



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Estimación del espesor óptico de aerosol a partir de los datos de
radiación solar mediante el modelo IQC en Chupaca-2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Alvarez Gravel, Saida (ORCID: 0000-0003-0697-5274)

Huacho Chavez, Jony (ORCID: 0000-0001-8542-319X)

ASESOR:

Mg. Sc. Pillpa Aliaga, Freddy (ORCID: 0000-0002-8312-6973)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Este estudio de investigación en primera lo dedicamos a Dios, por ser la fuente de sabiduría y, en segundo lugar, a nuestros padres y familia que día a día nos apoyan incondicionalmente y orientándonos a proseguir a las adversidades para lograr el objetivo y desarrollo profesional.

Agradecimiento

A dios por otorgarnos la sabiduría y conocimientos.

A nuestros padres por brindarnos su amor, comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de los estudios

A Facultad de ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental – Universidad Alas Peruanas por la formación profesional.

A nuestro asesor y docentes que nos impartieron sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	6
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1 Tipo y diseño de investigación	21
3.1.1 Tipo de investigación:	21
3.1.2 Diseño de la investigación	21
3.2 Variables y operacionalización	22
3.2.2 Variable Dependiente:	22
3.2.3 Variable Independiente:.....	22
3.3 Población, muestra y muestreo	22
3.3.1. La población. -	22
3.3.2. El muestreo.....	22
3.3.3.- Muestra. -	22
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.5 Procedimientos	24
3.5.1 Ubicación.....	24
3.5.2 Procedimientos	25
3.5.3 Modelo IQC	27
3.6 Métodos de análisis de datos.....	32
3.7 Aspectos éticos	33
IV. RESULTADOS	34
4.1 Variables de entrada del modelo IQC	35
4.2 Radiación solar	40
4.3 Estado atmosférico.....	44
4.4 Espesor óptico de Aerosol (AOD)	46
V. DISCUSIÓN	50
VI. CONCLUSIONES.....	53
VII. RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS.....	55
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones del radiómetro	23
Tabla 2: Escala de Iqbal donde se define el tipo de día basado en Kt	26
Tabla 3: Promedio diario de la concentración de ozono (cm) del mes de junio del 2020 en Chupaca.	36
Tabla 4: Promedio diario del agua precipitable de los meses de junio y julio del 2020 en Chupaca.	39
Tabla 5: Días despejados del mes de junio y julio del 2020	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Espectro de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera.....	16
Figura 2: Balance radiativo en el planeta	17
Figura 3: Mapa de ubicación del distrito de Chupaca.....	25
Figura 4 Variación temporal de la concentración de Ozono (cm) del mes de junio – 2020 Chupaca.....	35
Figura 5: Variación temporal de la concentración de Ozono (cm) del mes de julio – 2020 en Chupaca.....	36
Figura 6: Promedio diario del agua precipitable (cm) del mes de junio del año 2020 en Chupaca.....	38
Figura 7: Promedio diario del agua precipitable (cm) del mes de julio del año 2020 en Chupaca.....	39
Figura 8: Radiación Global (Watt/m ²) para el mes de (A) Junio y (B) Julio del 2020 en Chupaca en función de horas y días de medición.....	41
Figura 9: Radiación Difusa en (Watts/m ²) para el mes de (A) Junio y (B) julio del 2020 en Chupaca en función de horas y días de medición.....	42
Figura 10: Radiación Directa del mes de (A) Junio y (B) Julio del 2020 en Chupaca en función de los días y horas de medición.....	43
Figura 11: Índice de claridad diaria de los 34 días seleccionados de los meses de (A) junio y (B) julio del año 2020 en Chupaca.....	45
Figura 12: Espesor Óptico de Aerosoles estimados con el modelo IQC	46
Figura 13: Resultados del AOD de Junio y Julio del 2020 con simulación de fotómetro Cimel.....	48

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo estimar el espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2020. La investigación presenta un enfoque cuantitativo y aplicado, ya que emplea conocimientos y teorías existentes para generar información. Para el desarrollo de la investigación se usaron datos de radiación solar, agua precipitable, concentración de ozono y variables geográficas del lugar. Los resultados obtenidos presentan valores con cambios significativos, producto de la inestabilidad atmosférica donde se obtuvieron valores máximos de 0.181, mínimo de 0.030 y un promedio de 0.094. Lo cual indica que el distrito de Chupaca tiene una atmósfera parcialmente contaminada por aerosoles, haciendo que la radiación incidente disminuya al atravesar la atmósfera siendo absorbida y dispersada por efecto de los aerosoles. Para la validación de los datos estimados se realizó utilizando el coeficiente de determinación con los datos registrados por el fotómetro Cimel durante el mismo periodo obteniendo un valor de $R^2=0.964$ por lo que se afirma que el modelo empleado es válido y aplicable a las condiciones de Chupaca para estimar el AOD.

Palabras clave: AOD, aerosoles atmosféricos, Chupaca, radiación solar.

ABSTRACT

The objective of this research is to estimate the aerosol optical thickness from solar radiation data using the IQC model in the Chupaca district during the year 2020. The research presents a quantitative and applied approach, since it uses existing knowledge and theories to generate information. For the development of the research, data on solar radiation, precipitable water, ozone concentration and geographical variables of the place were used. The results obtained present values with significant changes, product of climatic instability where maximum values of 0.181, minimum of 0.030 and an average of 0.094 were reached. Which indicates that the district of Chupaca has an atmosphere partially contaminated by aerosols, causing the radiation to decrease as it passes through the atmosphere being absorbed and dispersed by the effect of aerosols. For the validation of the estimated data, it was carried out using the coefficient of determination with the data recorded by the Cimel photometer during the same period, obtaining a value of $R^2=0.964$, for which it is affirmed that the model used is valid and applicable to the conditions of Chupaca to estimate AOD.

Keywords: AOD, atmospheric aerosol, solar radiation.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un tema de mayor preocupación a nivel mundial, por sus diversos efectos que causa sobre el clima, la salud humana y ambiente (De La Cruz Lezama, 2015b). Surge cuando existe un desequilibrio y esto se debe a la emisión de gases y partículas conocidos como aerosoles atmosféricos (Rojas Chávez, 2017), los cuales se definen como un conjunto de partículas sólidos y líquidos suspendidos en la atmósfera, su diámetro varía de 0.001 μm y 100 μm (Cholan & Rojas, 2015) tienen origen natural y antrópica (Angeles & Angeles, 2015).

En el mundo los aportes considerables de emisiones antrópicas inician a partir de la revolución industrial en 1760 que tuvo origen en Inglaterra en el siglo XVIII cuando se dio la mecanización de la producción textil, posterior a ello se da inicio a los procesos de electricidad, informática y digitalización (Ludeña Urquiza, 2008), en el Perú la primera revolución industrial se dio en 1835 posterior a esta era, y hasta la actualidad, se fueron acumulando en la atmósfera diferentes contaminantes (Nisperuza toledo, 2015) que afectan de manera directa la calidad del aire (Gómez Zamora & Cuesta Santos, 2011).

Las emisiones que producen los vehículos en circulación producen una serie de contaminantes entre las que destacan el monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM) o aerosoles atmosféricos, plomo y otras especies que contribuyen a la contaminación del ambiente reduciendo la visibilidad, además de presentar efectos negativos sobre la salud (Saavedra Vargas, 2014), este problema se agrava en las ciudades donde hay mayor densidad poblacional (Rojas Chávez, 2017). En el Perú el número de vehículos ha incrementado considerablemente en el año 1989 se tenía un total de 612 249 unidades de vehículos y para el año 2013 se incrementó exponencialmente a 3 279 552 vehículos (MTC, 2014), y esto va en relación con el crecimiento exponencial de la población; para el año 2017 se tenía un total de 31 237 285 habitantes (INEI, 2018) y en la actualidad ya llegamos a los 33 millones de habitantes aproximadamente (INEI, 2020). Según el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) en Junín el número de vehículos por cada mil habitantes en el año 2017 es de 52.88, considerando que el número de habitantes para ese año fue de 1 246 038, entonces para ese año se tuvo 65 891

vehículos. En Chupaca según la población de 52 988 habitantes se tiene 2 802 vehículos registrados sin considerar los vehículos informales y vehículos pequeños.

La quema de biomasa es otra de las fuentes más importantes de la contaminación del aire ya que provocan la emisión de gases como dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, óxido nítrico y aerosoles atmosféricos (Calderón Mateo, 2018). El ser humano desde épocas remotas ha tenido una estrecha relación con el fuego, debido principalmente a la agricultura, ellos empleaban el fuego para la limpieza de terrenos agrícolas (Suarez et al., 2015) y hasta la actualidad es practicada por los agricultores. En la región tropical del planeta la quema de biomasa es la fuente principal de contaminación (Victoria & Estevan, 2021), en la región amazonas son muy frecuentes los incendios producidos por la quema de vegetación generados por la agricultura y deforestación (Moya Álvarez, Arredondo, & Yuli Posadas, 2016), de igual manera esta contaminación alcanza miles de kilómetros, los cuales serían transportados por los vientos hasta el territorio Peruano, evidenciando el transporte transfronterizo de contaminantes atmosféricos desde Brasil hacia Perú y además sigue camino hasta la región Andina, esto se da debido a la dominancia de vientos con dirección oeste (Suarez et al., 2015).

Los aerosoles juegan un papel muy importante en el balance de radiación en la superficie terrestre, ya que generan impactos directos en la meteorología y el clima al dispersar y absorber la radiación solar (Nisperuza toledo, 2015), además, están relacionados con la formación de nubes y precipitaciones (Della Ceca, 2018). Por otro lado sus altas concentraciones son perjudiciales para la salud humana (OMS, 2005). Según la Organización mundial de la Salud (OMS) en el año 2012 hubo 3 millones de muertes prematuras, el 14% por neumonía , un 72% correspondió a muertes por accidente cardiovascular y cardiopatía isquémica, y el otro 14% murió por cáncer pulmonar debido a la exposición de partículas (Rojas Chávez, 2017).

En el distrito de Chupaca y sus alrededores las fuentes principales de contaminación atmosférica son la quema de biomasa producida por los agricultores para la limpieza y preparación de sus terrenos agrícolas teniendo en cuenta que Chupaca es una zona agrícola, además, otras fuentes importantes de contaminación son el parque automotor, las pollerías, construcciones, carreteras no pavimentadas y pequeñas industrias como las ladrilleras, a esto se agregan los

contaminantes provenientes al ser transportadas por las masas de aire de otras regiones (Sumalave, 2015).

El efecto en la salud pública y ambiente dependen de diversas características de los aerosoles, tales como su estructura, composición química y tamaño. En estos parámetros cambian constantemente por lo que es necesario realizar un monitoreo continuo (Zini, 2012). A medida que exista el interés por analizar el efecto de los aerosoles atmosféricos, crece igualmente la necesidad de adquirir fuentes de datos confiables y específicos, hoy en día en el Perú solo existe un equipo para realizar estas mediciones en el Observatorio de Huancayo, por lo que la disposición de datos en otras regiones es limitado, en este contexto se propone aplicar y validar el modelo IQC para estimar el espesor óptico de aerosol (AOD), siendo esta una alternativa accesible teniendo en cuenta el aspecto económico, ya que cumpliría la misma función que los equipos altamente sofisticados; y de esta manera si el modelo resulta valido, replicar este tipo de investigaciones en todo el territorio Peruano; y así nos permita evaluar la presencia de aerosoles atmosféricos a diversas escalas para detectar sus fuentes y aportar información para la toma de establecimiento de políticas y decisiones en su mitigación (Della Ceca, 2018).

Se tiene el problema general a resolver en la investigación ¿Es posible estimar el espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2020?, el modelo IQC para ser resuelto requiere un conjunto de variables de entrada tanto datos de las variables meteorológicas como datos de radiación solar por lo que se plantea los siguientes problemas específicos ¿Cómo influyen las variables meteorológicas en la estimación del espesor óptico de aerosol mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2020?, ¿Cuál será la variación temporal de la radiación solar recolectada por el radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao - Chupaca durante el año 2020?, y por último ¿Cuál será el estado de la atmósfera según el índice de claridad en el distrito de Chupaca durante el año 2020?. Así mismo se plantea el objetivo general del estudio Estimar el espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2020. Y como objetivos específicos, Determinar la influencia de las variables meteorológicas en la estimación del espesor óptico de

aerosol mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2020, Determinar la variación temporal de la radiación solar recolectada por el radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao - Chupaca durante el año 2020 y por ultimo Caracterizar el estado de la atmósfera según el índice de claridad en el distrito de Chupaca durante el año 2020.

La justificación teórica de la investigación radica en que brindará información y conocimiento actualizado y poco existente en la región, siendo útil en futuros estudios para un entendimiento más completo de los efectos de los aerosoles atmosféricos sobre el ambiente y la salud. Desde el punto de vista metodológico el estudio propone aplicar el modelo matemático IQC para estimar y obtener datos del espesor óptico de aerosol sin la necesidad de equipos sofisticados, y así permitir la accesibilidad de estos datos en todas las regiones del País; por lo que se requiere más investigaciones que contemplen estos temas de vital importancia. Desde el aspecto ambiental los aerosoles atmosféricos en la actualidad se considera como uno de los puntos de incertidumbre respecto a la predicción del clima como consecuencia de la escases de estudios que especifiquen y predigan sus efectos(Silveira et al., 2021), por lo que se requiere de nuevas investigaciones que realicen el seguimiento de los acontecimientos que alteran sus concentraciones e identificar sus fuentes de origen; esta información será de mucha utilidad para ser aplicada en la planificación de la gestión de la calidad del aire, que además incluya una red de monitoreo de la contaminación, el mismo que será indispensable para la toma de decisiones y estudios de adaptación al cambio climático.

La hipótesis general planteada en el estudio Es posible estimar el espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2020. Y como hipótesis específicas se tiene Las variables meteorológicas influyen significativamente en la estimación del espesor óptico de aerosol mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2020, La radiación solar recolectada por el radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao - Chupaca durante el año 2020 presenta valores máximos de 1350 Watts/m² en los meses de junio y julio; y El estado de la atmósfera según el índice de claridad en el distrito de Chupaca durante el año 2020 presenta días nublados, parcialmente nublados y despejados con valores de [0.3 a 0.6].

