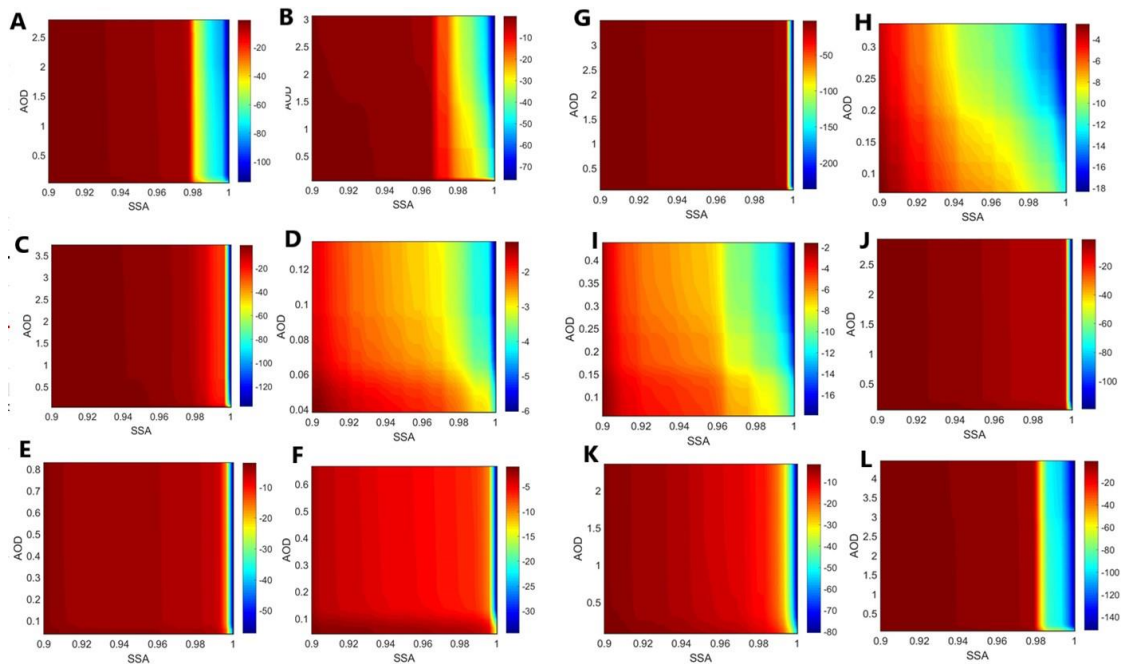


Figura 11: Forzamiento radiativo directo mensual en Huancayo durante 2020

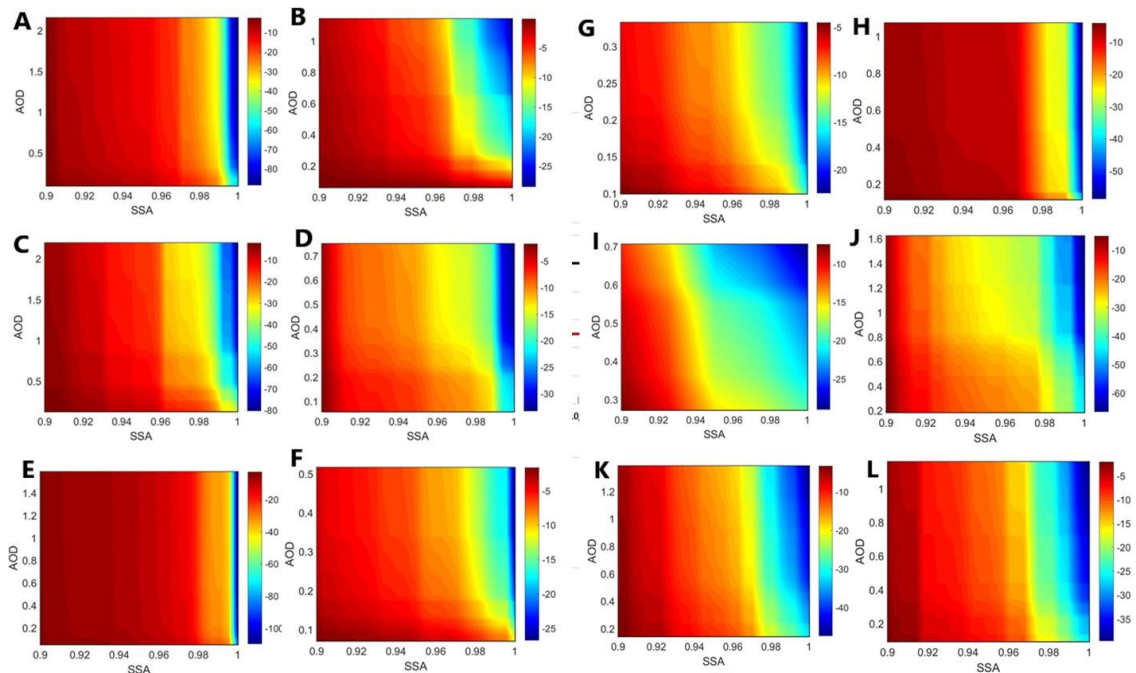


Figura 12: Forzamiento radiativo directo mensual en Paraná durante 2020

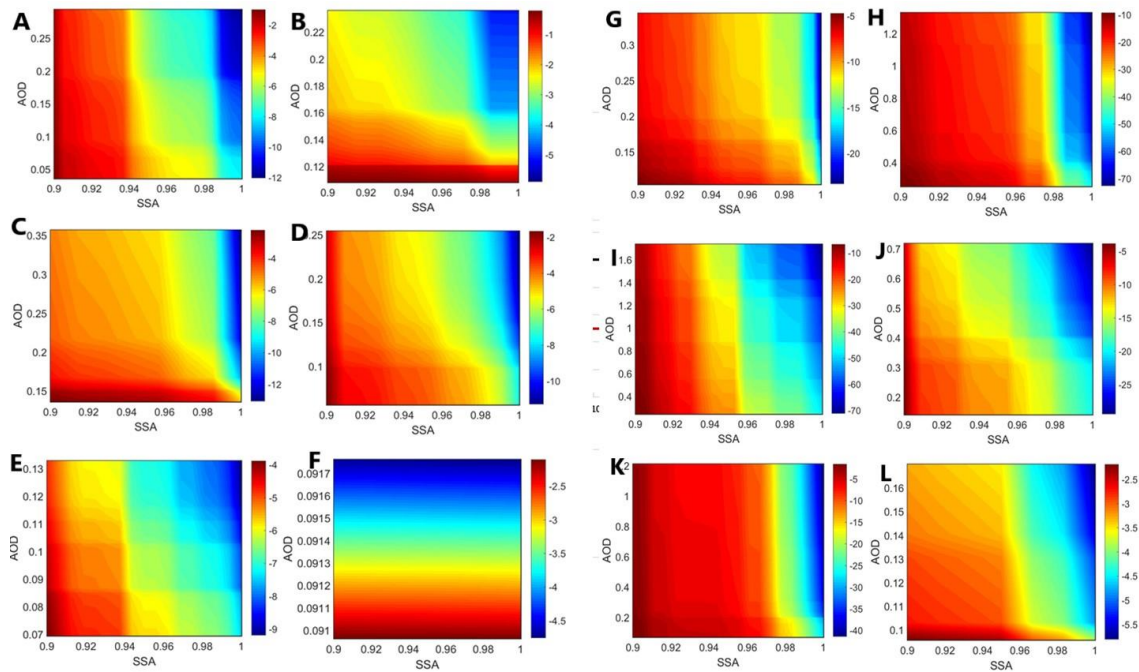


Figura 13: Forzamiento radiativo directo mensual en Rio Branco durante 2020

Así mismo, en la **Figura 14**, se observa la variabilidad mensual del forzamiento radiativo directo producto de los aerosoles atmosféricos, donde en la **Figura 14A**, se observa que el forzamiento radiativo directo alcanza valores mínimos en la estación seca, cuando se presenta ausencia de lluvia en la provincia de Huancayo. Asimismo, en Paraná (**Figura 14B**) y Rio Branco (**Figura 14C**) alcanza valores mínimos alrededor de $-30W/m^2$ en los meses de agosto a setiembre.