II. MARCO TEÓRICO

Angeles Suazo & Angeles Vasquez (2015), en su investigación "*Variación del espesor óptico de aerosol en la estación Antártica peruana Machu Picchu*", tuvo por objetivo cuantificar el espesor óptico de aerosoles (AOD) como un indicador de la contaminación de la atmósfera y su variación en los diferentes años de registro. Los datos se recolectaron en la XVII y XVIII campaña de mediciones y monitoreos de la Expedición Antártica Peruana desarrollados en enero de 2007 y febrero de 2013 respectivamente, en la Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP) ubicado en las coordenadas 62°05'30" S, 58°28'16" W y 6 msnm. Para el registro de datos se utilizó un fotómetro solar SP02-L, el cual registra espectros de irradiancia directa, en los canales de 412 nm, 500 nm, 675 nm y 862 nm. Los resultados del estudio demuestran que el promedio del Espesor Óptico de Aerosoles en latitudes polares es $0,0551 \pm 0,0139$, siendo la cifra más baja del mundo en el canal de 500 nm durante el año 2007 y 2013, con variaciones entre 0,0336 y 0,0743, resaltando que estos valores pertenecen a una atmósfera limpia, pero con contenido de pequeñas partículas de origen marino.

Flores et al., (2016) en su investigación titulada: "*Estimación de la turbidez atmosférica y los parámetros de radiación superficial usando modelos de banda ancha para cielo despejado en Río de Janeiro-Brasil*" estimaron un conjunto de valores óptimos estacionales, diarios y por hora de la turbidez atmosférica y parámetros de radiación superficial en el Área Metropolitana de Río de Janeiro (MARJ) Brasil. Se aplicaron dos modelos de banda ancha para cielo despejado el modelo CPC2 e Iqbal C estos modelos se basan en información sinóptica es decir en datos de las condiciones atmosféricas del lugar de estudio, dichos datos tales como el agua precipitable (uw) y la concentración de ozono (uo) requeridas por los modelos solares se obtuvieron a partir del sensor MODIS (Espectro radiómetro de imagen de resolución moderada) de las plataformas Terra y Aqua - NASA. Para la implementación y validación de los modelos, se empleó datos de radiación 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 radiación solar se validó con varios indicadores estadísticos cuantitativos y un subconjunto de datos medidos de radiación solar. 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 de la plataforma AERONET durante 11 días, que muestran un nivel aceptable. Los resultados para el coeficiente de turbidez Angstrom β con un valor de 0.049 y el exponente de longitud de onda de Angstrom con un valor de 1.3 lo cual permitió caracterizar la atmosfera de MARJ como una atmosfera limpia a condiciones de cielo despejado además estos resultados muestran un patrón estacional.

(Fonte & Antuña, 2011), en su investigación *“Caracterización del espesor óptico de aerosol de banda ancha de los aerosoles troposféricos en Camagüey, Cuba”*, realizaron una serie de observaciones por hora de la radiación solar a cielo despejado en la estación meteorológica de Camagüey durante los años 1985 al 2007 y a partir de ellas se obtuvo un conjunto de estimaciones del espesor óptico de aerosol. Para dicha investigación se emplea el modelo basado en la ley de Bouguer – Lambert – Beer desarrollada por Gueymard en el año 1995-1998, este modelo requiere como entrada principal datos de radiación solar. Posteriormente se analizó el comportamiento horario y mensual del espesor óptico de aerosol, del mismo modelo su tendencia durante el periodo de estudio. Los resultados obtenidos se asemejan a las mediciones reportadas en Barbados para los años 1996 – 1999 para lo cual emplearon la fotometría solar. Además, se evidenció la influencia de las nubes de polvo de desierto del Sahara que hace que los valores incrementen y estas se dan principalmente en verano. Se mostró una tendencia de -1.46×10^{-3} año⁻¹ significativo, estadísticamente a un nivel del 95% lo que coincide con reportes de otras regiones del mundo como el Medio Oriente, Norte de África y Asia Central.

(Alam, Sahar, & Iqbal, 2014), *“Características de los aerosoles y forzamiento radiativo durante las temporadas anterior y posterior al monzón en un entorno urbano”* El presente estudio informa sobre las características de los aerosoles y las propiedades radiativas utilizando datos de la red robótica de aerosoles (AERONET) para las temporadas anterior al monzón (marzo, abril, mayo) y posterior al monzón (septiembre, octubre, noviembre) en Lahore, Pakistán, durante los años 2009-2010.

Se compararon los datos del espesor óptico de aerosol (AOD) de AERONET y un espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) para validar ambos sistemas. El coeficiente de correlación para la temporada posterior al monzón fue $> 0,68$ en comparación con $> 0,66$ para la temporada anterior al monzón. En la temporada anterior al monzón, los valores de AOD de AERONET y MODIS AOD estaban en el rango de 0,2 a 1,2 y de 0,2 a 1,67, respectivamente. Para la temporada posterior al monzón, estos valores estuvieron en el rango de 0,17 a 2,46 y de 0,15 a 2,45 para AERONET y MODIS, respectivamente. Una fuerte carga de polvo dio como resultado valores más altos para las partículas gruesas durante el período anterior al monzón, seguido de un aumento en la absorción de aerosoles antropogénicos con el cambio de la temporada anterior al monzón a la posterior al monzón. El forzamiento radiativo de aerosol (ARF) promedio para el período anterior al monzón en la parte superior de la atmósfera fue de $-19 \pm 6 \text{ W / m}^2$, mientras que en la superficie fue de $-93 \pm 22 \text{ W / m}^2$, lo que provocó un forzamiento atmosférico de $+74 \pm 16 \text{ W / m}^2$. Del mismo modo, el ARF promedio para el período posterior al monzón en la parte superior de la atmósfera fue de $-28 \pm 8 \text{ W / m}^2$, mientras que en la superficie fue de $-98 \pm 24 \text{ W / m}^2$, lo que generó un forzamiento atmosférico de $+70 \pm 15 \text{ W / m}^2$, lo que indica un calentamiento significativo de la atmósfera.

(Alam, Jawed, Blaschke, Qureshi, & Khan, 2010) en su investigación "*Monitoreo de variaciones espacio-temporales en aerosoles e interacciones aerosol-nube en Pakistán utilizando datos MODIS*" mencionan que las nubes son elementos importantes en los procesos climáticos y las interacciones entre aerosoles y nubes son, por tanto, un tema candente para la investigación científica. Los aerosoles muestran variaciones tanto espaciales como temporales, que pueden conducir a variaciones en la microfísica de las nubes. En esta investigación, se ha examinado las variaciones espaciales y temporales de las partículas de aerosol sobre Pakistán y el impacto de estas variaciones en varias propiedades ópticas de las nubes, utilizando datos del Espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) del satélite Terra. Se aplicó el modelo HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trayectoria) para el análisis de trayectorias para revelar los orígenes de las masas de aire, con el objetivo de comprender estas variabilidades

espaciales y temporales en las concentraciones de aerosoles. También se documentó las variaciones estacionales en los patrones de espesor óptico de los aerosoles (AOD) sobre Pakistán, cuyos valores más altos se producen durante la temporada de monzones (junio-agosto). Luego se analizó las relaciones entre AOD y otros cuatro parámetros de nubes como vapor de agua (WV), fracción de nubes (CF), temperatura de la cima de la nube (CTT) y presión de la cima de la nube (CTP). Se produjeron mapas de correlación regional y gráficos de series de tiempo para aerosoles (AOD) y parámetros de nubes para proporcionar una mejor comprensión de la interacción aerosol-nube. Los análisis mostraron fuertes correlaciones positivas entre AOD y WV para las ocho ciudades investigadas. La correlación entre AOD y CF fue positiva para aquellas ciudades donde las masas de aire eran predominantemente húmedas, pero negativa para aquellas ciudades donde las masas de aire eran relativamente secas y tenían una baja abundancia de aerosoles. Estas correlaciones dependían claramente de las condiciones meteorológicas de las ocho ciudades investigadas. Debido a la relación AOD y CF observada, la covariación de AOD con CTP y CTT puede atribuirse a variaciones meteorológicas a gran escala: AOD mostró una correlación positiva con CTP y CTT en las regiones del norte de Pakistán y una correlación negativa en las regiones del sur.

Qin et al., (2018) en su investigación *“Mejora de la estimación de la profundidad óptica diaria del aerosol y el efecto radiativo del aerosol mediante una red neuronal artificial optimizada”*, Los aerosoles pueden absorber y dispersar la radiación solar superficial (SSR), lo que se denomina efecto de forzamiento radiativo del aerosol (ARF). Se han realizado grandes esfuerzos para la estimación de la profundidad óptica del aerosol (AOD), SSR y ARF utilizando mediciones meteorológicas y observaciones satelitales. Sin embargo, la precisión y las resoluciones espaciales y temporales de estos modelos AOD, SSR y ARF existentes deben mejorarse para cumplir con los requisitos de la aplicación, debido a las incertidumbres y las brechas de los parámetros de entrada. En este estudio, se desarrolló una red neuronal artificial de retro propagación (BP) optimizada (Genetic_BP) para mejorar la estimación de los valores de AOD. Los valores AOD recuperados utilizando el modelo Genetic_BP y las mediciones meteorológicas en las estaciones de la

Administración Meteorológica de China (CMA) se utilizaron para calcular la SSR y el ARF (ARFB) del fondo de la atmósfera (BOA) utilizando el modelo híbrido de Yang (YHM). El resultado muestra que Genetic_BP podría usarse para estimar los valores de AOD con alta precisión ($R = 0.866$ para estaciones CASNET (China Aerosol Remote Sensing Network) y $R = 0.865$ para estaciones AERONET (Aerosol Robotic Network)). La SSR estimada también mostró una buena concordancia con las mediciones de SSR en 96 estaciones de radiación CMA, con RMSE, MAE, R y R^2 de 29,27%, 23,77%, 0,948 y 0,899, respectivamente. Los valores estimados de ARFB también están altamente correlacionados con los de AERONET ARFB con RMSE, MAE, R y R^2 de -35.47, -25.33%, 0,843 y 0,711, respectivamente. Finalmente, se investigaron las variaciones espaciales y temporales de los valores de AOD, SSR y ARFB en China continental. Los valores de AOD y SSR son generalmente más altos en verano que en otras temporadas. Los ARFB son generalmente más fuertes en primavera y verano que en otras estaciones. Los rangos para los valores medios mensuales de AOD, SSR y ARFB en China continental son 0.183 - 0.333, 10.218–24.196 MJm2día y -2.986 a -1.244 MJm2day, respectivamente. La meseta Qinghai-tibetana siempre ha sido un área con el SSR más alto, el AOD más bajo y el ARFB más débil. En contraste, la Cuenca de Sichuan siempre ha sido un área con SSR bajo, AOD alto y ARFB fuerte. El modelo AOD recientemente propuesto puede ser de vital importancia para mejorar la precisión y la eficiencia computacional de las estimaciones de AOD, SSR y ARFB para aplicaciones de energía solar, modelado ecológico y política energética.

Hujia Zhao et al., (2020) en su investigación titulada "*Climatología y tendencias del espesor óptico de aerosol a diferentes tamaños y formas de partículas en el Noreste de China de 2001 a 2008*" mencionan que el desarrollo económico y la urbanización influyen significativamente en la generación de aerosoles y además influyen en sus propiedades ópticas afectando la calidad del aire regional. El AOD se obtuvo del Multiangle Imaging Espectrorradiómetro (MISR) se empleó la versión 23 para estimar su distribución y contribución durante los años 2001 al 2018. La mayor concentración se encontró en la región urbana de Liaoning con un valor de 0.3 y el valor más bajo ocurrió en la zona montañosa. La mayor contribución de AOD fue mayor en primavera oscilando entre 28.8 % y 29.8%. En primavera y verano

presentaron valores aproximadamente de 0.2 – 0.3 y o. 06 – 0.08 respectivamente. Las proporciones de AOD pequeñas y esféricas fueron aproximadamente del 60% y 90%, respectivamente. La ocurrencia anual de condiciones limpias con AOD < 0.05 fue más común en el norte de Heilongjiang (aproximadamente el 20%). Las frecuencias anuales de ocurrencia de $0.05 < \text{AOD} < 0.15$ y $\text{AOD} > 0.6$ fueron las más altas (aproximadamente el 50%) y el más bajo (menos del 1%), respectivamente. Los resultados proporcionan una comprensión integral de la extinción de aerosoles regional y climatológica.

Gueymard & Yang (2019) *Validación mundial de productos de profundidad óptica en aerosol de re análisis CAMS y MERRA-2 utilizando 15 años de observaciones de AERONET*, esta investigación compara estimaciones de 3 horas de profundidad óptica de aerosol a 550 nm (AOD550) y exponente de Angstrom (AE) de dos modelos de re análisis similares, CAMS de ECMWF y MERRA-2 de la NASA, para hacer referencia a observaciones de teledetección de la red mundial AERONET durante el período. 003 - 2017. Todos los puntos de datos se someten primero a un análisis de evaluación de calidad exhaustivo. Todas las estimaciones válidas de re análisis de AOD550 también se corrigen para tener en cuenta la diferencia de elevación entre el tamaño de celda de la cuadrícula nominal ($0.5 \times 0.625^\circ$) y la estación de tierra AERONET de referencia. Los resultados comparativos se obtienen tanto a nivel continental como en desagregación climática utilizando la clasificación de Koppen-Geiger (KG). Sobre la base de 793 estaciones AERONET y $\approx 1,8$ millones de puntos de datos válidos de 3 h, se encuentra que CAMS y MERRA-2 se comportan de manera relativamente similar, aunque con algunas diferencias regionales, según el continente o la clase de KG. El error cuadrático medio de la raíz del AOD550 (RMSE) varía en el rango 0.031–0.268 para CAMS y 0.017–0.232 para MERRA-2, dependiendo del continente. A nivel mundial, MERRA 2 se desempeña mejor que CAMS, logrando un RMSE de 0.126, en comparación con 0.144 para CAMS. Por el contrario, los dos re análisis tienen RMSE generales muy similares para AE, es decir, 0,382 para CAMS y 0,378 para MERRA-2. Para estudios locales o regionales, estos resultados permiten a los usuarios seleccionar la mejor fuente de datos posible. Para estudios globales, ambos productos en aerosol se consideran apropiados, aunque con diferentes propiedades estadísticas.

(Cholan, Rojas, Willems, & Ocola, 2016), desarrollaron la investigación titulada *“Estimación del espesor óptico de los aerosoles a partir de imágenes del sensor MODIS sobre el Perú (2004-2005)”*, estimaron el AOD en la longitud de onda de 0.55 μm a partir de imágenes MODIS mod021km – nivel 1b en el territorio peruano mediante el modelo SBDART. El modelo SBDART simula el proceso de transferencia radiativa en la atmosfera de esta manera estima la radiación en el tope de la atmosfera y en la superficie terrestre. La validación de los datos se realiza con la comparación de datos estimados por el modelo SBDART con datos medidos in situ por la red AERONET en el lugar de estudio para los años 2004 y 2005. Los resultados presentan máximos valores de espesor óptico de aerosol en los meses de agosto y septiembre estos valores oscilan entre en rango de 0.78 a 0.8 coincidiendo esto con el inicio de incendios forestales en la región selva, 0.5 a 0.97 para la costa los altos valores de precipitación ocurrieron cuando los valores de AOD presentaron valores más bajos, estadísticamente los datos de AOD estimados y los datos medidos in situ muestran una correlación significativa de 0.99, concluyendo que el modelo es apropiado para estimar el espesor óptico de aerosol.

(Angeles Suazo et al., 2020) desarrollaron la investigación titulada *“Estimación de la Turbidez Atmosférica Usando el Modelo IQC en el Área Metropolitana de Huancayo – Perú”* tuvieron por objetivo estimar un conjunto de valores óptimos diarios y parámetros superficiales de radiación solar tales como: el coeficiente de turbidez de Angstrom(β), exponente de longitud de onda de Angstrom (α), la dispersión ascendente(FC), el albedo de dispersión simple (ω_0) y horarios de la turbidez atmosférica; en la provincia de Huancayo para los meses de junio y julio del 2019, a través de datos de radiación solar incidente (global, directa y difusa), además se empleó el análisis estadístico índice de claridad (Kt), a través del cual se seleccionó los días de cielo despejado estudiados. Para simular dichos componentes de radiación solar tanto difusa, directa, y global, se utilizó el modelo numérico de parametrización de banda ancha para cielo despejado; IQC propuesto por Iqbal, el cual se basa en información sinóptica. Las variables meteorológicas requeridas como entrada para el modelo se obtuvieron de la Plataforma Aura-OMI (Instrumento de monitoreo de Ozono) y de la Red Aeronet (Aerosol Robotic

Network). Los resultados muestran un valor promedio de 0.16 para el coeficiente de turbidez de Angstrom (β) y 1.30 para el exponente de longitud de onda de Angstrom (α). Por lo tanto, es posible caracterizar el ambiente de la Provincia de Huancayo como una atmósfera parcialmente contaminada en condiciones de cielo despejado.

Como teorías relacionadas al estudio, la atmósfera es una capa gaseosa que cubre nuestro planeta, compuesta por una mezcla de gases predominante por el nitrógeno en un 78%, oxígeno con un 21% y el 1% por otros gases, en conjunto hacen posible la existencia de vida (Zhang, Fan, Ma, Gong, & Shi, 2021). Esta pequeña capa atmosférica nos protege de la radiación electromagnética del sol, del vacío del espacio, cambio de temperatura entre el día y la noche, etc. Si esta capa no existiese, la superficie terrestre registraría temperaturas muy elevadas durante el día llegando a los 80°C y por la noche todo lo contrario llegando a registrar hasta -140°C (Domínguez, 2004).

La clasificación comprende cuatro capas verticales según la gradiente de temperatura vertical. La troposfera es la primera capa que tiene límites entre los 7 y 18 km dependiente de la latitud y la estación del año, la temperatura disminuye conforme aumenta la altitud. Dentro de esta capa suceden los fenómenos climatológicos que dan lugar a la diversidad de vida en las diferentes regiones de la superficie. La segunda capa es la estratosfera que alcanza sus límites cerca a los 50 km, la temperatura de esta capa aumenta a mayor altitud, debido a la absorción de la radiación solar de onda corta por el ozono. La mesosfera es la tercera capa que llega hasta los 80 km de altitud, esta capa es la causante del color azul presente en la atmósfera, la cuarta capa es la termosfera que se extiende a partir de los 80 km en adelante (Camilloni & Vera, 2006)

La contaminación atmosférica se define como la introducción de elementos físicos, químicos y biológicos dentro de la atmósfera en concentraciones altas, generando así riesgos y/o daños a la salud de las personas, animales, plantas y bienes físicos (De La Cruz Lezama, 2015a). Los principales contaminantes atmosféricos son los aerosoles atmosféricos definidos como un conjunto de materiales sólidos y líquidos (excepto agua pura) suspendidas en la atmósfera por periodos largos de tiempo, también se les denomina como material particulado (PM), su diámetro varía de

0.001 μm y 100 μm . (Cholan et al., 2016), tienen una velocidad de caída insignificante por lo que estas partículas pueden permanecer por horas, días, semanas o meses (Vargas Gargate, 2009). Su proveniencia es de diferentes fuentes, como pueden ser de origen antrópico, emitidas por las industrias, de combustión de vehículos, incendios forestales o quema de vegetación. 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 et al., 2016). La producción de grandes cantidades de partículas se asocia a diferentes procesos en su mayoría antrópicos como producción, industrial y agroindustrial (Céspedes, Cuero, & 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).

Una vez en el aire estas partículas desarrollan su tamaño y composición a través de la interacción con vapor de agua y otras sustancias (Silveira et al., 2021), también por procesos como: coagulación con otras partículas, por reacción química, o por activación en la presencia de vapor de agua sobresaturado hasta formarse nubes o gotitas de niebla (Carrillo & Marin, 2007), las partículas suspendidas tienen variaciones temporales y espaciales diferentes por la interacción de los vientos y otros factores (Cristobal, 2014).

Una de las propiedad ópticas de los aerosoles es el espesor óptico de aerosol el cual es una magnitud adimensional definida por la integral del coeficiente de extinción debido a aerosoles en una columna específica de la atmósfera de sección transversal unitaria, es decir mide la dispersión y absorción de luz visible por las partículas que se encuentran en un área vertical de la atmosfera, el cual indica la cantidad de aerosoles presentes en la atmosfera (Carrillo & Marin, 2007). El AOD constituye el parámetro fundamental y primario en el estudio de las propiedades de los aerosoles. El AOD es una magnitud adimensional que indica el poder que poseen las partículas de aerosoles para atenuar la radiación a una cierta longitud

de onda, por lo que depende de la distribución de tamaño de las partículas (Otero, Ristori, Holben, & Quel, 2006).

Los efectos de aerosoles en el clima se clasifican en: directos al absorber y dispersar la radiación solar, e indirecta al funcionar como núcleos de condensación de nubes (CCN por sus siglas al Inglés), interfiriendo en el ciclo hidrológico y el cambio en la reflectividad de las nubes (Deng, Brooks, Vidaurre, & Thornton, 2014), es considerado como uno de los factores que impulsan el cambio climático global y el forzamiento radiativo. Estas partículas pueden tener diferentes tamaños, propiedades físicas y químicas, y se generan a partir de diferentes fuentes (Qin, Wang, Lin, Zhang, & Bilal, 2018).

La radiación solar es la fuente principal que tiene nuestro planeta, siendo indispensable para la existencia de vida en el planeta, esta energía viaja en el espacio en formas de ondas transportando energía desde el sol (Salmon et al., 2021). Las ondas se clasifican según la cantidad de energía que transporta a lo largo del espectro electromagnético, como por ejemplo rayos x, rayos gamma y ultravioleta son ondas con mayor energía y las de menor energía son las infrarrojas, microondas, y las ondas de radio (Bautista Carrascosa, 2016).

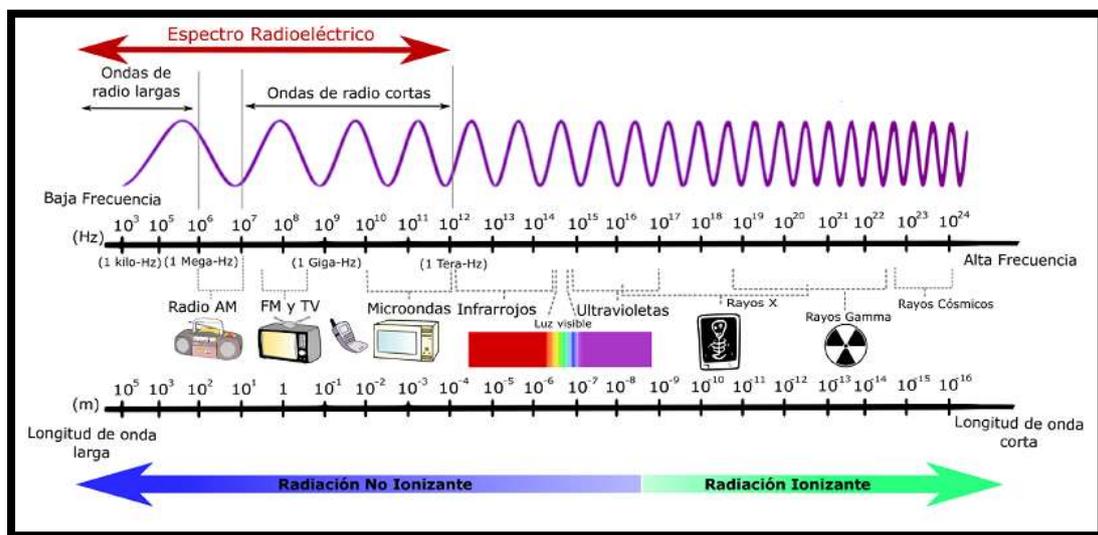


Figura 1: Espectro de la radiación solar en la parte superior de la atmósfera

Fuente: Flores et al., 2019

En la atmósfera del planeta se producen una serie de procesos en los que se absorbe, emite y refleja energía (ver figura 02), de manera que el balance final entre

la radiación que llega al tope de la atmósfera procedente del Sol y la que sale al espacio exterior, es cero (Jin et al., 2021). Por lo que la temperatura promedio anual permanece constante. Al ingresar la radiación solar en la atmósfera del planeta esta es absorbida por la superficie del planeta, pero también esta energía es absorbida por las nubes, aunque en una pequeña parte. El resto de la radiación es reflejada por la superficie, los gases, las nubes y es devuelta al espacio exterior (Sepúlveda, 2014).

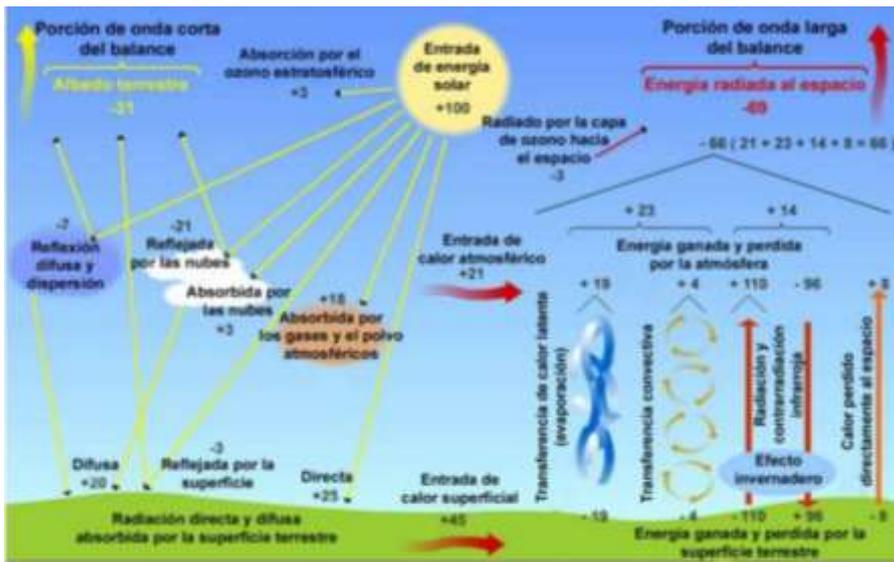


Figura 2: Balance radiativo en el planeta

Fuente: Calderón Mateo, 2018

La cantidad de radiación que es reflejada por un cuerpo respecto a la radiación incidente, se le conoce como 'albedo'. Por tanto, podemos decir que el sistema tierra-atmósfera tiene un albedo promedio del 30%. La nieve recién caída o algunos cumulonimbos de gran desarrollo vertical, presentan un albedo cercano al 90%, mientras que los desiertos tienen cerca del 25% y los océanos, alrededor de un 10% (absorben casi toda la radiación que les llega) (Zeng, Zhao, & Ma, 2018).

Para un mayor entendimiento de estos efectos es necesario realizar un estudio minucioso de los factores que intervienen y cuál es su relación, por lo tanto, en la investigación se propone emplear un modelo matemático que nos permita estimar el espesor óptico de aerosol, pero antes es necesario saber que es un modelo, un modelo utiliza fórmulas matemáticas con la finalidad de representar la relación entre

distintos parámetros y variables (Torres Curth, 2015). Los modelos atmosféricos son herramientas físico matemáticas que nos va a permitir predecir y simular el transporte y dispersión de los contaminante del mismo modo nos va a permitir calcular ciertos parámetros que son necesarios e importantes para interpretar y analizar el estado atmosférico (Villar Lagos, 2017).

Gueymard (1993) muestra que los modelo IQC (Iqbal C) y CPC2 (Code for Physical Computation of Radiation, 2 bands) entre otros modelos contrastan mejor en función a los datos experimentales, teniendo un error cuadrático medio (RMSE) por debajo del 6% para la radiación global y 9% para la radiación directa (Flores et al., 2016).

En la presente investigación se aplicará el modelo IQC debido a su precisión comprobada y a la cantidad de parámetro de entrada, el modelo IQC consiste en comparar elementos individuales de la transmitancia y radiación, considerando las transmisiones debidas a la absorción por gases mixtos, ozono, vapor de agua, atenuación por aerosoles, dispersión de Rayleigh y el factor de corrección de excentricidad de la tierra (Ángeles et al., 2020).

Spencer (1971) desarrollo la siguiente ecuación para poder determinar el error de excentricidad para cualquier día dela año, esta muestra un error máximo de 0.0001.

$$E_0 = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1.000110 + 0.034221 \cos(\Gamma) + 0.034221 \cos(\Gamma) + 0.001280 \sin(\Gamma) + 0.000719 \cos(2\Gamma) + 0.000077 \sin(2\Gamma)$$

Dónde: Γ es el ángulo del día y esta medido en radianes, se representa mediante la siguiente ecuación:

$$\Gamma = 2\pi\left(\frac{d_n - 1}{365}\right)$$

Otro parámetro importante a considerar es la declinación solar el cual es el ángulo entre la línea que une los centros del sol y de la tierra en relación al plano ecuatorial y esta cambia en función a los días. En los equinoccios de verano y otoño tiene un valor de 0 mientras que en el solsticio de verán presenta un valor de $-23 \frac{1}{2}$ y en el

solsticio de invierno un valor de $+23 \frac{1}{2}$. En 24 horas el cambio en la declinación solar es menor que $1/2$, por lo tanto, si la declinación solar se supone constante durante las 24 horas puede llegar a tener un error de $\frac{1}{2}$ al momento de calcular el azimut solar y los ángulos cenitales. Por lo que Spencer (1971) propuso la siguiente ecuación:

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(\Gamma) - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma)) \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

Esta ecuación estima la declinación solar con un error de 0.0006 rad.