En relación con el **Forzamiento radiativo directo de aerosoles atmosféricos**, en la **Figura 15** se puede observar la relación que existe entre el FRD de Huancayo, Paraná y Rio Branco, donde se cuantifico su relación entre ellos, donde se encontró la máxima relación entre Paraná y Rio Branco con un coeficiente de determinación de 0.34, y un mínimo coeficiente de determinación de 0.08 entre Huancayo y Paraná de 0.08

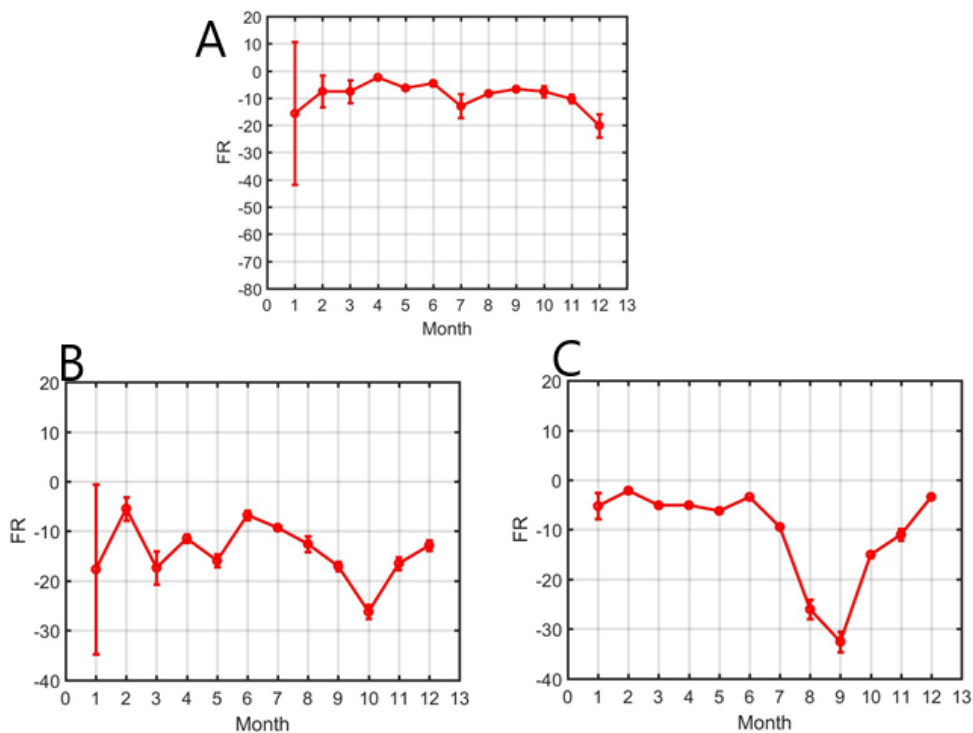


Figura 14: Promedio mensual de forzamiento radiativo para A. Huancayo, B. Paraná, C. Rio Branco durante 2020

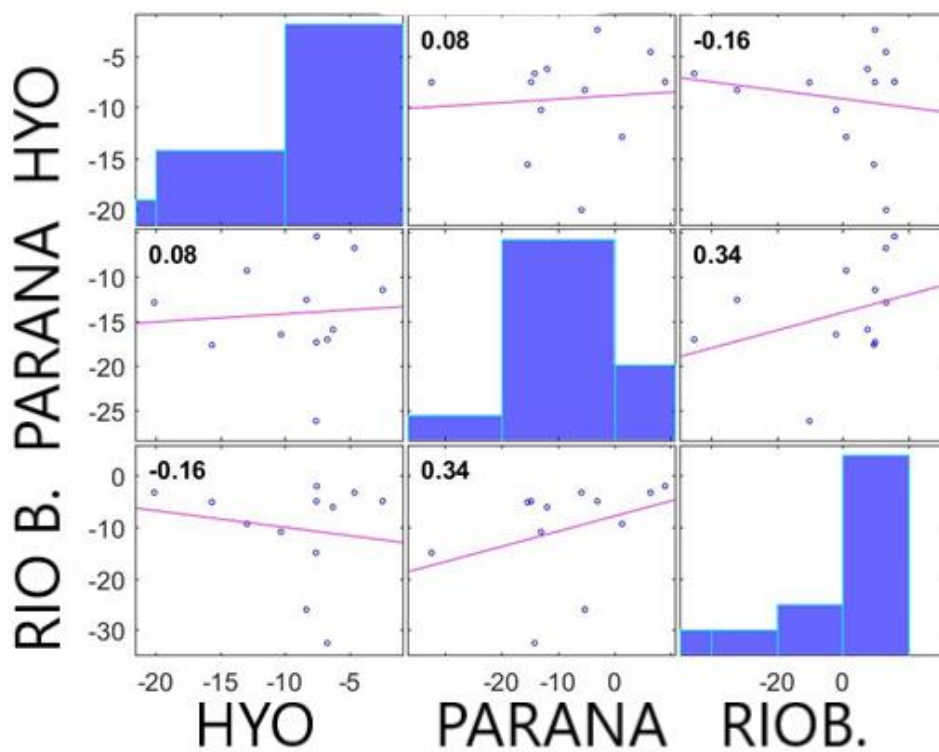


Figura 15: Relación de forzamiento radiativo directo entre Huancayo, Parana y Rio Branco

V. DISCUSIÓN

La influencia de las partículas de aerosoles atmosféricos en el clima de la Tierra depende en gran medida de las propiedades ópticas, microfísicas y químicas de las partículas, alterando el balance de radiación de la Tierra (Twomey, 2007). Aunque muchos investigadores han estudiado exhaustivamente los aerosoles, su concentración y propiedades ópticas de los aerosoles; todavía se consideran una fuente importante de incertidumbre en el cambio climático global y el pronóstico de la calidad del aire regional (Che et al., 2014; Hansen et al., 2005). El aumento de partículas de aerosol se ha considerado un factor importante que enfría el sistema tierra-atmósfera y compensa parcialmente el efecto invernadero (Stocker et al., 2013; Tosca et al., 2017).

Así mismo se ha observado el aumento y la acumulación de emisiones de aerosoles contaminantes, como la quema de combustibles fósiles de los escapes de los automóviles, la producción industrial y la calefacción en invierno (Wang et al., 2011; Li et al., 2017).

Por lo tanto, es imperativo comprender y cuantificar los efectos de las propiedades ópticas de los aerosoles en la calidad del aire, el clima y la salud humana, en varias escalas espacio-temporales (Colarco et al., 2010; Koffi et al., 2016; Lennartson et al., 2018). Estudios anteriores han encontrado incertidumbres en la variación de la distribución vertical de aerosoles, lo que afecta la evaluación de los impactos de los aerosoles en el clima y la calidad del aire (Kumar et al., 2014; Rizza et al., 2017; Schulz et al., 2006). El cuarto informe de evaluación del IPCC (Forster y (USA), 2010) atribuye un amplio rango de incertidumbre al forzamiento del aerosol en el clima, con implicaciones para las proyecciones del modelo climático relacionadas con las incertidumbres en los parámetros del modelo (Haerter et al., 2009). (Loeb y Su, 2010) afirmaron que la incertidumbre del forzamiento radiativo directo del aerosol debido a las perturbaciones en los parámetros físicos de las partículas de aerosol es de 0,5 a 1,0 Wm⁻², con la mayor parte de la incertidumbre asociada con el albedo de dispersión única del aerosol (SSA). Por lo tanto, es importante caracterizar con precisión las propiedades ópticas de aerosoles atmosféricos para evaluar su impacto en el balance energético

de la Tierra y el cambio climático.

El rápido aumento del espesor óptica de aerosol (EOA) causado por un gran número de partículas finas de aerosol se ha confirmado como un factor principal para el incremento del forzamiento radiativo directo (FRD) del aerosol (Wang et al. 2009; Bi et al., 2014). Sin embargo, el tamaño de las partículas del aerosol y el albedo de dispersión simple también son parámetros importantes que influyen en el FRD (Che et al., 2018). (Mateos et al., 2014) informa que el albedo de dispersión simple (SSA) es un factor clave que impulsa el cambio en FRD.

Las emisiones tropicales de " quema de biomasa por deforestación y prácticas agrícolas juegan un papel importante en la modificación de la composición atmosférica, especialmente en el hemisferio sur (Bowman et al., 2009). El humo de los incendios después de la deforestación tiene un gran impacto en la convección y la formación de nubes, y afecta el régimen de precipitación (Andreae et al., 2004; Koren et al., 2008). Los aerosoles de la quema de biomasa también se han asociado con cambios en el patrón de precipitación, como el retraso en el inicio de la estación seca de la cuenca del Amazonas (Bevan et al., 2008; Butt, De Oliveira y Costa, 2011; Zhang et al., 2009). El área deforestada acumulada sobre la cuenca del Amazonas hasta 2011 fue de aproximadamente 741 000 km² (INPE, 2016; 2020), más grande que toda el área de Francia. La gran superficie deforestada cambia el balance radiativo debido a cambios en el albedo superficial. Sin embargo, la tasa de deforestación ha disminuido significativamente desde 2004 según lo informado por INPE-PRODES (2012). En ese año, 2004, se deforestaron 27 000 km², mientras que en 2011 solo se deforestaron 6200 km².

No obstante, (Suazo et al., 2020), describe los resultados del estudio de espesor óptica de aerosoles (EOA) y Forzamiento radiativo directo (FRD) en Top Of Atmosphere (TOA), obtenido de la campaña de medición y monitoreo realizada durante la XXI Expedición Antártica Peruana en los meses de enero y febrero de 2013 y en el Área Metropolitana de Huancayo (AMH) en los meses de junio y julio de 2019. En el Área Científica la Estación Peruana "Machu Picchu" en la Antártida usó un fotómetro solar SP02-L, el cual está dentro del marco instrumental del Año

Polar Internacional. Este instrumento tiene 4 canales: 412 nm, 500 nm, 675 nm y 862 nm, lo que permite mediciones espectrales de radiación directa. Y en el MHA usamos el sensor BF5. Este instrumento midió la radiación directa, difusa y global en baja longitud de onda. Los resultados calculados de EOA en latitudes polares variaron entre 0.0646 a 0.1061, en relación con EOA en AMH, presenta valor máximo que es 0.58 (11 de junio) y mínimo que es 0.19 (12 de junio). Se determinó el coeficiente de Angstrom tiene valores que van de 0 a 0,07, estos valores también indican la presencia de partículas grandes. También el AMH presenta el valor medio que varió de 0 a 1.8, que indicó la presencia de los tipos de aerosoles quema de biomasa e industrial. Propiedades ópticas registradas utilizadas para estimar el forzamiento radiativo directo de aerosol en la parte superior de la atmósfera. Los resultados indican que en el sitio de la isla Rey Jorge el DARF está entre [-2 4] W / m²; Además, el forzamiento radiativo de aerosol directo en MHA está entre [0 20] W/m²

El monitoreo de aerosoles a largo plazo en la Amazonía a través de fotómetros solares AERONET (Holben et al., 1998) muestra un EOA muy alta en ubicaciones puntuales distribuidas ampliamente en la región. La alta carga atmosférica de partículas de biomasa que se queman también tiene efectos importantes en la relación entre la radiación difusa y la directa (Yamasoe et al., 2006). Esto trae consigo el incremento de EOA a 550 nm de 0,1 a aproximadamente 1,0. Para un mayor aumento de AOD.