Para calcular la radiación solar en una determinada posición geográfica es necesario conocer las relaciones trigonométricas entre la posición del sol en el cielo y las coordenadas en la superficie terrestre. El ángulo cenital es el ángulo formado entre el zenit local y la línea que une al observador con el sol, y su valor varía entre 0° y 90° .

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(w_s) = \sin(\alpha_s)$$

Donde:

- θ_z : Ángulo zenit
- α_s : Altitud solar o elevación solar
- w_s : Ángulo horario
- Φ : Latitud geográfica
- δ : Declinación solar

Para la investigación estos parámetros fueron calculados en función al lugar y periodo de estudio.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación:

La investigación presenta un enfoque cuantitativo y de acuerdo al tipo de estudio reúne las características de una investigación aplicada, ya que emplea conocimientos y teorías existentes para generar información y buscar solución a un problema en un contexto definido (Tam Malaga, et al, 2008), en la investigación se busca validar el modelo IQC para estimar el espesor óptico de aerosol en el distrito de Chupaca a partir de conocimientos en ciencias físicas y meteorológicas, mediante una revisión minuciosa de las variables (Miler Daen, 2011). Luego de la obtención de datos y resultados, se le aplican distintos tratamientos estadísticos para determinar las diferencias significativas entre las variables medidas, además incluye la utilización de programas o software estadísticos (Corona Lisboa, 2016). Los resultados se expresan en unidades contables (Suarez Montes, et al, 2016), la investigación validará el modelo IQC a través de la correlación de los datos registrados por el fotómetro solar con los datos estimados mediante el modelo IQC.

3.1.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental transversal descriptivo correlacional; según Sousa, et al., (2007) en una investigación no experimental transversal se describe, diferencia y examina la asociación entre variables en un tiempo determinado; es decir para la estimación del espesor óptico de aerosol son necesarios los datos de radiación solar registrados en los meses de junio y julio del año 2020 en el distrito de Chupaca, además este modelo se basa en la observación y no existe manipulación de variables. Es descriptiva porque se realiza la descripción, registro, análisis e interpretación de la radiación solar y el espesor óptico de aerosol, donde se observa y se analiza las características, propiedades y su variabilidad en función al tiempo, así mismo trabaja sobre la realidad de los hechos y su correcta interpretación, es correlacional porque mide el grado de relación entre el

AOD medido con el fotómetro y el AOD estimado con el modelo IQC, es decir las variables son identificadas en un punto en el tiempo, para luego determinar su grado de correlación (Corona Lisboa, 2016).

3.2 Variables y operacionalización

3.2.2 Variable Dependiente: Espesor Óptico de Aerosol (AOD), se define como una magnitud adimensional que indica el poder que tienen las partículas de aerosoles para atenuar la radiación solar (Otero et al., 2006). En la investigación tiene como dimensiones el AOD medido con el fotómetro solar CIMEL y el AOD estimado con el modelo IQC, y se determinará cual su nivel de correlación.

3.2.3 Variable Independiente: Radiación solar, es una fuente principal de energía en nuestro planeta y es indispensable para la vida, esta recorre el espacio en formas de onda transportando energía desde el sol (Bautista Carrascosa, 2016), para la investigación tiene como dimensiones las variables meteorológicas y el estado atmosférico, ya que de estas depende la cantidad de radiación que llega al distrito de Chupaca.

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1. La población. - Corresponde al conjunto de datos de radiación solar obtenidos durante los meses de junio y julio del año 2020, a través del radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao.

3.3.2. El muestreo. - Es no probabilístico por criterio o juicio, debido a que la selección de los datos se realizó según el propósito de la presente investigación (Gonzalo Tamayo, 2015). La muestra se obtuvo mediante el análisis estadístico índice de claridad a través de la cual se determinó los días a cielo despejado a trabajar.

3.3.3.- Muestra. - La muestra corresponde al conjunto de datos de radiación solar de los 34 días de cielo despejado.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica se basa en la observación científica, ya que capta información significativa de forma sistemática en el área de estudio para luego ser analizadas.

Para el desarrollo de la investigación se realizó mediciones por minuto de la radiación solar durante los meses de junio y julio del año 2020 con estos datos se determinó el índice de claridad (Kt) atmosférica y se analizó la variabilidad temporal de la radiación solar. Los datos fueron registrados por el radiómetro perteneciente al Observatorio de Huayao. El radiómetro mide la radiación global y difusa, es un sensor de radiación solar polivalente que utiliza una serie de fotodiodos con un patrón de sombreado único generado por computadora para medir la radiación solar incidente. Un microprocesador calcula los componentes globales y difusos de la radiación y determina el estado del sol. Las especificaciones se muestran en la tabla

Tabla 1: Especificaciones del radiómetro

Especificaciones	Ajuste de salida / energía
Unidades	W/m ²
Radiación global: precisión general	± 5 W/m ² / ± 12%
Radiación difusa: precisión general	± 20 W/m ² / ± 15%
Resolución	0.3 W/m ²
Rango	0 – 1250 W/m ²
Sensibilidad de salida analógica	1mV = 0.5 W/m ²
Rango de salida analógica	0 – 2500 Mv
Salida a escala completa	2500 mV = 1250 W/ m ²

El Instrumento de Monitoreo del Ozono (OMI) se encuentra a bordo de la Nave espacial Aura del Sistema de Observación de la Tierra (EOS) de la Administración de Aeronáutica y del Espacio (NASA). OMI proporciona datos de los tipos de aerosoles, cobertura de nubes, presión atmosférica, y datos de concentración de ozono (Levelt et al., 2018). Para la investigación se

descargó datos de concentración de ozono (cm) y presión atmosférica (mbar) de los meses de junio y julio del 2020.

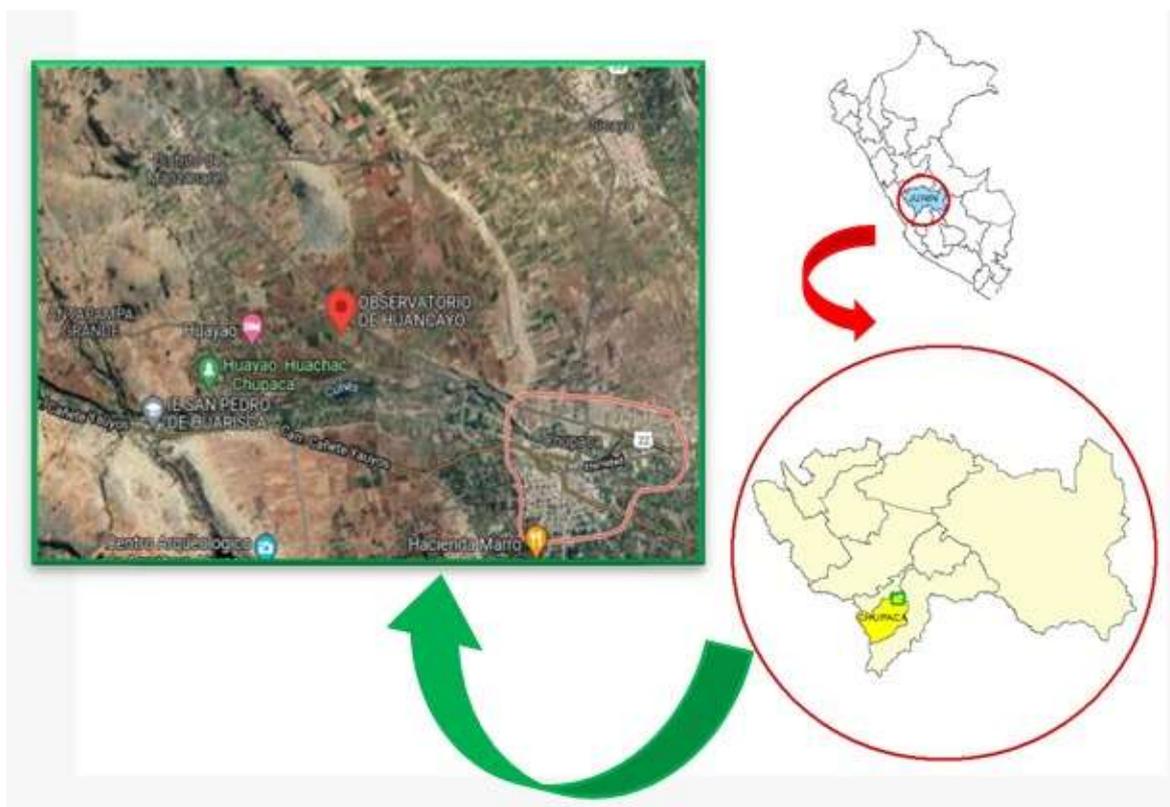
La red Aeronet (Aerosol Robotic NETwork) es una federación de redes establecida por la NASA, que proporcionan datos de las propiedades ópticas, microfísicas y radiativas de los aerosoles, es decir proporciona observaciones distribuidas globalmente del espesor óptico de aerosol (AOD), productos de inversión y agua precipitable. Presenta tres niveles de datos: nivel 1 corresponde a datos no filtrados, nivel 1.5 filtrado inicial y con control de calidad y datos de nivel 2.0 con calidad garantizada (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>), por lo que para la investigación se utilizó datos de AOD y agua precipitable de nivel 2.0; los datos fueron descargados de los meses de junio y julio del año 2020.

3.5 Procedimientos

3.5.1 Ubicación

La investigación se desarrolló en el distrito de Chupaca, provincia de Chupaca, departamento de Junín, se tomó como referencia el observatorio de Huayao ya que ahí se encuentran instalados los equipos de monitoreo. El Observatorio de Huayao está a 12°02'18" S y 75°19'22" W (ver figura 3) y una altitud de 3263 msnm, se encuentra ubicado a pocos kilómetros del centro poblado de Huayao y es considerado la cuna del Instituto Geofísico del Perú. La Provincia de Chupaca abarca un área de 153,05 km². Presenta un clima templado y seco, con una amplitud térmica moderada, la temperatura media anual varía de entre 6°C a 20°C y la precipitación media acumulada es de 756.5 mm (<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>), además el área de estudio está conformada por áreas rurales, urbanas y agrícolas.

Figura 3: Mapa de ubicación del distrito de Chupaca



3.5.2 Procedimientos

a) Para la recolección de datos de radiación solar se realizó el registro por minuto durante los meses de junio y julio del 2020 siendo un total de 87 840 datos, los datos son almacenados en un dataloger instalado junto al radiómetro, para la descarga se utilizó el programa CR1000, el archivo tiene un formato txt. Una vez descargados los datos son copiados y ordenados en Excel, revisando las anomalías, posterior a esto se realizará las gráficas correspondientes las cuales nos permitirán analizar la variabilidad temporal de la radiación solar en el distrito de Chupaca.

b) Del mismo modo con estos datos se determinará el estado atmosférico mediante el análisis estadístico índice de claridad, a través del cual se determinará los días de cielo despejado a trabajar. Se debe tener en cuenta que los días que presenten un valor mayor o igual a 0.6 serán considerados como días despejados. Este procedimiento se llevará a

cabo en el software Matlab donde se realizará la programación y corrida del modelo.

IQC es un modelo que trabaja en función de los días despejados, por lo que se aplica el análisis estadístico índice de claridad (K_t) el cual es un parámetro óptico que nos indica el estado atmosférico local, las condiciones y características climáticas y su variación en función al tiempo, este se calcula como el cociente entre la radiación global y la radiación extraterrestre (Rodríguez et al., 2014).

El índice de claridad atmosférica sobre superficies horizontales está definido como:

$$K_t = \frac{H_g}{H_o}$$

Donde:

- H_g : el promedio de la radiación solar diaria que incide sobre una superficie horizontal en la superficie terrestre.
- H_o : es la energía por unidad de área acumulada, en un día sobre la superficie de la atmósfera. Esta se puede determinar usando la siguiente expresión:

$$H_o = I_{sc} * E_o * \cos(\theta)$$

- I_{sc} : constante solar que tiene un valor de 1.367 Watts/m²
- E_o : es el factor de corrección de la excentricidad de la órbita de la Tierra.
- $\cos(\theta)$: es el coseno del ángulo cenital.

Iqbal (1983) postuló ciertos límites para definir los tipos de días basados en K_t (ver tabla 2).

Tabla 2: **Escala de Iqbal donde se define el tipo de día basado en K_t**

Índice de claridad	Tipo de día
$Kt \geq 0.6$	Días claros
$0.3 < kt < 0.6$	Días parcialmente nublados
$Kt \leq 0.3$	Días nublados

Fuente: Iqbal, 1993

c) Por otro lado los datos de concentración de ozono, presión atmosférica y agua precipitable se descargaron del sensor OMI y la Red Aeronet para los meses de junio y julio del año 2020, estos datos son descargados en formato txt para luego ser copiado, ordenado y graficadas en Excel para analizar su variación en función al tiempo.

d) Una vez descargados, verificados y ordenados todos los datos necesarios como entrada al modelo, se realizará la programación del modelo IQC en el software Matlab el cual nos permitirá estimar el espesor óptico de aerosol en los meses de junio y julio del 2020. A continuación, se describe el modelo IQC.

3.5.3 Modelo IQC

- **Modelo IQC de radiación directa**

La radiación normal directa a partir del modelo IQC viene dada por la siguiente ecuación:

$$I_n = 0.9751 I_{sc} \tau_r \tau_o \tau_g \tau_w \tau_a$$

Donde I_{sc} es la constante solar con un valor de 1367 W/m². El factor 0.9751 se incluye por el intervalo de longitudes de onda que se considerara en el modelo es igual a 0.3 – 3.0 μ m.

Mientras que la transmitancia debido a los principales constituyentes atmosféricos son los siguientes:

- τ_o : Transmitancia debido a la absorción por ozono.

- τ_g : Transmitancia debido a la absorción por gases uniformemente mezclados.
- τ_w : Transmitancia debido a la absorción por vapor de agua.
- τ_r : Transmitancia debida a los efectos de la dispersión de Rayleigh por moléculas de aire.
- τ_a : Transmitancia debida a la atenuación por aerosoles.

En general, se supone que las transmitancias son multiplicativas, de modo que la transmitancia total de la atmósfera puede expresarse de la siguiente manera:

$$\tau = (\tau_o, \tau_g, \tau_w, \tau_r, \tau_a)$$

En determinadas condiciones, algunas de las transmitancias pueden ser representadas por $1 - \alpha_i$ o $1 - S_i$ donde α_i y S_i son las atenuaciones correspondientes por absorción y dispersión, respectivamente.

La transmitancia de dispersión del ozono τ_o (adimensional) usada en el modelo IQC puede ser escrita como:

$$\tau_o = 1.0 - [0.1611U_3(1 + 139.48U_3)^{-0.3035} - 0.00271U_3(1.0 + 0.044U_3 + 0.0003U_3^2)^{-1}]$$

U_3 Está definido por:

$$U_3 = lm_r$$

- l : Capa vertical de ozono en cm
- m_r : Masa óptica relativa
- m_a : Masa óptica relativa en función a la presión atmosférica

Siendo U_3 la longitud del camino óptico del ozono dado por $U_3 = u_o m_a$ y u_o (cm) el espesor de la capa de ozono en la vertical y m_r es la masa óptica relativa, que a partir de Kasten (1966) puede ser escrita como:

$$m_r = [\cos(\theta_z) + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1}$$

Siendo θ_z el ángulo zénit local, esta fórmula es precisa aproximadamente en 0.1% para ángulos cenitales hasta 86°.

La transmitancia de dispersión de los gases mezclados τ_g (adimensional) es dada por la siguiente ecuación:

$$\tau_g = \exp[-0.0127m_a^{0.26}]$$

Donde m_a es la masa óptica relativa en función de la presión atmosférica y está dada por la siguiente ecuación:

$$m_a = m_r \left[\frac{p}{1013.25 \times 10^2} \right]$$

Donde p es la presión atmosférica. En general, la corrección de presión debe ser aplicada para altitudes superiores a los de 2000 m o más. Incluso en las estaciones no muy por encima del nivel del mar, una corrección de presión es necesaria si la diferencia entre la presión normal y local es mayor que 20hPa.

La transmitancia de la dispersión de Rayleigh τ_r (adimensional), está dada por la siguiente ecuación:

$$\tau_r = \exp[-0.0903m_a^{0.84}(1 + m_a - m_a^{1.01})]$$

La transmitancia de la dispersión de agua precipitable τ_w (adimensional) es igual a:

$$\tau_w = 1.0 - 2.4959U_1[(1.0 + 79.034U_1)^{0.6828} + 6.385U_1]^{-1}$$

Siendo U_1 la longitud de camino óptico relativo de agua precipitable corregido por la presión dado por: $U_1 = u_w m_a$ y u_w (cm) la medida del agua precipitable local.

Una expresión para la transmitancia de dispersión de los aerosoles τ_a (adimensional) del presente modelo está basado en la atenuación espectral con las dos longitudes de onda más utilizadas por las redes meteorológicas, 0.38 y 0.5 um donde la absorción de ozono molecular es mínima, es dada por:

$$\tau_a = \exp[-k_a^{0.873}(1 + k_a - k_a^{0.7808})m_a^{0.9108}]$$

Siendo k_a (adimensional) el espesor óptico de los aerosoles, dado por:

$$k_a = 0.2758 \times k_{a;\lambda I \lambda = 0.38 \mu m} + 0.35 \times k_{a;\lambda I \lambda = 0.5 \mu m}$$

Donde λ (μm) es la longitud de onda. El modelo depende de los espesores ópticos de aerosoles en 0.38 y 0.5 μm , a fin de calcular k_a y τ_a . Como estos parámetros están disponibles sólo en un número pequeño de lugares, entonces el espesor óptico de los aerosoles puede ser sustituido por la ecuación de Angstrom:

$$k_a = 0.2758 \times 0.38^{-\alpha} + 0.35 \times 0.5^{-\alpha})\beta$$

Siendo β el coeficiente de turbidez de Angstrom y α el exponente de longitud de onda de Angstrom.

Entonces la radiación solar directa se expresa así:

$$\dot{I}_{directa} = I_n \cos(\theta_z)$$

- **Modelo IQC de radiación difusa**

La irradiancia difusa dispersada por Rayleigh después del primer paso a través de la atmósfera viene dada por:

$$\dot{I}_{dr} = 0.79 I_{SC} \cos(\theta_z) \tau_0 \tau_g \tau_\omega \tau_{aa} 0.5(1.0 - \tau_r) / [1.0 - m_a + m_a^{1.02}]$$

La transmitancia de la irradiación directa debido a la absorción de los aerosoles τ_{aa} (adimensional) se da por la siguiente expresión:

$$\tau_{aa} = 1.0 - (1.0 - w_o)(1.0 - m_a + m_a^{1.06})(1.0 - \tau_a)$$

Siendo w_o (adimensional) la fracción de albedo de dispersión simple de la energía incidente propagada por la atenuación total por aerosoles, y se considera igual a 0.9.

La irradiancia difusa dispersada por el aerosol después del primer paso a través de la atmósfera viene dada por:

$$\dot{I}_{da} = 0.79 I_{SC} \cos(\theta_z) \tau_0 \tau_g \tau_\omega \tau_{aa} F_C (1.0 - \tau_{as}) / [1.0 - m_a + m_a^{1.02}]$$

La fracción de la energía incidente transmitida después de los efectos de dispersión de los aerosoles τ_{as} (adimensional) es función de las transmisiones τ_a y τ_{aa} :

$$\tau_{as} = \frac{\tau_a}{\tau_{aa}}$$

Este modelo recomienda que se use un valor constante de 0.84 para F_c a menos que haya disponible mejor información sobre los aerosoles.

En el modelo IQC, la radiación difusa en la superficie debido a múltiples reflexiones entre la superficie y la atmósfera para condiciones de cielo claro está dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{I}_{dm} = (I_n \cos(\theta_z) + I_{dr} + I_{da}) \rho_g \rho_a [1.0 - \rho_g \rho_a]^{-1}$$

Siendo ρ_g (adimensional) el albedo de la superficie y ρ_a (adimensional) el albedo del cielo y puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$\rho_a = 0.0685 + (1.0 - F_c)(1.0 - \tau_{as})$ Siendo F_c la proporción entre la energía dispersada hacia adelante y la energía total dispersada, este parámetro y una función del ángulo zenit, que varía desde 0.92 (ángulos cenitales cerca de 0°) y 0.5 (ángulos cenitales cerca de 90°). En este caso se considera igual a 0.84.

- **Modelo IQC de radiación global**

La irradiación global (W / m^2) en una superficie horizontal puede ser escrita como:

$$\dot{I}_G = \frac{[I_n \cos(\theta_z) + I_{dr} + I_{da}]}{1.0 - \rho_g \rho'_a}$$

Siendo ρ_g el albedo de superficie y ρ'_a el albedo del cielo sin nubes.

Finalmente se calcula el espesor óptico de aerosol mediante la siguiente ecuación:

$$k_a = 0.2758 \times k_{a,\lambda 1\lambda=0.38\mu m} + 0.35 \times k_{a,\lambda 1\lambda=0.5\mu m}$$

Donde λ (um) es la longitud de onda. El modelo depende de los espesores ópticos de aerosoles en 380 nm y 500nm.

3.6 Métodos de análisis de datos

El artículo de Moriasi et al., 2007, recomienda algunas técnicas para la validación de modelos computarizados y realiza una extensa revisión bibliográfica de la literatura relacionada con la validación, optimización y aplicación de modelos.

La técnica estadística para la validación de los modelos, fue seleccionada en base a tres criterios:

- Solidez en términos de aplicabilidad a varios componentes, modelos y condiciones climáticas.
- Son usados comúnmente, aceptado y recomendado en la literatura publicada.
- Capacidad para identificar fortalezas en la validación del modelo.

Se empleará la estadística descriptiva para el análisis de datos mediante el cual se calculará la media, mediana, desviación estándar, valores máximos y mínimos. Todos estos valores serán calculados en el software Excel.

Además, para el análisis y validación de los datos se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson mediante el cual se determinará el nivel de correlación entre los datos de AOD estimados con el modelo con los datos de AOD registrados por el fotómetro.

Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Es una medida estadística para medir el grado de ajuste o fiabilidad del modelo estimado respecto a los datos observados. El coeficiente de correlación de Pearson es un índice del grado de relación lineal entre los datos observados y simulados.

Los valores de r varían de -1 a 1, si $r=1$ entonces hay una relación lineal positiva perfecta, si $r=0$ no existe relación lineal y si $r=-1$ hay una relación lineal negativa perfecta.

El r se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{Cov(y^{obs}, y^{sim})}{\sigma_{obs}\sigma_{sim}}$$

Donde $Cov(y^{obs}, y^{sim})$ es la covarianza de los valores observados y simulados, σ_{obs} es la desviación estándar de los datos observados y σ_{sim} es la desviación estándar de los datos simulados.

3.7 Aspectos éticos

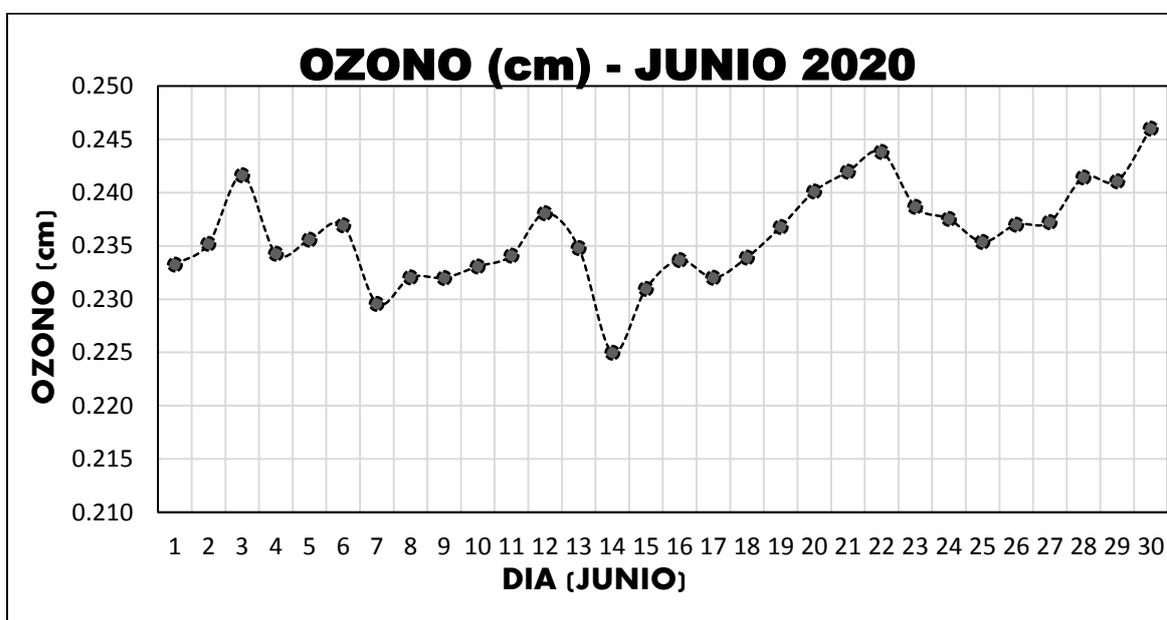
La presente investigación titulada “Estimación del espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en Chupaca-2020” respeta el reglamento de investigación, la Resolución del Consejo Universitario N° 0262 – 2020 / UCV de la Universidad Cesar Vallejo y el código de ética, cumpliendo minuciosamente los principios de ética. En el aspecto de originalidad todos los resultados obtenidos en esta investigación fueron registrados por instrumentos y sensores calibrados y válidos, además la investigación se someterá al software turnitin para verificar el porcentaje de similitud y copia para de esta manera verificar su originalidad. Por otro lado, en la investigación se tuvo como fuentes principales de información libros, investigaciones y artículos los cuales fueron citados y referenciados aplicando las normas ISO lo cual nos permitió manejar estas investigaciones responsablemente. Por último, la investigación será desarrollada sin generar posibles impactos negativos sobre el ambiente ya que la investigación es no experimental siendo nuestro objetivo validar el modelo IQC para reemplazar los equipos altamente sofisticados y de esta manera reducir impactos ambientales que van a generar estos equipos al ser desechados y porque no también reduciendo costos.

IV. RESULTADOS

4.1 Variables de entrada del modelo IQC

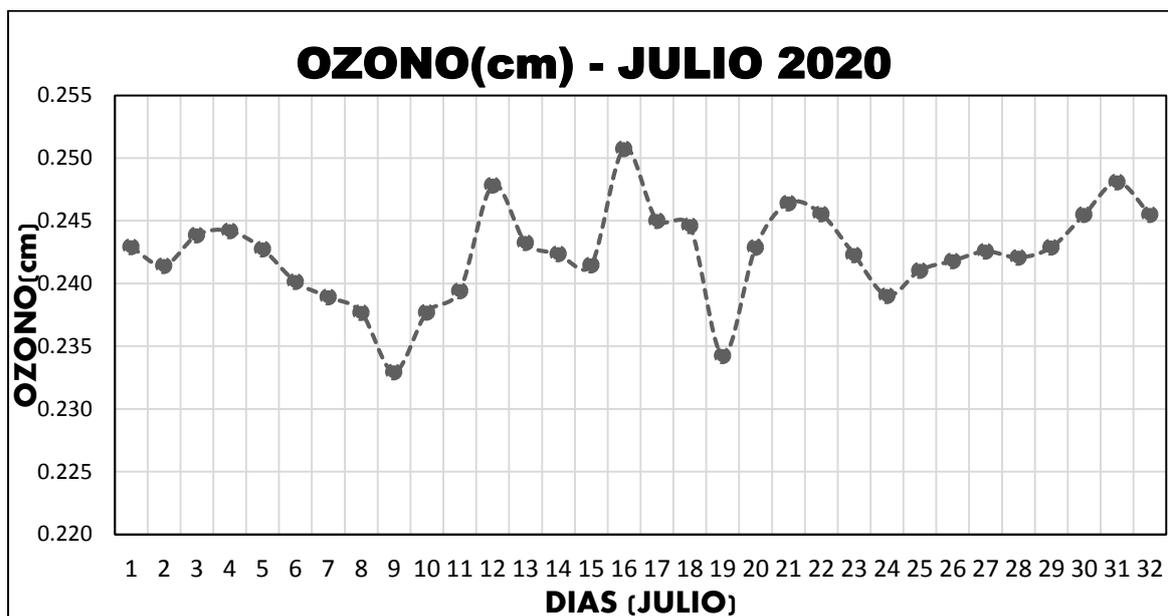
Ozono (cm): Para la aplicación del modelo IQC con fines de estimar el espesor óptico de aerosol, se seleccionó un conjunto de datos de ozono requeridos como entrada para el modelo, estos datos fueron obtenidos del Sensor OMI. En las figuras 4 y 5 se muestra los resultados de la variación temporal de la concentración de ozono de los meses de junio y julio respectivamente.