Según (Zhang et al., 2021); los cambios en las propiedades ópticas y microfísicas de los aerosoles y el forzamiento radiativo directo de onda corta en Beijing y Wuhan que se compararon. Se encontró que la aparición de neblina se rige por la circulación del viento y la capa límite en Beijing, donde la velocidad del viento terrestre y la altura de la capa límite disminuyeron significativamente con el desarrollo de la bruma. Con el desarrollo de la neblina, el mayor aumento de FRD en la parte superior de la atmósfera se encuentra en Beijing, mientras que el cambio en FRD en la atmósfera es más bajo en Wuhan. La eficiencia del FRD muestra que su cambio depende en gran medida del albedo de dispersión simple en Beijing debido a la mejora obvia de la dispersión de partículas, mientras que depende

mucho más del radio de partículas sobre Wuhan.

(Rizzo et al., 2013), llevó a cabo un experimento a largo plazo en un área de bosque primario en la Amazonía, con mediciones in situ continuas de las propiedades ópticas de los aerosoles entre febrero de 2008 y abril de 2011, que comprende, según nuestro conocimiento, la base de datos más extensa de la cuenca del Amazonas. Se identificaron dos clases principales de partículas de aerosol, con propiedades ópticas significativamente diferentes: aerosoles biogénicos predominantes en modo grueso en la estación húmeda (enero-junio), liberados naturalmente por el metabolismo forestal, y aerosoles que queman biomasa en modo fino en la estación seca (julio –Diciembre), transportado de incendios regionales. Los coeficientes de dispersión de partículas secas a la longitud de onda de 550 nm aumentaron de $6,3 \text{ Mm}^{-1}$ a 22 Mm^{-1} , mientras que la absorción a 637 nm aumentó de $0,5 \text{ Mm}^{-1}$ a $2,8 \text{ Mm}^{-1}$ de la estación húmeda a la seca. La mayor parte de la dispersión en la estación seca se atribuyó al predominio de partículas de modo fina (PM₂) (40-80% de la masa de PM₁₀), mientras que los coeficientes de absorción mejorados se atribuyen a la presencia de aerosoles absorbentes de luz provenientes de la quema de biomasa. Como tanto la dispersión como la absorción aumentaron en la estación seca, el albedo de dispersión simple (SSA) no mostró una variabilidad estacional significativa, en promedio $0,86 \pm 0,08$ a 637 nm para aerosoles secos. Las propiedades ópticas de las partículas medidas se utilizaron para estimar la eficiencia de forzamiento del aerosol en la parte superior de la atmósfera. Los resultados indican que en este sitio de bosque primario el balance radiativo estuvo dominado por la cubierta de nubes, particularmente en la estación lluviosa. Debido a las altas fracciones de las nubes, los valores absolutos de la eficiencia de forzamiento del aerosol estuvieron por debajo de $-3,5 \text{ W m}^{-2}$ en el 70% de los días de la estación húmeda y en el 46% de los días de la estación seca.

Este artículo (Sena, Artaxo y Correia, 2013) aborda el balance radiativo de onda corta en la amazonia en condiciones libres de nubes después de considerar tres aspectos de la deforestación: (i) la emisión de aerosoles por la quema de biomasa debido a los incendios forestales; (ii) cambios en el albedo superficial

luego de la deforestación; y (iii) modificaciones en la cantidad de vapor de agua sobre áreas deforestadas. El forzamiento radiativo directo promedio de los aerosoles en la parte superior de la atmósfera (TOA) durante la temporada de quema de biomasa para el período estudiado de 10 años fue de $-5,6 \pm 1,7 \text{ W m}^{-2}$. Además, se obtuvo la distribución espacial del forzamiento radiativo directo de aerosoles sobre la Amazonia para la temporada de quema de biomasa de cada año. Se observó que para AOD alto (mayor que 1 a 550 nm) el forzamiento radiativo de aerosol directo máximo diario en el TOA puede ser tan alto como -20 W m^{-2} localmente. La reflectancia de la superficie juega un papel importante en el efecto radiativo directo del aerosol. El estudio de los efectos de los aerosoles de combustión de biomasa sobre diferentes tipos de superficies muestra que el forzamiento radiativo directo es sistemáticamente más negativo sobre los bosques que sobre las áreas cubiertas como sabanas. Se calcularon valores de $-15,7 \pm 2,4 \text{ W m}^{-2} / \tau_{550\text{nm}}$ y $-9,3 \pm 1,7 \text{ W m}^{-2} / \tau_{550\text{nm}}$ para las eficiencias medias diarias de forzamiento de aerosoles sobre bosques y vegetación similar a la sabana, respectivamente. El forzamiento radiativo del cambio de uso de la tierra promedio anual debido a la deforestación en el estado de Rondonia, Brasil, se determinó a $-7.3 \pm 0,9 \text{ W m}^{-2}$. Los aerosoles de combustión de biomasa impactan el balance radiativo durante aproximadamente dos meses al año, mientras que el impacto del albedo superficial se observa durante todo el año. Debido a esta diferencia, el impacto estimado en el presupuesto radiativo anual de la Amazonía debido al cambio de albedo superficial es aproximadamente 6 veces mayor que el impacto debido a las emisiones de aerosoles. También se estudió la influencia del contenido de vapor de agua atmosférico en el balance radiativo utilizando vapor de agua de columna AERONET. Se observó que el vapor de agua de la columna es, en promedio, más pequeño en aproximadamente 0.35 cm (alrededor del 10% del vapor de agua de la columna total) en las áreas deforestadas en comparación con las áreas boscosas. Los resultados indican que este secado contribuye a un aumento en el forzamiento radiativo de onda corta, que varía de 0.4 W m^{-2} a 1.2 W m^{-2} dependiendo del contenido de vapor de agua de la columna antes de la deforestación.

VI. CONCLUSIONES

- En relación con el FRD entre Huancayo, Paraná y Rio Branco, permitió conocer que existe una máxima relación entre Paraná y Rio Branco con un coeficiente de determinación de 0.34; mientras que existe una relación mínima con un coeficiente de determinación de 0.08 entre Huancayo y Paraná de 0.08.
- Durante la estación seca, la concentración de masa promedio de PM1 para T5 ($9.1 \pm 3.2 \mu\text{g.m}^{-3}$) es significativamente menor que la masa de PM1 para T3 ($15.9 \pm 7.6 \mu\text{g.m}^{-3}$), con una tasa de aumento del factor de 1,27. Estos resultados indican que:
 - Altas cargas de partículas finas afectan las regiones de estudio, debido al transporte a larga distancia de los incendios regionales llevados por advección, tan común durante la estación seca en la Amazonía.
 - La mayor concentración de PM1 en la época seca en el sitio T1 también fue observada por con un valor promedio de $18.5 \mu\text{g.m}^{-3}$, relacionándola con las influencias de los incendios.
 - Para MP2.5, en la estación seca predomina las concentraciones obtenidas en las estaciones T3($21.4 \mu\text{g/m}^3$) y T1($29.2 \mu\text{g/m}^3$), para la estación húmeda se da una ligera predominancia en la estación T1($20.4 \mu\text{g/m}^3$), esto se debe a que en el área de Huancayo las lluvias fueron tardías y bajo en su tasa de precipitación. Este patrón estacional está asociado con diferencias en las condiciones climáticas y las fuentes de emisiones características de los períodos lluviosos y secos.
 - En la MP10, en la estación seca predomina las concentraciones obtenidas en las estaciones T3($22.4 \mu\text{g/m}^3$) y T1($28.2 \mu\text{g/m}^3$), para la estación húmeda se da una ligera predominancia en la estación T1($25.4 \mu\text{g/m}^3$), esto se debe a que en el área de Huancayo las lluvias.
- En la región andina central (noroeste del Perú), el alto relieve no contribuye a la ocurrencia de patrones de viento que favorezcan el levantamiento de aerosoles. Una región que llama la atención en este sentido es precisamente la que comprende el sur oeste de Brasil, que tiene poca elevación y está

rodeada de floresta. Las simulaciones con el modelo Hysplit utilizando la trayectoria inversa y la estación AERONET instaladas en la amazonia brasilera y Huancayo, como referencia indicaron constantemente la región del sur oeste de Brasil como la fuente de las masas de aire que fueron transportadas hacia Huancayo.