Figura 4 Variación temporal de la concentración de Ozono (cm) del mes de junio – 2020 Chupaca.



En la figura 4 se observa la variación temporal promedio diario de la concentración de ozono en el mes de junio del año 2020 en Chupaca. Los valores presentan una variación diaria no significativa con un valor máximo de 0.246 cm el día 30, y un valor mínimo de 0.225 cm para el día 14 de junio.

Figura 5: Variación temporal de la concentración de Ozono (cm) del mes de julio – 2020 en Chupaca.



En la figura 5 se observa la variación temporal promedio diario de la concentración de ozono en el mes de julio del año 2020 en Chupaca, con un valor máximo de 0.251 cm el día 16, y un valor mínimo de 0.233 cm para el día 09 de julio, demostrándose entonces que en el mes de julio existió una variación significativa en cuanto a la concentración de ozono respecto al mes de junio.

A continuación, la tabla 3 muestra los resultados de la concentración promedio diario de ozono de los meses de junio y julio respectivamente.

Tabla 3: Promedio diario de la concentración de ozono (cm) del mes de junio del 2020 en Chupaca.

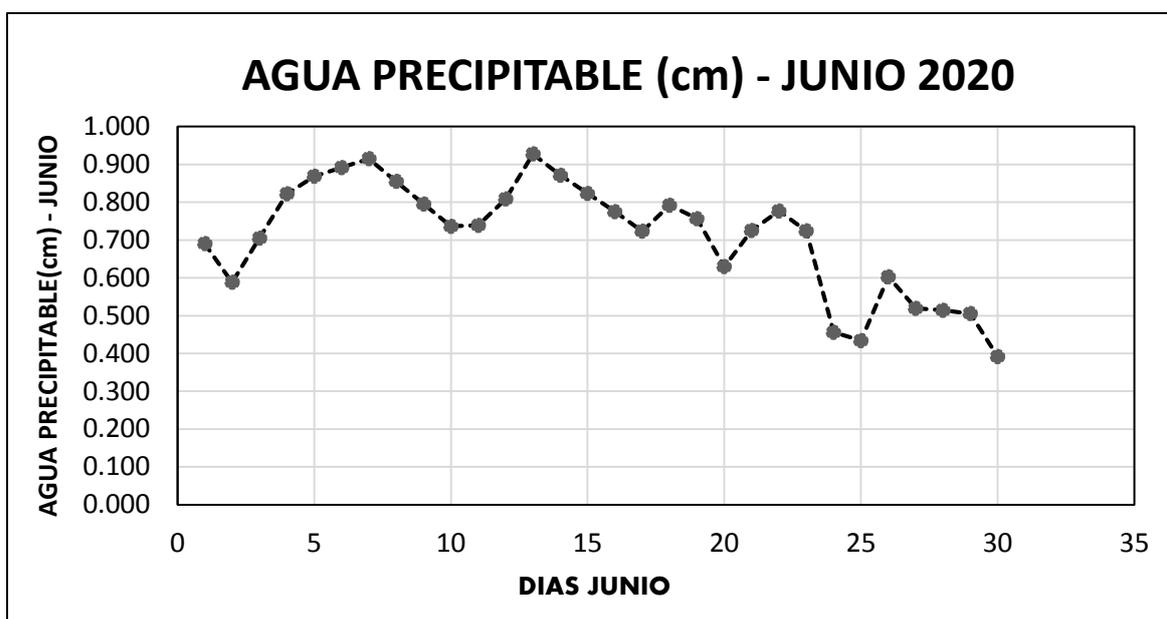
DIA	OZONO JUNIO (cm)	OZONO JULIO (cm)
1	0.233	0.243
2	0.235	0.241
3	0.242	0.244
4	0.234	0.244
5	0.236	0.243
6	0.237	0.240

7	0.230	0.239
8	0.232	0.238
9	0.232	0.233
10	0.233	0.238
11	0.234	0.239
12	0.238	0.248
13	0.235	0.243
14	0.225	0.242
15	0.231	0.241
16	0.234	0.251
17	0.232	0.245
18	0.234	0.245
19	0.237	0.234
20	0.240	0.243
21	0.242	0.246
22	0.244	0.246
23	0.239	0.242
24	0.238	0.239
25	0.235	0.241
26	0.237	0.242
27	0.237	0.243
28	0.241	0.242
29	0.241	0.243
30	0.246	0.246
31		0.248

La tabla 3 muestra el resumen de los datos de concentración de ozono de los meses de junio y julio del año 2020, con un valor máximo de 0.251 el día 16 de julio y un mínimo de 0.233 para el día 9 de julio, mostrándose por lo tanto los valores más extremos en el mes de julio respecto al mes de junio. Se tomaron los datos de los 34 días despejados para la aplicación del modelo IQC.

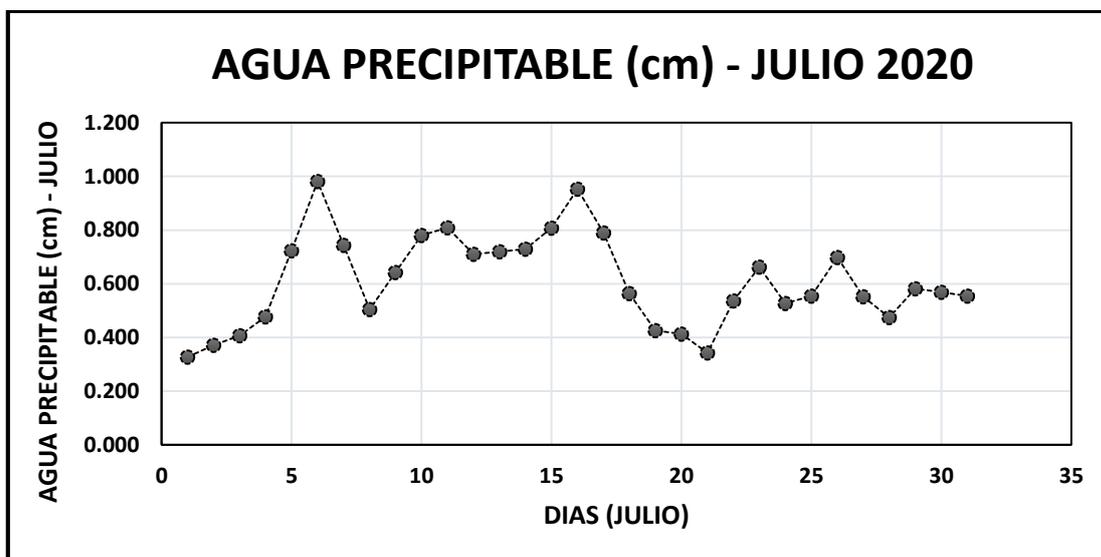
Agua precipitable (cm): Para la aplicación del modelo IQC con el objetivo de estimar el AOD, se seleccionó un conjunto de datos de agua precipitable requerido como entrada para el modelo, dichos datos fueron obtenidos de la Red Aeronet. En las figuras 6 y 7 se muestra los resultados del promedio diario del agua precipitable de los meses de junio y julio respectivamente.

Figura 6: Promedio diario del agua precipitable (cm) del mes de junio del año 2020 en Chupaca.



En la figura 6 muestra la variación temporal del promedio diario de agua precipitable para el mes de junio del año 2020 en Chupaca. Los valores muestran una variación diaria con un valor máximo de 0.927 el día 13 de junio y un valor mínimo de 0.391 el día 30 de junio.

Figura 7: Promedio diario del agua precipitable (cm) del mes de julio del año 2020 en Chupaca



En la figura 7 se observa la variación temporal del promedio diario del agua precipitable del mes de julio en Chupaca. Los valores muestran variaciones continuas respecto a los días, con un valor máximo de 0.982 y un valor mínimo de 0.327.

A continuación, se muestra la tabla 4, con los valores promedio de agua precipitable registrados en los meses de junio y julio respectivamente.

Tabla 4: Promedio diario del agua precipitable de los meses de junio y julio del 2020 en Chupaca.

DIA	JUNIO	- JULIO
1	0.690	0.327
2	0.588	0.371
3	0.705	0.407
4	0.822	0.477
5	0.868	0.723
6	0.892	0.982
7	0.915	0.743

8	0.855	0.504
9	0.795	0.642
10	0.736	0.780
11	0.739	0.809
12	0.809	0.711
13	0.927	0.720
14	0.871	0.729
15	0.823	0.808
16	0.775	0.953
17	0.723	0.790
18	0.792	0.564
19	0.757	0.425
20	0.629	0.413
21	0.725	0.343
22	0.777	0.537
23	0.724	0.663
24	0.456	0.527
25	0.434	0.555
26	0.603	0.698
27	0.519	0.552
28	0.514	0.475
29	0.505	0.582
30	0.391	0.560
31		0.554

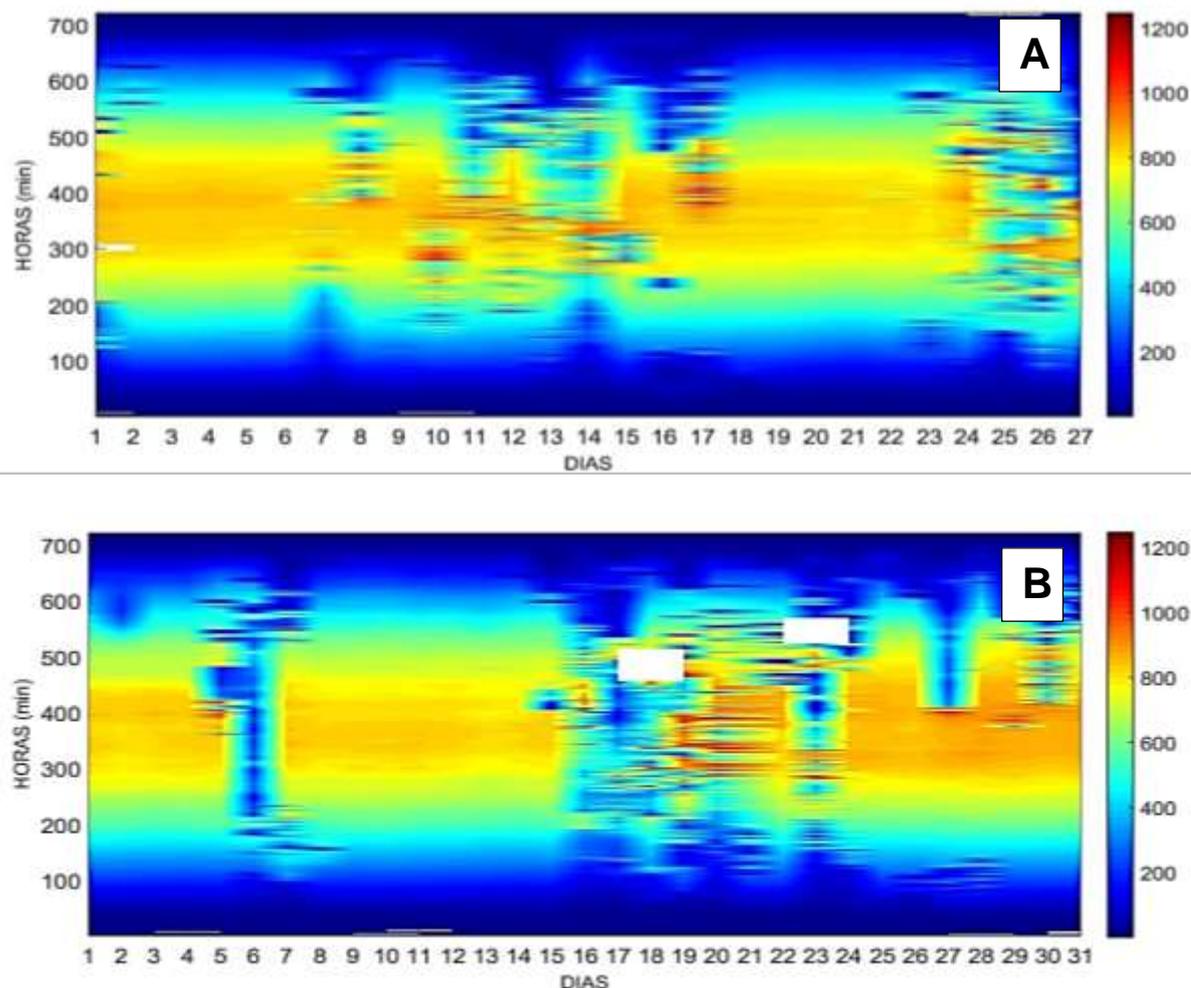
La tabla 4 muestra los datos de los valores promedios diarios del agua precipitable de los meses de junio y julio del año 2020 en Chupaca, con valores máximo de 0.927, 0.982 y valores mínimos de 0.391, 0.3277 respectivamente.

4.2 Radiación solar

En esta variable se consideró los datos del mes de junio del 2020, considerando los 30 días y julio del 2020 considerando los 31 días del calendario, para ello se

realizó el análisis de la variación temporal de la Radiación Global (figura 8), Radiación Difusa (figura 9) y Radiación Directa (figura 10).