- La relación de concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña, se observa que existe relación entre la estación T1 con las estaciones T2, T3, T4 y T5, donde se estimó el grado de correlación lineal que existe entre ellos para concentraciones de MP1, MP2.5 y MP10. Por ello se obtuvo que la estación T1 tiene una dependencia lineal de un 39% y 40% con la estación T2 y T5 respectivamente para el MP1. Así mismo, tiene una dependencia lineal con la estación T2, T4 y T5 de 38, 36 y 40% respectivamente para MP2.5. No obstante, se presentó una dependencia lineal de 39, 36 y 39% con las estaciones T2, T3 y T5 respectivamente para MP10. Cabe resaltar que la dependencia lineal con estación T3 es baja para los 3 tipos de material particulado es alrededor de 20%
- El forzamiento radiativo en Huancayo y la Amazonia de Brasil, se observa la variabilidad mensual del forzamiento radiativo directo producto de los aerosoles atmosféricos, alcanza valores mínimos en la estación seca, cuando se presenta ausencia de lluvia en la provincia de Huancayo. Asimismo, en Paraná y Rio Branco alcanza valores mínimos alrededor de -30W/m² en los meses de agosto a setiembre.

VII. RECOMENDACIONES

1. Integrar de modelos regionales de calidad del aire, con asimilación de datos a tiempo real.
2. Implementar métodos de regresión usando fotómetros solares con múltiples longitudes de onda para la determinación exacta de los parámetros de turbidez (β y α) y parámetros radiativos de superficie (F_c y ω_0) en condiciones de cielo claro para la provincia de Huancayo.
3. Implementar los modelos de radiación solar para condiciones meteorológicas incluyendo el efecto de nubes, por ejemplo modelos como el Modelo de Radiación Meteorológica.

VIII. REFERENCIAS

- AMARILLO, A., CARRERAS, H., KRISNA, T., MIGNOLA, M., TAVERA BUSO, I. y WENDISCH, M., 2021. Exploratory analysis of carbonaceous PM_{2.5} species in urban environments: Relationship with meteorological variables and satellite data. *Atmospheric Environment*, ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2020.117987.
- ANDREAE, M.O., ROSENFELD, D., ARTAXO, P., COSTA, A.A., FRANK, G.P., LONGO, K.M. y SILVA-DIAS, M.A.F., 2004. Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science*, ISSN 00368075. DOI 10.1126/science.1092779.
- BAHADUR, R., PRAVEEN, P.S., XU, Y. y RAMANATHAN, V., 2012. Solar absorption by elemental and brown carbon determined from spectral observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, ISSN 00278424. DOI 10.1073/pnas.1205910109.
- BEVAN, S.L., NORTH, P.R.J., GREY, W.M.F., LOS, S.O. y PLUMMER, S.E., 2008. The impact of atmospheric aerosol from biomass burning on Amazon dry-season drought. *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*. S.l.: s.n., ISBN 9789292212308. DOI 10.1029/2008jd011112.
- BI, J., HUANG, J., HU, Z., HOLBEN, B.N. y GUO, Z., 2014. Investigating the aerosol optical and radiative characteristics of heavy haze episodes in Beijing during January of 2013. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, ISSN 21698996. DOI 10.1002/2014JD021757.
- BOWMAN, D.M.J.S., BALCH, J.K., ARTAXO, P., BOND, W.J., CARLSON, J.M., COCHRANE, M.A., D'ANTONIO, C.M., DEFRIES, R.S., DOYLE, J.C., HARRISON, S.P., JOHNSTON, F.H., KEELEY, J.E., KRAWCHUK, M.A., KULL, C.A., MARSTON, J.B., MORITZ, M.A., PRENTICE, I.C., ROOS, C.I., SCOTT, A.C., SWETNAM, T.W., VAN DER WERF, G.R. y PYNE, S.J., 2009. *Fire in the earth system*. 2009. S.l.: s.n.
- BRUNEKREEF, B. y HOFFMANN, B., 2016. *Air pollution and heart disease*. 2016. S.l.: s.n.
- BUTT, E.W., TURNOCK, S.T., RIGBY, R., REDDINGTON, C.L., YOSHIOKA, M., JOHNSON, J.S., REGAYRE, L.A., PRINGLE, K.J., MANN, G.W. y SPRACKLEN, D. V., 2017. Global and regional trends in particulate air pollution

- and attributable health burden over the past 50 years. *Environmental Research Letters*, ISSN 17489326. DOI 10.1088/1748-9326/aa87be.
- BUTT, N., DE OLIVEIRA, P.A. y COSTA, M.H., 2011. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, ISSN 01480227. DOI 10.1029/2010JD015174.
- CAO, C., LEE, X., LIU, S., SCHULTZ, N., XIAO, W., ZHANG, M. y ZHAO, L., 2016. Urban heat islands in China enhanced by haze pollution. *Nature Communications*, ISSN 20411723. DOI 10.1038/ncomms12509.
- CARRILLO, G.J. y MARIN, M.R., 2007. *Estudio de los Aerosoles - Material Particulado en la ciudad de Huancayo y su relacion con la quema de biomasa en Brasil*. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- CÉSPEDES, J., CUERO, J. y HERNÁNDEZ, F., 2015. Metodología para medir las concentraciones de aerosoles atmosféricos usando técnicas de teledetección. *Puente Revista Científica*, pp. 61-77. DOI 10.18566.
- CHE, H., QI, B., ZHAO, H., XIA, X., ECK, T.F., GOLOUB, P., DUBOVIK, O., ESTELLES, V., CUEVAS-AGULLÓ, E., BLAREL, L., WU, Y., ZHU, J., DU, R., WANG, Y., WANG, H., GUI, K., YU, J., ZHENG, Y., SUN, T., CHEN, Q., SHI, G. y ZHANG, X., 2018. Aerosol optical properties and direct radiative forcing based on measurements from the China Aerosol Remote Sensing Network (CARSNET) in eastern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 1680-7324. DOI 10.5194/acp-18-405-2018.
- CHE, H., XIA, X., ZHU, J., LI, Z., DUBOVIK, O., HOLBEN, B., GOLOUB, P., CHEN, H., ESTELLES, V., CUEVAS-AGULLÓ, E., BLAREL, L., WANG, H., ZHAO, H., ZHANG, X., WANG, Y., SUN, J., TAO, R., ZHANG, X. y SHI, G., 2014. Column aerosol optical properties and aerosol radiative forcing during a serious haze-fog month over North China Plain in 2013 based on ground-based sunphotometer measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807316. DOI 10.5194/acp-14-2125-2014.
- CHEN, B., YOU, S., YE, Y., FU, Y., YE, Z., DENG, J., WANG, K. y HONG, Y., 2021. An interpretable self-adaptive deep neural network for estimating daily spatially-continuous PM_{2.5} concentrations across China. *Science of the Total Environment*, ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.144724.

- CHEN, P., WANG, T., HU, X. y XIE, M., 2015. Chemical mass balance source apportionment of size-fractionated particulate matter in Nanjing, China. *Aerosol and Air Quality Research*, ISSN 20711409. DOI 10.4209/aaqr.2015.03.0172.
- CHEN, Y. y YU, S., 2017. Impacts of urban landscape patterns on urban thermal variations in Guangzhou, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, ISSN 1872826X. DOI 10.1016/j.jag.2016.09.007.
- CHENG, Z., LUO, L., WANG, S., WANG, Y., SHARMA, S., SHIMADERA, H., WANG, X., BRESSI, M., DE MIRANDA, R.M., JIANG, J., ZHOU, W., FAJARDO, O., YAN, N. y HAO, J., 2016. Status and characteristics of ambient PM_{2.5} pollution in global megacities. *Environment International*, ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2016.02.003.
- CHIRINO, Y.I., SÁNCHEZ-PÉREZ, Y., OSORNIO-VARGAS, Á.R., ROSAS, I. y GARCÍA-CUELLAR, C.M., 2015. Sampling and composition of airborne particulate matter (PM₁₀) from two locations of Mexico City. *Data in Brief*, ISSN 23523409. DOI 10.1016/j.dib.2015.06.017.
- CHOLAN, E. y ROJAS, B.L.W. y L.C.O., 2016. Estimación del espesor óptico de los aerosoles a partir de las imágenes del sensor MODIS sobre el Perú (2004-2005) Aerosols optical thickness estimation from MODIS sensor images over Perú (2004-2005). *Revista de Investigación de Física*, vol. 19, pp. 1-14.
- CHOLAN, E. y ROJAS, J., 2015. *Estimación del espesor óptico de los aerosoles a partir de los datos Level 1B del sensor MODIS sobre Perú*. S.l.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- CLEMENTS, N., EAV, J., XIE, M., HANNIGAN, M.P., MILLER, S.L., NAVIDI, W., PEEL, J.L., SCHAUER, J.J., SHAFER, M.M. y MILFORD, J.B., 2014. Concentrations and source insights for trace elements in fine and coarse particulate matter. *Atmospheric Environment*, ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2014.01.011.
- COLARCO, P., DA SILVA, A., CHIN, M. y DIEHL, T., 2010. Online simulations of global aerosol distributions in the NASA GEOS-4 model and comparisons to satellite and ground-based aerosol optical depth. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, ISSN 01480227. DOI 10.1029/2009JD012820.
- CRISTÓBAL VIVANCO, 2014. Variabilidad temporal de aerosoles atmosféricos en

- Huancayo Temporal variability of atmospheric aerosols in Huancayo. , vol. 4, pp. 57-68.
- DE LA CRUZ, A.H., ROCA, Y.B., SUAREZ-SALAS, L., POMALAYA, J., TOLENTINO, D.A. y GIODA, A., 2019. Chemical characterization of PM 2.5 at rural and urban sites around the metropolitan area of Huancayo (Central Andes of Peru). *Atmosphere*, ISSN 20734433. DOI 10.3390/atmos10010021.
- DE LA CRUZ, A.R.H., DE LA CRUZ, J.K.H., TOLENTINO, D.A. y GIODA, A., 2018. Trace element biomonitoring in the Peruvian andes metropolitan region using *Flavoparmelia caperata* lichen. *Chemosphere*, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.07.013.
- DENG, C., BROOKS, S.D., VIDAURRE, G. y THORNTON, D.C.O., 2014. Using Raman Microspectroscopy to Determine Chemical Composition and Mixing State of Airborne Marine Aerosols over the Pacific Ocean Using Raman Microspectroscopy to Determine Chemical Composition and Mixing State of Airborne Marine Aerosols over the Pacif. *Aerosol Science and Technology*, vol. 6826, pp. 193-206. DOI 10.1080/02786826.2013.867297.
- FLORES, J.L., KARAM, H.A., MARQUES FILHO, E.P. y PEREIRA FILHO, A.J., 2016. Estimation of atmospheric turbidity and surface radiative parameters using broadband clear sky solar irradiance models in Rio de Janeiro-Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, ISSN 14344483. DOI 10.1007/s00704-014-1369-7.
- FORSTER, P. y (USA), V.R., 2010. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing Coordinating. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S.l.: s.n., ISBN 9780521705967.
- GETTELMAN, A., SHINDELL, D.T. y LAMARQUE, J.F., 2015. Impact of aerosol radiative effects on 2000–2010 surface temperatures. *Climate Dynamics*, ISSN 14320894. DOI 10.1007/s00382-014-2464-2.
- HAERTER, J.O., ROECKNER, E., TOMASSINI, L. y VON STORCH, J.S., 2009. Parametric uncertainty effects on aerosol radiative forcing. *Geophysical Research Letters*, ISSN 00948276. DOI 10.1029/2009GL039050.
- HANSEN, J., SATO, M., RUEDY, R., NAZARENKO, L., LACIS, A., SCHMIDT, G.A., RUSSELL, G., ALEINOV, I., BAUER, M., BAUER, S., BELL, N., CAIRNS, B.,

- CANUTO, V., CHANDLER, M., CHENG, Y., DEL GENIO, A., FALUVEGI, G., FLEMING, E., FRIEND, A., HALL, T., JACKMAN, C., KELLEY, M., KIANG, N., KOCH, D., LEAN, J., LERNER, J., LO, K., MENON, S., MILLER, R., MINNIS, P., NOVAKOV, T., OINAS, V., PERLWITZ, Ja, PERLWITZ, Ju, RIND, D., ROMANOU, A., SHINDELL, D., STONE, P., SUN, S., TAUSNEV, N., THRESHER, D., WIELICKI, B., WONG, T., YAO, M. y ZHANG, S., 2005. *Efficacy of climate forcings*. 2005. S.l.: s.n.
- HOLBEN, B.N., ECK, T.F., SLUTSKER, I., TANRÉ, D., BUIS, J.P., SETZER, A., VERMOTE, E., REAGAN, J.A., KAUFMAN, Y.J., NAKAJIMA, T., LAVENU, F., JANKOWIAK, I. y SMIRNOV, A., 1998. AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sensing of Environment*, ISSN 00344257. DOI 10.1016/S0034-4257(98)00031-5.
- INPE, 2016. Projeto Prodes: Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite. *Instituto de Pesquisa Espacial*. S.l.:
- INPE, 2020. Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. *Instituto Nacional de Pesquisa Espacial*,
- JANTA, R. y CHANTARA, S., 2017. Tree bark as bioindicator of metal accumulation from road traffic and air quality map: A case study of Chiang Mai, Thailand. *Atmospheric Pollution Research*, ISSN 13091042. DOI 10.1016/j.apr.2017.03.010.
- KIM, K.H., KABIR, E. y KABIR, S., 2015. *A review on the human health impact of airborne particulate matter*. 2015. S.l.: s.n.
- KOFFI, B., SCHULZ, M., BRÉON, F.M., DENTENER, F., STEENSEN, B.M., GRIESFELLER, J., WINKER, D., BALKANSKI, Y., BAUER, S.E., BELLOUIN, N., BERNTSEN, T., BIAN, H., CHIN, M., DIEHL, T., EASTER, R., GHAN, S., HAUGLUSTAINE, D.A., IVERSEN, T., KIRKEVÅG, A., LIU, X., LOHMANN, U., MYHRE, G., RASCH, P., SELAND, Ø., SKEIE, R.B., STEENROD, S.D., STIER, P., TACKETT, J., TAKEMURA, T., TSIGARIDIS, K., VUOLO, M.R., YOON, J. y ZHANG, K., 2016. Evaluation of the aerosol vertical distribution in global aerosol models through comparison against CALIOP measurements: AeroCom phase II results. *Journal of Geophysical Research*, ISSN 21562202. DOI 10.1002/2015JD024639.
- KOREN, I., VANDERLEI MARTINS, J., REMER, L.A. y AFARGAN, H., 2008.

- Smoke invigoration versus inhibition of clouds over the amazon. *Science*, ISSN 00368075. DOI 10.1126/science.1159185.
- KRISHAN, M., JHA, S., DAS, J., SINGH, A., GOYAL, M.K. y SEKAR, C., 2019. Air quality modelling using long short-term memory (LSTM) over NCT-Delhi, India. *Air Quality, Atmosphere and Health*, ISSN 18739326. DOI 10.1007/s11869-019-00696-7.
- KUMAR, R., BARTH, M.C., PFISTER, G.G., NAJA, M. y BRASSEUR, G.P., 2014. WRF-Chem simulations of a typical pre-monsoon dust storm in northern India: Influences on aerosol optical properties and radiation budget. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807316. DOI 10.5194/acp-14-2431-2014.
- LEE, H.J., CHATFIELD, R.B. y STRAWA, A.W., 2016. Enhancing the Applicability of Satellite Remote Sensing for PM_{2.5} Estimation Using MODIS Deep Blue AOD and Land Use Regression in California, United States. *Environmental Science and Technology*, ISSN 15205851. DOI 10.1021/acs.est.6b01438.
- LELIEVELD, J., EVANS, J.S., FNAIS, M., GIANNADAKI, D. y POZZER, A., 2015. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, ISSN 14764687. DOI 10.1038/nature15371.
- LENNARTSON, E.M., WANG, J., GU, J., CASTRO GARCIA, L., GE, C., GAO, M., CHOI, M., SAIDE, P.E., CARMICHAEL, G.R., KIM, J. y JANZ, S.J., 2018. Diurnal variation of aerosol optical depth and PM_{2.5} in South Korea: A synthesis from AERONET, satellite (GOCI), KORUS-AQ observation, and the WRF-Chem model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807324. DOI 10.5194/acp-18-15125-2018.
- LI, D., LIU, J., ZHANG, J., GUI, H., DU, P., YU, T., WANG, J., LU, Y., LIU, W. y CHENG, Y., 2017. Identification of long-range transport pathways and potential sources of PM_{2.5} and PM₁₀ in Beijing from 2014 to 2015. *Journal of Environmental Sciences (China)*, ISSN 18787320. DOI 10.1016/j.jes.2016.06.035.
- LI, L., FRANKLIN, M., GIRGUIS, M., LURMANN, F., WU, J., PAVLOVIC, N., BRETON, C., GILLILAND, F. y HABRE, R., 2020. Spatiotemporal imputation of MAIAC AOD using deep learning with downscaling. *Remote Sensing of Environment*, ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2019.111584.
- LIN, S.Y., JU, S.W., LIN, C.L., HSU, W.H., LIN, C.C., TING, I.W. y KAO, C.H., 2020.

- Air pollutants and subsequent risk of chronic kidney disease and end-stage renal disease: A population-based cohort study. *Environmental Pollution*, ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114154.
- LIU, X., WANG, M., PAN, X., WANG, X., YUE, X., ZHANG, D., MA, Z., TIAN, Y., LIU, H., LEI, S., ZHANG, Y., LIAO, Q., GE, B., WANG, D., LI, J., SUN, Y., FU, P., WANG, Z. y HE, H., 2021. Chemical formation and source apportionment of PM_{2.5} at an urban site at the southern foot of the Taihang mountains. *Journal of Environmental Sciences (China)*, ISSN 18787320. DOI 10.1016/j.jes.2020.10.004.
- LOEB, N.G. y SU, W., 2010. Direct aerosol radiative forcing uncertainty based on a radiative perturbation analysis. *Journal of Climate*, ISSN 08948755. DOI 10.1175/2010JCLI3543.1.
- LU, X., LIN, C., LI, W., CHEN, Y., HUANG, Y., FUNG, J.C.H. y LAU, A.K.H., 2019. Analysis of the adverse health effects of PM_{2.5} from 2001 to 2017 in China and the role of urbanization in aggravating the health burden. *Science of the Total Environment*, ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.10.140.
- LUO, G., ZHANG, L., HU, X. y QIU, R., 2020. Quantifying public health benefits of PM_{2.5} reduction and spatial distribution analysis in China. *Science of the Total Environment*, ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137445.
- MA, Z., LIU, Y., ZHAO, Q., LIU, M., ZHOU, Y. y BI, J., 2016. Satellite-derived high resolution PM_{2.5} concentrations in Yangtze River Delta Region of China using improved linear mixed effects model. *Atmospheric Environment*, ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2016.03.040.
- MADRONICH, S., 1993. The Atmosphere and UV-B Radiation at Ground Level. *Environmental UV Photobiology*. S.l.: s.n.,
- MATEOS, D., ANTÓN, M., TOLEDANO, C., CACHORRO, V.E., ALADOS-ARBOLEDAS, L., SORRIBAS, M., COSTA, M.J. y BALDASANO, J.M., 2014. Aerosol radiative effects in the ultraviolet, visible, and near-infrared spectral ranges using long-term aerosol data series over the Iberian Peninsula. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807324. DOI 10.5194/acp-14-13497-2014.
- MATEUS, V.L., MONTEIRO, I.L.G., ROCHA, R.C.C., SAINT'PIERRE, T.D. y GIODA, A., 2013. Study of the chemical composition of particulate matter from