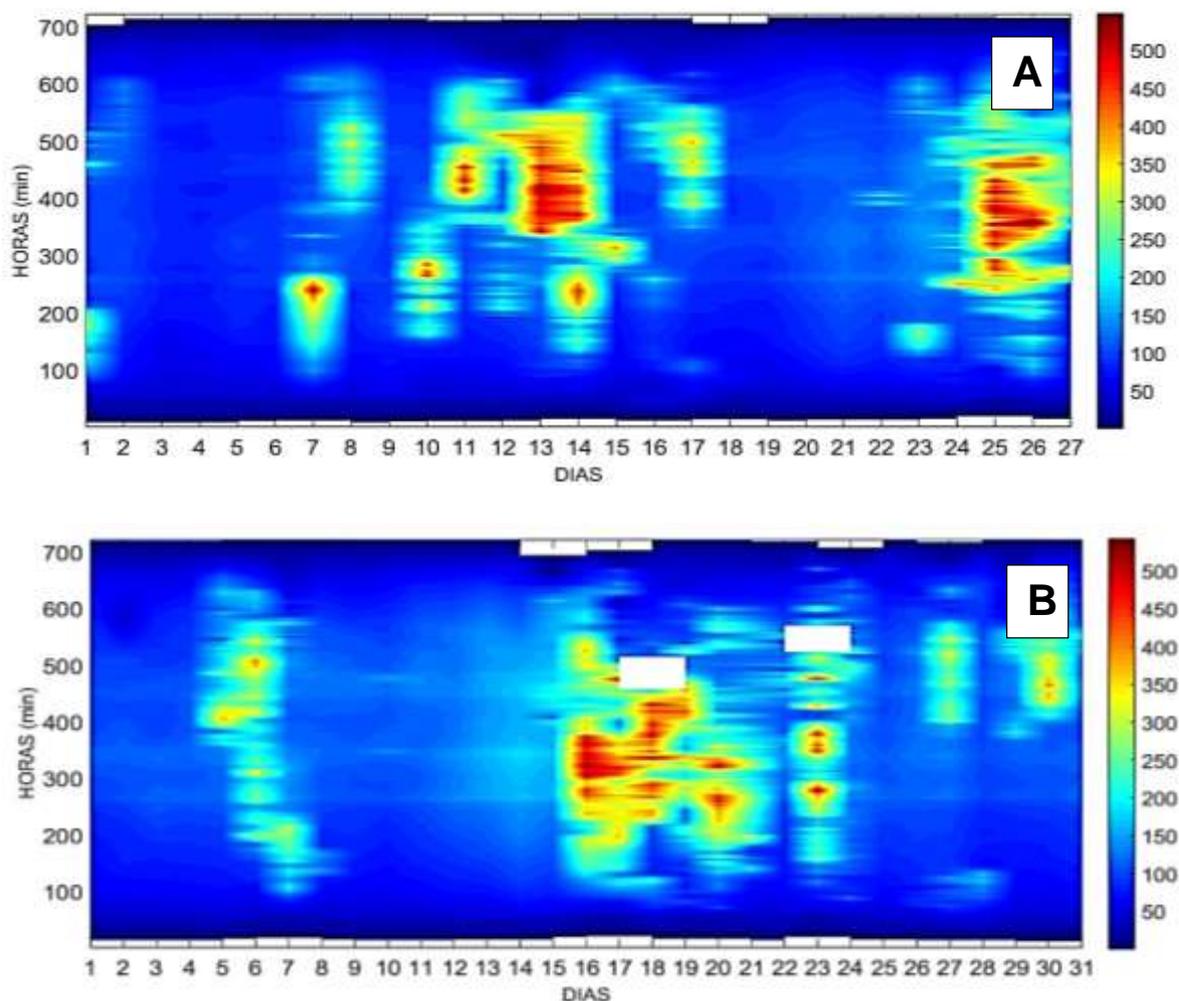
Figura 8: Radiación Global (Watt/m^2) para el mes de (A) Junio y (B) Julio del 2020 en Chupaca en función de horas y días de medición.



En la figura 8, se observa la intensidad de la radiación global registrado en superficie por el radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao - Chupaca, muestra un valor máximo de 1247 watt/m^2 los días 29 de junio a las 12.00.00 pm y 18 de julio a las 11.59.00 am; y un valor mínimo de 640 watt/m^2 el día 06 de julio en función a los picos más altos. La figura nos permite observar que los mayores niveles de radiación solar se presentan entre las 11:00am hasta las 3:00pm, en ese periodo el sol se encuentra en su máxima elevación producto de ello valores altos de radiación solar registrado en superficie, por otro lado, se ve la influencia de la

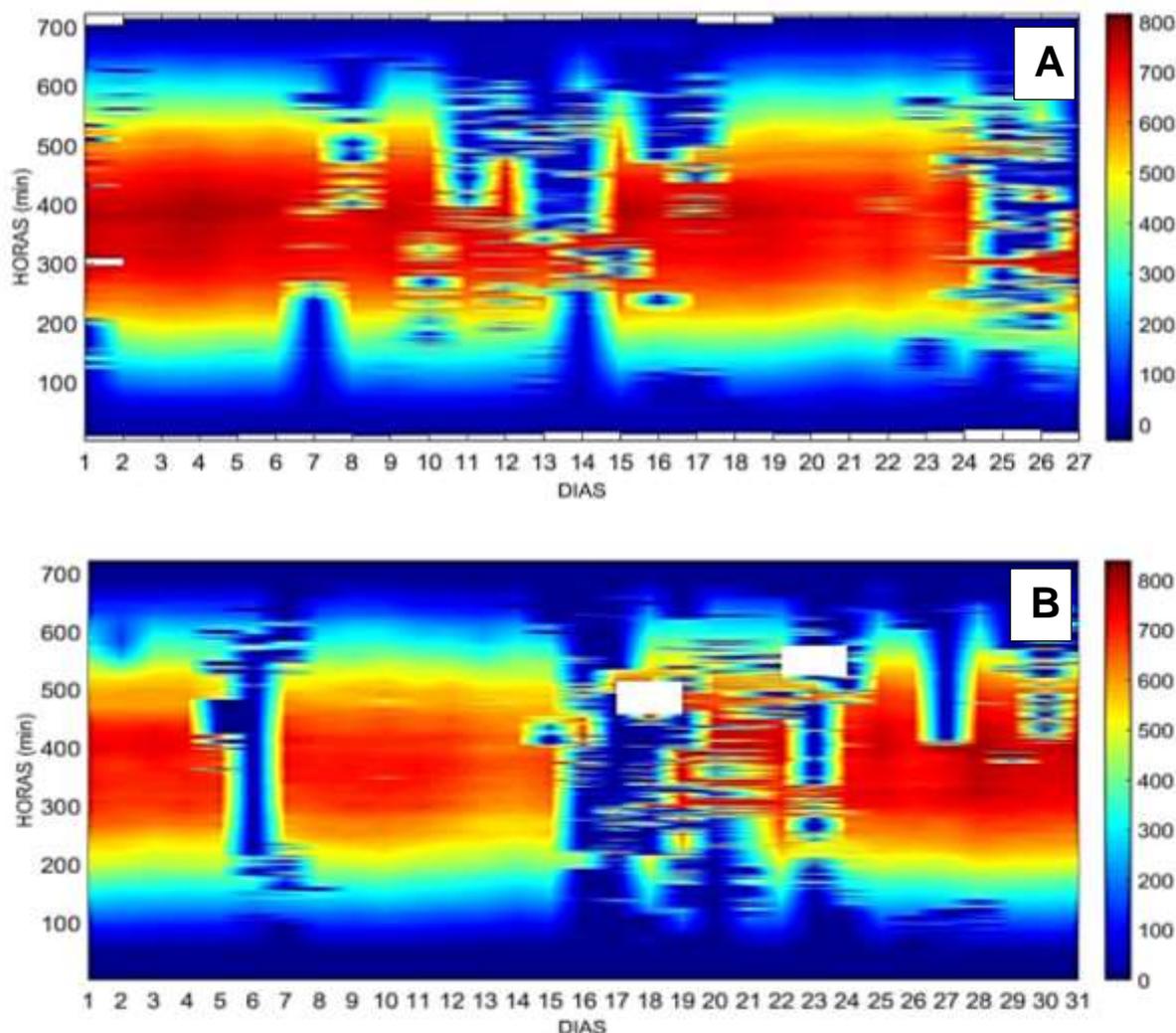
nubes y contaminantes atmosféricos (gases y partículas), estos factores hacen que la intensidad de radiación solar disminuya.

Figura 9: Radiación Difusa en (Watts/m^2) para el mes de (A) Junio y (B) julio del 2020 en Chupaca en función de horas y días de medición.



En la figura 10, se observa la variación diaria de la radiación difusa, donde muestra que la mayor intensidad registrada muestra un valor de 549 watt/m^2 a las 12.54.00 pm el día 24 de junio y 16 de julio un 542.5 watt/ m^2 a las 11.42.00 am y un valor mínimo de 83 watt/m^2 el día 07 de junio en función a los picos más altos, también se observa el efecto de las nubes, gases y partículas en periodos de tiempo donde la tradición difusa presenta valores altos, mientras que en los días despejados los valores disminuyen. La radiación solar se atenúa debido a los procesos de difusión y absorción que producen los gases, partículas y las nubes.

Figura 10: Radiación Directa del mes de (A) Junio y (B) Julio del 2020 en Chupaca en función de los días y horas de medición.



En la figura 10 se observa la intensidad de la radiación solar registrado en superficie, la radiación directa es aquella que llega a superficie sin haber sufrido un proceso de difusión por partículas, gases o nubes presentes en la atmosfera. Se obtuvo un valor máximo el día 29 de junio un valor de 816.05 watt/m² a las 12.44.00 pm y 838.15 watt/m² a las 12.34.00 pm el día 19 de julio y un valor mínimo de 388.2 watt/m² el día 06 de julio, para eliminar el efecto de las nubes en Chupaca.

4.3 Estado atmosférico

Con el objetivo de determinar el estado atmosférico de los meses de junio y julio del año 2020, se calculó el índice de claridad a través del cual se seleccionó los días despejados, se seleccionó aquellos días con valores de $K_t > 0 = a 0.70$.

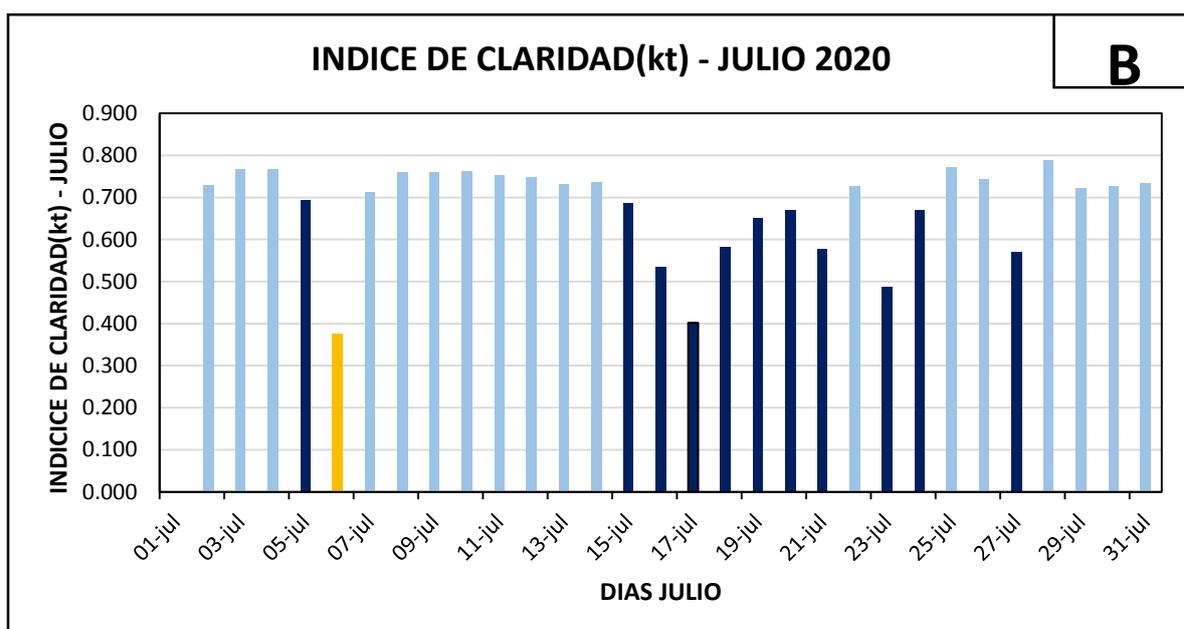
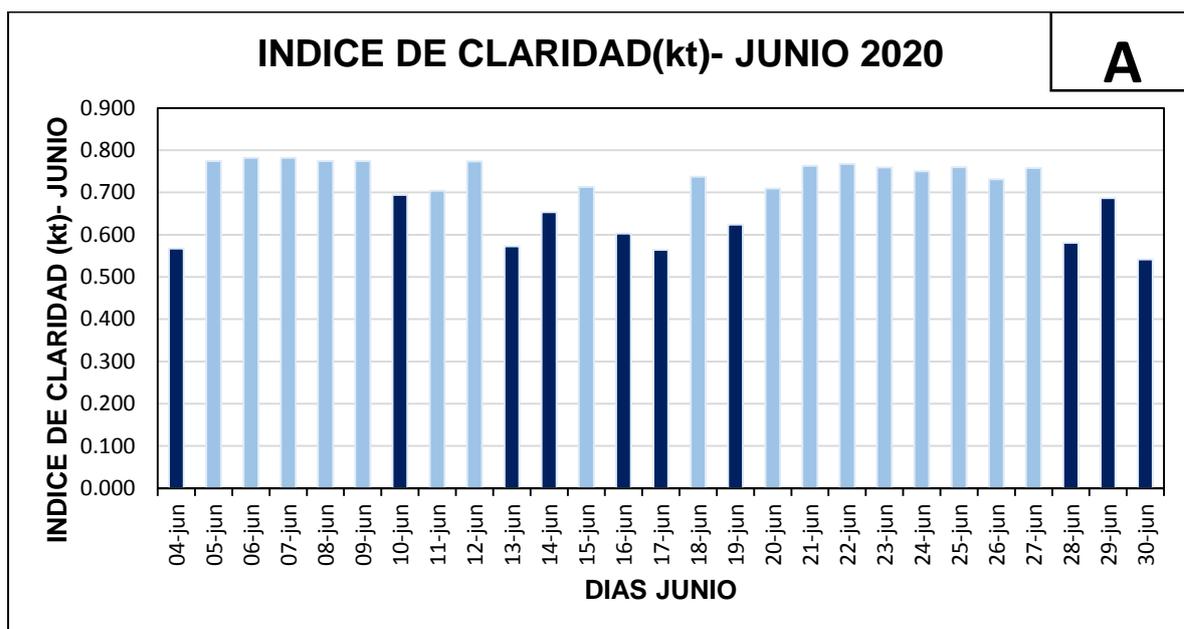
A continuación, se muestran los resultados de índice de claridad de los meses de junio y julio del 2020.

Tabla 5: Días despejados del mes de junio y julio del 2020

JUNIO		JULIO	
DIA	Índice de claridad (Kt)	DIA	Índice de claridad (Kt)
05-jun	0.774	02-jul	0.729
06-jun	0.782	03-jul	0.767
07-jun	0.782	04-jul	0.767
08-jun	0.774	07-jul	0.712
09-jun	0.774	08-jul	0.759
11-jun	0.704	09-jul	0.760
12-jun	0.773	10-jul	0.763
15-jun	0.713	11-jul	0.753
18-jun	0.737	12-jul	0.748
20-jun	0.709	13-jul	0.732
21-jun	0.763	14-jul	0.737
22-jun	0.768	22-jul	0.727
23-jun	0.759	25-jul	0.773
24-jun	0.750	26-jul	0.743
25-jun	0.760	28-jul	0.789
26-jun	0.731	29-jul	0.721
27-jun	0.758	30-jul	0.727
		31-jul	0.734

La tabla 5 muestra los valores del índice de claridad atmosférico de los meses de junio y julio, muestra un valor máximo de 0.789 lo cual indica que el día estuvo despejado, y un valor mínimo de 0.375 indicando que el día estuvo nublado.