- the Rio de Janeiro metropolitan region, Brazil, by inductively coupled plasma-mass spectrometry and optical emission spectrometry. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, ISSN 05848547. DOI 10.1016/j.sab.2013.03.003.
- PARK, S., LEE, J., IM, J., SONG, C.K., CHOI, M., KIM, J., LEE, S., PARK, R., KIM, S.M., YOON, J., LEE, D.W. y QUACKENBUSH, L.J., 2020. Estimation of spatially continuous daytime particulate matter concentrations under all sky conditions through the synergistic use of satellite-based AOD and numerical models. *Science of the Total Environment*, ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.136516.
- PHILLIPS-SMITH, C., JEONG, C.H., HEALY, R.M., DABEK-ZLOTORZYNSKA, E., CELO, V., BROOK, J.R. y EVANS, G., 2017. Sources of particulate matter components in the Athabasca oil sands region: Investigation through a comparison of trace element measurement methodologies. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807324. DOI 10.5194/acp-17-9435-2017.
- POLICHETTI, G., COCCO, S., SPINALI, A., TRIMARCO, V. y NUNZIATA, A., 2009. *Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system*. 2009. S.l.: s.n.
- QIAO, B., CHEN, Y., TIAN, M., WANG, H., YANG, F., SHI, G., ZHANG, L., PENG, C., LUO, Q. y DING, S., 2019. Characterization of water soluble inorganic ions and their evolution processes during PM2.5 pollution episodes in a small city in southwest China. *Science of the Total Environment*, ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.09.376.
- R . P PIÑAS SUMALAVE, 2015. Modelos e instrumentos para estudios sobre espesor óptico de aerosoles y su relación con el forzamiento radiativo terrestre Models and tools for studies on aerosol optical thickness and its relation to the Earth ' s radiative forcing. , vol. 05, no. 02, pp. 205-210. DOI <http://dx.doi.org/10.18259/acs.2015030> ENSAYO.
- RAO, P.S.P., TIWARI, S., MATWALE, J.L., PERVEZ, S., TUNVED, P., SAFAI, P.D., SRIVASTAVA, A.K., BISHT, D.S., SINGH, S. y HOPKE, P.K., 2016. Sources of chemical species in rainwater during monsoon and non-monsoonal periods over two mega cities in India and dominant source region of secondary aerosols. *Atmospheric Environment*, ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2016.06.069.

- REID, H. y AHERNE, J., 2016. Staggering reductions in atmospheric nitrogen dioxide across Canada in response to legislated transportation emissions reductions. *Atmospheric Environment*, ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2016.09.032.
- RIZZA, U., BARNABA, F., MARCELLO MIGLIETTA, M., MANGIA, C., DI LIBERTO, L., DIONISI, D., COSTABILE, F., GRASSO, F. y PAOLO GOBBI, G., 2017. WRF-Chem model simulations of a dust outbreak over the central Mediterranean and comparison with multi-sensor desert dust observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807324. DOI 10.5194/acp-17-93-2017.
- RIZZO, L. V., ARTAXO, P., MÜLLER, T., WIEDENSOHLER, A., PAIXÃO, M., CIRINO, G.G., ARANA, A., SWIETLICKI, E., ROLDIN, P., FORS, E.O., WIEDEMANN, K.T., LEAL, L.S.M. y KULMALA, M., 2013. Long term measurements of aerosol optical properties at a primary forest site in Amazonia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807316. DOI 10.5194/acp-13-2391-2013.
- SAAD, M., TRABELSI, A., MASMOUDI, M. y ALFARO, S.C., 2016. Spatial and temporal variability of the atmospheric turbidity in Tunisia. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 149, pp. 93-99. ISSN 13646826. DOI 10.1016/j.jastp.2016.10.001.
- SCHULZ, M., TEXTOR, C., KINNE, S., BALKANSKI, Y., BAUER, S., BERNTSEN, T., BERGLEN, T., BOUCHER, O., DENTENER, F., GUIBERT, S., ISAKSEN, I.S.A., IVERSEN, T., KOCH, D., KIRKEVÅG, A., LIU, X., MONTANARO, V., MYHRE, G., PENNER, J.E., PITARI, G., REDDY, S., SELAND, STIER, P. y TAKEMURA, T., 2006. Radiative forcing by aerosols as derived from the AeroCom present-day and pre-industrial simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807324. DOI 10.5194/acp-6-5225-2006.
- SEKAR, C., GURJAR, B.R., OJHA, C.S.P. y GOYAL, M.K., 2016. Potential Assessment of Neural Network and Decision Tree Algorithms for Forecasting Ambient PM_{2.5} and CO Concentrations: Case Study. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, ISSN 2153-5493. DOI 10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000276.
- SENA, E.T., ARTAXO, P. y CORREIA, A.L., 2013. Spatial variability of the direct

- radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807316. DOI 10.5194/acp-13-1261-2013.
- SILVA, J., ROJAS, J., NORABUENA, M., MOLINA, C., TORO, R.A. y LEIVA-GUZMÁN, M.A., 2017. Particulate matter levels in a South American megacity: the metropolitan area of Lima-Callao, Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, ISSN 15732959. DOI 10.1007/s10661-017-6327-2.
- SONG, S.K., CHOI, Y.N., CHOI, Y., FLYNN, J. y SADEGHI, B., 2021. Characteristics of aerosol chemical components and their impacts on direct radiative forcing at urban and suburban locations in Southeast Texas. *Atmospheric Environment*, ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2020.118151.
- STOCKER, T.F., QIN, D., PLATTNER, G.K., TIGNOR, M.M.B., ALLEN, S.K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V. y MIDGLEY, P.M., 2013. *Climate change 2013 the physical science basis: Working Group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. S.l.: s.n. ISBN 9781107415324.
- SUÁREZ-SALAS, L., ÁLVAREZ TOLENTINO, D., BENDEZÚ, Y. y POMALAYA, J., 2017. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO DEL CENTRO URBANO DE HUANCAYO, PERÚ. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, ISSN 1810-634X. DOI 10.37761/rsqp.v83i2.197.
- SUAREZ, L., CASTILLO, L., MARIN, M., CARRILLO, G., RIMAC, L., POMALAYA, J. y MENACHO, R., 2015. Estudio de la variación estacional de ozono troposférico y aerosoles del Perú relacionado a las quemadas de vegetación en la Amazonía Study of the seasonal variation of tropospheric ozone and aerosols related to the. *ResearchGate*, no. August 2006, pp. 36-41. DOI 275033085.
- SUAZO, J.M.A., SALAS, L.S., CRUZ, A.R.H.D. La, VASQUEZ, R.A., AYLAS, G.R., CONDOR, A.R., ROJAS, E.R., CCURO, F.M., ROJAS, J.L.F. y KARAM, H.A., 2020. Direct radiative forcing due to aerosol properties at the peruvian antarctic station and metropolitan huancayo area. *Anuario do Instituto de Geociencias*, ISSN 19823908. DOI 10.11137/2020_4_404_412.

- TOSCA, M.G., CAMPBELL, J., GARAY, M., LOLLI, S., SEIDEL, F.C., MARQUIS, J. y KALASHNIKOVA, O., 2017. Attributing accelerated summertime warming in the southeast United States to recent reductions in aerosol burden: Indications from Vertically-resolved observations. *Remote Sensing*, ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs9070674.
- TWOMEY, S., 2007. Pollution and the Planetary Albedo. *Atmospheric Environment*, ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2007.10.062.
- WANG, H., QIAO, B., ZHANG, L., YANG, F. y JIANG, X., 2018. Characteristics and sources of trace elements in PM_{2.5} in two megacities in Sichuan Basin of southwest China. *Environmental Pollution*, ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2018.07.125.
- WANG, H., ZHANG, L., CHENG, I., YAO, X. y DABEK-ZLOTORZYNSKA, E., 2021. Spatiotemporal trends of PM_{2.5} and its major chemical components at urban sites in Canada. *Journal of Environmental Sciences (China)*, ISSN 18787320. DOI 10.1016/j.jes.2020.09.035.
- WANG, S., FANG, L., GU, X., YU, T. y GAO, J., 2011. Comparison of aerosol optical properties from Beijing and Kanpur. *Atmospheric Environment*, ISSN 13522310. DOI 10.1016/j.atmosenv.2011.06.055.
- WANG, Y., CHE, H., MA, J., WANG, Q., SHI, G., CHEN, H., GOLOUB, P. y HAO, X., 2009. Aerosol radiative forcing under clear, hazy, foggy, and dusty weather conditions over Beijing, China. *Geophysical Research Letters*, ISSN 00948276. DOI 10.1029/2009GL037181.
- WHO/EUROPE, 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. *Bonn, Germany: in puncto druck+ medien GmbH*, ISSN 2041-1480. DOI 10.1186/2041-1480-2-S2-I1.
- WU, H., WANG, T., WANG, Q., CAO, Y., QU, Y. y NIE, D., 2021. Radiative effects and chemical compositions of fine particles modulating urban heat island in Nanjing, China. *Atmospheric Environment*, ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2021.118201.
- WU, W., JIN, Y. y CARLSTEN, C., 2018. *Inflammatory health effects of indoor and outdoor particulate matter*. 2018. S.l.: s.n.
- XIA, T.Y., WANG, J. ying, SONG, K. y DA, L. jun, 2014. Variations in air quality during rapid urbanization in Shanghai, China. *Landscape and Ecological*

- Engineering*, ISSN 18601871. DOI 10.1007/s11355-011-0174-z.
- XIAO, Q., WANG, Y., CHANG, H.H., MENG, X., GENG, G., LYAPUSTIN, A. y LIU, Y., 2017. Full-coverage high-resolution daily PM_{2.5} estimation using MAIAC AOD in the Yangtze River Delta of China. *Remote Sensing of Environment*, ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2017.07.023.
- YAMASOE, M.A., VON RANDOW, C., MANZI, A.O., SCHAFER, J.S., ECK, T.F. y HOLBEN, B.N., 2006. Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ISSN 16807324. DOI 10.5194/acp-6-1645-2006.
- ZHANG, M., JIN, S., MA, Y., FAN, R., WANG, L., GONG, W. y LIU, B., 2021. Haze events at different levels in winters: A comprehensive study of meteorological factors, Aerosol characteristics and direct radiative forcing in megacities of north and central China. *Atmospheric Environment*, ISSN 18732844. DOI 10.1016/j.atmosenv.2020.118056.
- ZHANG, Q., ZHENG, Y., TONG, D., SHAO, M., WANG, S., ZHANG, Y., XU, X., WANG, J., HE, H., LIU, W., DING, Y., LEI, Y., LI, J., WANG, Z., ZHANG, X., WANG, Y., CHENG, J., LIU, Y., SHI, Q., YAN, L., GENG, G., HONG, C., LI, M., LIU, F., ZHENG, B., CAO, J., DING, A., GAO, J., FU, Q., HUO, J., LIU, B., LIU, Z., YANG, F., HE, K. y HAO, J., 2019. Drivers of improved PM_{2.5} air quality in China from 2013 to 2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, ISSN 10916490. DOI 10.1073/pnas.1907956116.
- ZHANG, Y., FU, R., YU, H., QIAN, Y., DICKINSON, R., DIAS, M.A.F.S., DIÁS, P.L.D.S. y FERNANDES, K., 2009. Impact of biomass burning aerosol on the monsoon circulation transition over Amazonia. *Geophysical Research Letters*, ISSN 00948276. DOI 10.1029/2009GL037180.
- ZHOU, H., LÜ, C., HE, J., GAO, M., ZHAO, B., REN, L., ZHANG, L., FAN, Q., LIU, T., HE, Z., DUDAGULA, ZHOU, B., LIU, H. y ZHANG, Y., 2018. Stoichiometry of water-soluble ions in PM_{2.5}: Application in source apportionment for a typical industrial city in semi-arid region, Northwest China. *Atmospheric Research*, ISSN 01698095. DOI 10.1016/j.atmosres.2018.01.017.

Y. Gómez Zamora & O. Cuesta Santos, 2011. "Aplicación del Modelo

HYSPLIT en estudios de contaminación atmosférica en la estación regional La Palma", Estudios de Caso. 17(2), 87–95.

G. Villar Lagos, 2017. Estudio de Modelos de Dispersion y su Aplicación al Control Industrial. Tesis de pregrado, Universidad de Alcalá Escuela Politécnica Superior.

R.M. Gonzales Barras, 2002. Modelo lagrangiano de difusion de particulas por el metodo Monte Carlo. Tesis de Doctorado, Universidad complutense de madrid.

R.R. Draxler, 2004. Seminario de capacitacion para el uso del modelo HYSPLIT en PC. HYbrid Single- Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA, USA.

R.R. Draxler & G.D. Rolph, 2010. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

Rolph Glenn, Stein Ariel & Stunder Barbara. 2017. Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. Environmental Modelling and Software.

ANEXOS

SOLICITUD: Validación de instrumentos
de recojo de información

Dr. JULIO MIGUEL ANGELES SUAZO

Yo Susan Estefani Solano Navarro, identificada con DNI N° 73230518; alumna de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: "Forzamiento radiativo de la Concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia de Brasil en el periodo 2020", solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumento, fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 10 de marzo del 2021



SUSAN ESTEFANI SOLANO NAVARRO

DNI: 73230518

SOLICITUD: Validación de instrumentos
de recojo de información

Dr. ORDONEZ GALVEZ, JUAN JULIO

Yo Susan Estefani Solano Navarro, identificada con DNI N° 73230518; alumna de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: "Forzamiento radiativo de la Concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia de Brasil en el periodo 2020", solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos.

- Instrumento, fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 08 de marzo del 2021



Susan E. Solano Navarro
DNI: 73230518

SOLICITUD: Validación de instrumentos de recojo de información

Dr. ALEX RUBEN HUAMAN DE LA CRUZ

Yo Susán Estefani Solano Navarro, identificada con DNI N° 73230518; alumna de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto: Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: "Forzamiento radiativo de la Concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia de Brasil en el periodo 2020", solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumento, fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 10 de marzo del 2021



SUSAN ESTEFANI SOLANO NAVARRO

DNI: 73230518

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Julio Angeles Suazo**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente Investigador**
 1.3. Especialidad o línea de investigación:
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis de concentración de material particulado utilizando el sensor purpleair**
 1.5. Autoras del Instrumento: Susan Solano Navarro

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 11 de marzo del 2021



Julio Angeles Suazo
 Maestro en Ingeniería Ambiental
 DNI 47570707

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES

- 1.6. Apellidos y Nombres: **Mg. Julio Angeles Suazo**
 1.7. Cargo e institución donde labora: **Docente Investigador**
 1.8. Especialidad o línea de investigación:
 1.9. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis vientos utilizando el modelo HYSPLIT de la NOAA**
 1.10. Autoras del Instrumento: **Susan Solano Navarro**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

 SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 11 de marzo del 2021



Julio Angeles Suazo
 Maestro en Ingeniería Ambiental
 DNI 47570797

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES
1.11. Apellidos y Nombres: Mg. Julio Angeles Suazo
1.12. Cargo e institución donde labora: Docente Investigador
1.13. Especialidad o línea de investigación:
1.14. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Análisis de propiedades físicas de aerosoles atmosféricos
1.15. Autoras del Instrumento: Susan Solano Navarro
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 11 de marzo del 2021



 Julio Angeles Suazo
 Maestro en Ingeniería Ambiental
 DNI 47570797

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
V. DATOS GENERALES
1.16. Apellidos y Nombres: Mg. Julio Angeles Suazo

1.17. Cargo e institución donde labora: Docente Investigador

1.18. Especialidad o línea de investigación:
1.19. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Análisis de forzamiento radiativo directo

1.20. Autoras del Instrumento: Susan Solano Navarro

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

 SI

El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 11 de marzo del 2021



 Julio Angeles Suazo
 Maestro en Ingeniería Ambiental
 DNI 47579797

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/ UCV Lima Norte**
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Hidrólogo Ambiental**
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis de concentración de material particulado utilizando el sensor purpleair**
 1.5. Autoras del Instrumento: **Susan Estefani Solano Navarro**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

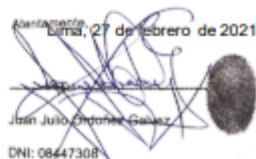
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 27 de febrero de 2021



Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES

- 1.6. Apellidos y Nombres: **Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**
 1.7. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/ UCV Lima Norte**
 1.8. Especialidad o línea de investigación: **Hidrólogo Ambiental**
 1.9. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis vientos utilizando el modelo HYSPLIT de la NOAA**
 1.10. Autoras del Instrumento: **Susan Estefani Solano Navarro**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

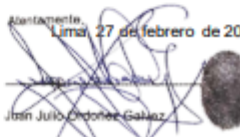
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Atentamente,
 Lima, 27 de febrero de 2021



Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES
1.11. Apellidos y Nombres: Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO

1.12. Cargo e institución donde labora: Docente e Investigador/ UCV Lima Norte

1.13. Especialidad o línea de investigación:
1.14. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Análisis de propiedades físicas de aerosoles atmosféricos

1.15. Autoras del Instrumento: Susan Estefani Solano Navarro

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

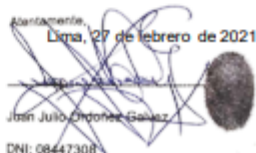
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 27 de febrero de 2021


 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
V. DATOS GENERALES
1.16. Apellidos y Nombres: Dr. ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO

1.17. Cargo e institución donde labora: Docente e Investigador/ UCV Lima Norte

1.18. Especialidad o línea de investigación: Hidrólogo Ambiental

1.19. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Análisis de forzamiento radiativo directo

1.20. Autoras del Instrumento: Susan Estefani Solano Navarro

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

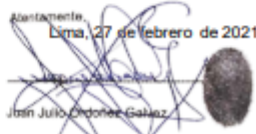
VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Santamente,
 Lima, 27 de febrero de 2021

 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 06447308

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Alex Rubén Huaman de la Cruz**
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente Investigador**
 1.3. Especialidad o línea de investigación:
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis de concentración de material particulado utilizando el sensor purpleair**
 1.5. Autoras del Instrumento: Susan Solano Navarro


II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI


 Alex Rubén Huamán De La Cruz
 ORCID: 0000-0003-4583-9136
 CIP: 226667

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 11 de marzo del 2021

VALIDACION DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

1.6. Apellidos y Nombres: **Dr. Alex Rubén Huaman de la Cruz**

1.7. Cargo e institución donde labora: **Docente Investigador**

1.8. Especialidad o línea de investigación:

1.9. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis vientos utilizando el modelo HYSPLIT de la NOAA**

1.10. Autoras del Instrumento: **Susan Solano Navarro**


II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI


Alex Rubén Huamán De La Cruz
 ORCID: 0000-0003-4583-9136
 CIP: 226667

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 11 de marzo del 2021

VALIDACION DE INSTRUMENTOS
I. DATOS GENERALES
1.11.Apellidos y Nombres: **Dr. Alex Rubén Huaman de la Cruz**
1.12.Cargo e institución donde labora: **Docente Investigador**
1.13.Especialidad o línea de investigación:

1.14.Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis de propiedades físicas de aerosoles atmosféricos**
1.15.Autoras del Instrumento: Susan Solano Navarro


II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI



Alex Rubén Huamán De La Cruz
 ORCID: 0000-0003-4583-9136
 CIP: 226667

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 11 de marzo del 2021

VALIDACION DE INSTRUMENTOS

V. DATOS GENERALES

1.16. Apellidos y Nombres: **Dr. Alex Rubén Huaman de la Cruz**

1.17. Cargo e institución donde labora: **Docente Investigador**

1.18. Especialidad o línea de investigación:

1.19. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Análisis de forzamiento radiativo directo**

1.20. Autoras del Instrumento: Susan Solano Navarro

VI. ASPECTOS DE VALIDACIÓN


CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X

VII. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI


Alex Rubén Huamán De La Cruz
 ORCID: 0000-0003-4583-9136
 CIP: 226667

VIII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

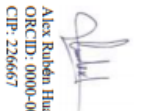
95%

Lima, 11 de marzo del 2021

Ficha 2. Análisis de vientos utilizando modelo HYSPLIT de la NOAA			
Título del proyecto	Forzamiento radiativo de la Concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia de Brasil en el periodo 2020		
Responsable	Solano Navarro, Susan Estefani		
Asesor	Dr. Juan Julio, Ordoñez Gálvez	Fecha	Hora
Lugar	Masas de aire para el transporte de contaminantes		
Dimensiones	Ubicaciones de fuentes de contaminación Adimensional		
Unidad de Medida			
Indicadores			
Ubicaciones de fuentes de contaminación Adimensional			


 Juan Julio Ordoñez Gálvez
 DNI: 09447308


 Julio Angeles Suazo
 Maestro en Ingeniería Ambiental
 CIP 159595
 ORCID [0000-0001-8327-9032](https://orcid.org/0000-0001-8327-9032)
 DNI 47579797


 Alex Rubén Huamán De La Cruz
 ORCID: [0000-0003-4583-9136](https://orcid.org/0000-0003-4583-9136)
 CIP: 226667

Ficha 3. Análisis de propiedades físicas de aerosoles atmosféricos

Título del proyecto		Forzamiento radiativo de la Concentración de material particulado entre la ciudad de Huancaayo y La Amazonia de Brasil en el periodo 2020		
Responsable		Solano Navarro, Susan Estéfani		
Asesor		Dr. Juan Julio, Ordóñez Gálvez		
Lugar		Fecha		
Dimensiones		Propiedades físicas de aerosoles atmosféricos		
Indicador		Espesor óptico de aerosol (EOA)		
Unidad de medida		adimensional		
EOA Huancaayo				
EOA Parana				
EOA-Río Brinco				

Autenticación

 DNI: 08447308

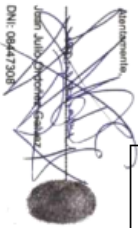
Julio Angeles Suazo
 Maestro en Ingeniería Ambiental
 CIP 159595
 ORCID [0000-0001-8327-9032](https://orcid.org/0000-0001-8327-9032)
 DNI 47579797

Alex Rubén Humán De La Cruz
 URC.UJ. 0000-0003-4383-9136
 CIP: 226667

Ficha 4. Analisis de forzamiento radiativo directo

Título del proyecto	Forzamiento radiativo de la Concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia de Brasil en el periodo 2020		
Responsable	Solano Navarro, Susan Estefani		
Asesor	Dr. Juan Julio, Ordóñez Galvez	Fecha	Hora
Lugar			
Dimensiones	Forzamiento radiativo directo		

Indicador	Forzamiento radiativo directo (FRD)			
FRD Huancayo				
FRD Amazonia Brasileria (parana)				
FRD Amazonia Brasileria (Rio Branco)				

Manuscrita,

 Juan Julio Ordóñez Galvez
 DNI: 09447308



Julio Angeles Suazo
 Maestro en Ingeniería Ambiental
 CIP: 139395
 ORCID [0000-0001-8327-9032](https://orcid.org/0000-0001-8327-9032)
 DNI: 47579797


 Alex Rubén Humán De La Cruz
 ORCID: 0000-0003-4583-9136
 CIP: 22667

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	
¿Cuál es la relación del forzamiento radiativo de la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña-2020?,	Determinar la relación entre el forzamiento radiativo de la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña-2020	La relación del forzamiento radiativo directo del material particulado sobre Huancayo y Amazonia de Brasil durante el periodo 2020 presenta valores negativos produciendo un enfriamiento en el sistema atmosférico	VI: material particulado	Concentración de material particulado Espesor óptico de aerosol Vientos transformizos
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente	
¿Cuál es la variabilidad temporal y espacial de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020?	Determinar la variabilidad temporal de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020	La variabilidad temporal de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020 presenta valores máximos en la estación seca		
¿Cuál es el de los vientos en el transporte de material particulado desde la Amazonia Brasileña hacia Huancayo?	Determinar el comportamiento de los vientos en el transporte de material particulado desde la Amazonia Brasileña hacia Huancayo.	Los vientos influyen significativamente en el transporte de material particulado de la Amazonia Brasileira hacia la ciudad Huancayo	VD: forzamiento radiativo	Balance de energía
¿Cuál es la relación de concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña?,	Determinar la relación de concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña.	Existe una relación directa entre la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña		
¿Cuál es el forzamiento radiativo en Huancayo y la amazonia de Brasil?	Determinar el forzamiento radiativo en Huancayo y la amazonia de Brasil.	El forzamiento radiativo en Huancayo y la amazonia de Brasil es menor a 0		

Anexo 1

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA/UNIDADES
Concentración de material particulado de Brasil en Huancayo	Es una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire (Aquí falta la cita)	Para determinar la concentración de material particulado se va emplear el método gravimétrico o mediante el uso de sensores de bajo costo como el Purpleair	Variabilidad temporal y espacial del MP	<ul style="list-style-type: none"> concentración de moda fina concentración de moda gruesa espesor óptico de aerosol 	<ul style="list-style-type: none"> ug/m³ ug/m³ adimensional
			Influencia de los vientos	Velocidad Dirección	m/s
Forzamiento radiativo	Es la diferencia entre la insolación (luz solar) absorbida por la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio (Aquí falta la cita)	Para determinar el forzamiento radiativo debido al material particulado se utilizan modelos radiativos donde depende de la cantidad de partículas que existe en la atmósfera	Relación de CMP (H/B)	Modelo Langrangiano $R = CH/CB$	W/m ²
			FR en H y B	Ecuación FR	

ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	TIPO DE INVESTIGACIÓN
<p>Problema general: ¿Cuál es la relación del forzamiento radiativo de la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña-2020?</p> <p>problemas específicos: ¿Cuál es la variabilidad temporal y espacial de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020?, ¿Cuál es el de los vientos en el transporte de material particulado desde la Amazonia Brasileña hacia Huancayo?; ¿Cuál es la relación de concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña?, ¿Cuál es el forzamiento radiativo en Huancayo y la amazonia de Brasil?</p>	<p>objetivo general: Determinar la relación entre el forzamiento radiativo de la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña-2020.</p> <p>objetivos específicos: Determinar la variabilidad temporal de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020, Determinar el comportamiento de los vientos en el transporte de material particulado desde la Amazonia Brasileña hacia Huancayo; Determinar la relación de concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña. Determinar el forzamiento radiativo en Huancayo y la amazonia de Brasil</p>	<p>La relación del forzamiento radiativo directo del material particulado sobre Huancayo y Amazonia de Brasil durante el periodo 2020 presenta valores negativos produciendo un enfriamiento sistema atmosférico</p> <p>hipótesis específicas: La variabilidad temporal de la concentración de material particulado de moda fina y gruesa durante el periodo 2020 presenta valores máximos en la estación seca. Los vientos influyen significativamente en el transporte de material particulado de la Amazonia Brasileira hacia la ciudad Huancayo;</p> <p>Existe una relación directa entre la concentración de material particulado entre la ciudad de Huancayo y la Amazonia Brasileña. El forzamiento radiativo en Huancayo y la amazonia de Brasil es menor a 0</p>	<p>material particulado</p> <p>forzamiento radiativo</p>	<p>Tipo: aplicada Nivel: explicativo Diseño: No experimental</p>