Figura 11: Índice de claridad diaria de los 35 días seleccionados de los meses de (A) junio y (B) julio del año 2020 en Chupaca.

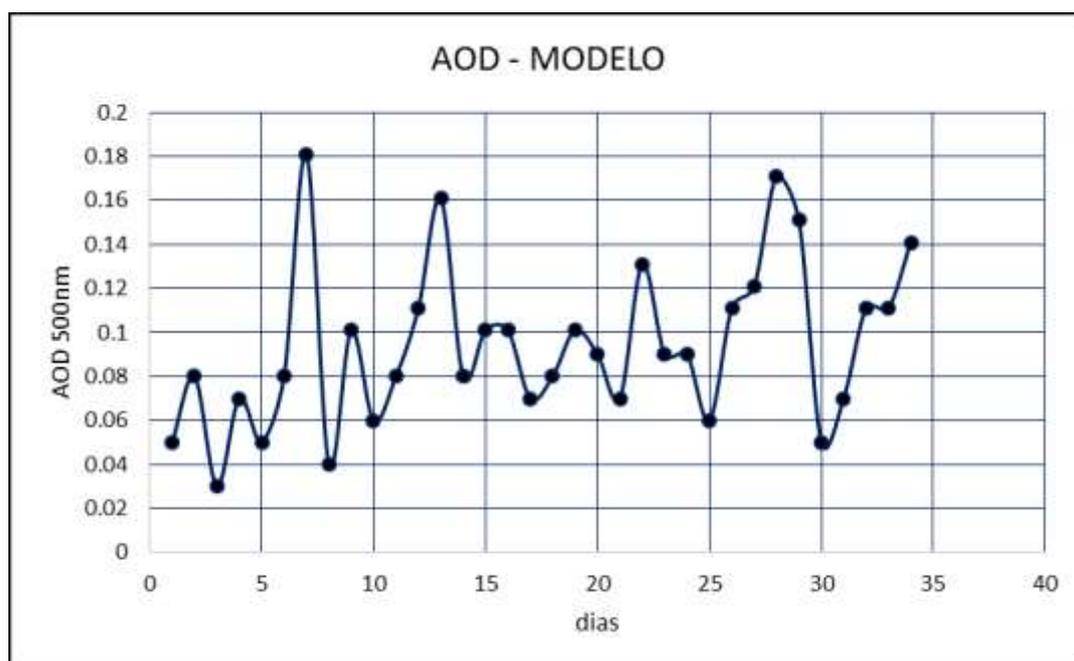


La figura 11 muestra los resultados del análisis estadístico índice de claridad de los meses de junio y julio respectivamente, encontrándose en total de 35 días despejados, 21 días parcialmente despejados y 2 días nublados, esta serie de datos presenta una tendencia regular evidenciándose cambios en las condiciones atmosféricas en periodos de cortos de tiempo. Por lo tanto, los resultados obtenidos infieren que en Chupaca durante el mes de junio y julio se presentaron días despejados y días nublados.

4.4 Espesor óptico de Aerosol (AOD)

Con el objetivo de estimar el AOD se empleó los datos de ozono, agua precipitable, radiación solar de los 34 días despejados ya que el modelo IQC es aplicable a estas condiciones.

Figura 12: Espesor Óptico de Aerosoles estimados con el modelo IQC



En la figura 12 se muestra la variación en función al tiempo del espesor óptico de aerosol estimado mediante el modelo IQC, se puede observar que los valores presentan cambios significativos, producto de la inestabilidad atmosférica por lo que se tienen valores extremos con máximo de 0.181, mínimo de 0.030 y un promedio de 0.094. Lo cual indica que el distrito de Chupaca tiene una atmósfera

parcialmente contaminada por aerosoles haciendo que la radiación incidente disminuya por los efectos de absorción y dispersar.

Tabla 6: espesor óptico de aerosoles estimados mediante el modelo y registrados por el fotómetro.

DIA	AOD- MODELO	AOD-FOTOMETRO
05-jun	0.05	0.046
06-jun	0.08	0.081
07-jun	0.03	0.037
08-jun	0.07	0.074
09-jun	0.05	0.049
11-jun	0.08	0.077
12-jun	0.181	0.184
15-jun	0.04	0.04
18-jun	0.101	0.096
20-jun	0.06	0.062
21-jun	0.08	0.077
22-jun	0.111	0.107
24-jun	0.161	0.16
25-jun	0.08	0.08
26-jun	0.101	0.105
27-jun	0.101	0.102
02-jul	0.07	0.069
03-jul	0.08	0.082
04-jul	0.101	0.095
07-jul	0.09	0.091
08-jul	0.07	0.066
09-jul	0.131	0.132
10-jul	0.09	0.089
11-jul	0.09	0.09
12-jul	0.06	0.057
13-jul	0.111	0.115

14-jul	0.121	0.124
22-jul	0.171	0.174
25-jul	0.151	0.115
26-jul	0.05	0.047
28-jul	0.07	0.072
29-jul	0.111	0.112
30-jul	0.111	0.114
31-jul	0.141	0.143

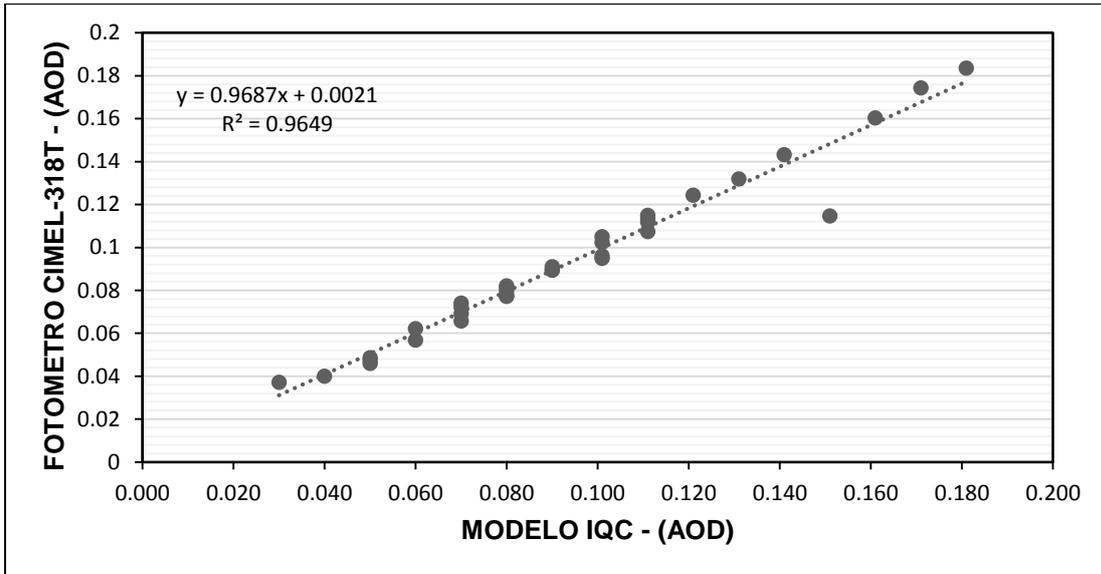
La tabla 6 muestra los datos del espesor óptico de aerosol estimado con el modelo y el AOD observado para los dos meses de estudio, donde se presentan valores máximos de 0.181 y 0.184, valores mínimos de 0.030 y 0.037 respectivamente.

Para la validación de los datos estimados se procedió a realizar el coeficiente de determinación con los datos registrados por el fotómetro Cimel durante el mismo periodo lo cual se muestra en la figura 16.

Tabla 7. Estadística descriptiva de los resultados de AOD simulado con el modelo IQC y AOD medido con el fotómetro Cimel.

	AOD - SIMULADO	AOD - OBSERVADO
PROMEDIO	0.094	0.093
DESVIACION ESTANDAR	0.037	0.037
MAX	0.181	0.184
MIN	0.030	0.037

Figura 13: Resultados del AOD de Junio y Julio del 2020 con simulación de fotómetro Cimel.



La figura 13 representa una correlación positiva de los datos de AOD observados con los datos de AOD estimados a partir del modelo IQC, teniendo un grado de ajuste de $r=0.9649$ lo que indica la similitud o cercanía de ambos datos en el distrito de Chupaca. Sin embargo, también se puede observar datos simulados alejados de la línea de correlación, debido a la inestabilidad atmosférica de la región de estudio. De modo general podemos decir que los resultados de AOD simulados y AOD observados tienen un alto grado de ajuste por lo que la aplicación del modelo es confiable.

V. DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó que las variables meteorológicas tales como la concentración de ozono, agua precipitable y presión atmosférica influyen significativamente en la estimación del espesor óptico de aerosol. La concentración de ozono en los meses de estudio mostro un valor máximo de 0.251cm y un valor mínimo de 0.233cm, lo cual indica que la concentración de este contaminante en la atmósfera de Chupaca varia constantemente debido a sus diversas fuentes de emisión, lo mismo sucede con el agua precipitable muestra un valor máximo de 0.982 cm y un valor mínimo de 0.327 cm presentando variaciones significativas a lo largo del periodo estudiado, esta variable influye en la permanencia de las partículas de aerosol en la atmósfera siendo inversamente proporcionales es decir a mayor concentración de agua precipitable la concentración de aerosoles atmosféricos disminuye. Los resultaos mencionados coinciden con lo mencionado por (Angeles & Angeles, 2015) que en su investigación cuantifico el espesor óptico de aerosol como indicador de la contaminación atmosférica, concluyendo que las variables ambientales influyen en las concentraciones de aerosoles atmosféricos, los resultados muestran valores de 0.0336 como mínimo y 0.0743 como valor máximo, siendo estas las cifras más bajas de todo el mundo concluyendo que estos valores pertenecen a una atmosfera limpia.

La radiación solar en Chupaca presenta variaciones significativas llegando hasta valores máximos de 1247 watt/m² entre las 11 y 15 horas , siendo esto un indicador los mayores niveles de radiación se registran cuando el sol se encuentra en el punto más alto de su elevación, por otro lado cuando el Angulo del sol se encuentra próximo al horizonte los niveles de radiación solar disminuyen a consecuencia a que atraviesa una distancia más larga en la atmosfera y encuentra una mayor concentración de ozono generando proceso de absorción por lo que en Chupaca se registró un valor mínimo de 380 watt/m² en función a los picos más altos. Esto coincide Alan et al 2014 los aerosoles atmosféricos el forzamiento radiactivo que producen los aerosoles atmosféricos es de 19 +- 6 watt/m² en la atmosfera mientras que en la superficie fue de 93+-22 watt/m² produciendo un forzamiento de 74+-16 watt/m² lo cual indica un calentamiento significativo de la atmosfera, por lo tanto, se

afirma que los aerosoles producen un forzamiento radiactivo positivo produciendo el calentamiento de atmosférico, mientras que las partículas

Asimismo, es posible observar el efecto de las nubes, gases, vapor de agua que están presentes en la atmosfera, las mismas que absorben y dispersan la radiación solar generando un desbalance energético de manera que reducen la cantidad de radiación incidente en la superficie terrestre lo cual coincide con los estudios realizados por Qin et al. 2018. Por lo que se produce la radiación difusa, siendo esta energía aproximadamente un 15% de radiación global en los días soleados. Pero en los días nublados, en los que la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. A su paso por la columna atmosférica, la radiación solar se atenúa debido a procesos de absorción y difusión que producen los gases, partículas y nubes Gueymard & Yang 2019. Por lo tanto, representa un comportamiento gaussiano creciendo uniformemente desde la salida del sol hasta alcanzar su punto más alto al medio día, a continuación, descendiendo hasta llegar al horizonte, influyendo en esto también otros factores ambientales.

Con respecto al estado atmosférico, los estudios de Flores et al. 2016 y Angeles et al. 2020 infieren que a mayor cantidad de cielo cubierto por nubes menor es la radiación solar que llega a la superficie, coincide con los resultados en la presente investigación según el análisis estadístico índice de claridad siendo un total de 35 días despejados, 21 días parcialmente nublados y 02 día nublados por lo cual se afirma que en Chupaca tiene un estado atmosférico cambiante.

Con respecto al espesor óptico de aerosoles se obtuvieron valores máximos de 0.181, lo que indica que el distrito de Chupaca tiene una atmosfera parcialmente contaminada, estando relacionado con presencia de aerosoles provenientes de la quema de biomasa local, polvos continentales, parque automotriz y también la influencia del transporte transfronterizo de aerosoles proveniente de incendios forestales en la amazonia. Por otro lado, el valor mínimo de AOD fue de 0.03 esto se debe a la presencia de precipitaciones que hacen que la atmosfera se limpie, además se debe al tamaño de las partículas de aerosoles, siendo de moda gruesa

lo cual hace que su tiempo de vida en la atmosfera sea mínima, esto se afirma con el estudio de Hujia Zhao et al., 2020 menciona que la ocurrencia de condiciones limpias representa valores de AOD menor a 0.05.

Cholan & Rojas 2016, en su estudio aplicaron el modelo SBDART en el 2016 mediante el cual estimaron el AOD con valores máximos de 0.78 a 0.8 en los meses de agosto y septiembre periodo en los que comienza los incendios forestales en la amazonia y para la costa valores de 0.5 a 0, 97 relacionados con las emisiones industriales y el parque automotor. En la presente investigación se aplicó el modelo IQC mediante el cual se obtuvo un valor máximo de AOD de 0.181 en los años 2020 en los meses de junio y julio y esto se debe a que este periodo de tiempo la atmosfera paso por un proceso de limpieza debido a la disminución de las principales fuentes de emisión como las actividades industriales, construcciones, uso de vehículos, etc., producto del confinamiento por la pandemia de la covid-19. En la investigación de Angeles Suazo et al., 2019 caracterizan a la atmosfera de la provincia de Huancayo como una atmosfera parcialmente contaminada mediante el coeficiente de turbidez de angstrom con un valor de 0.16 y el exponente de longitud de onda un valor de 1.3. Por lo tanto, en el distrito de Chupaca el AOD presento un valor de 0.181 el cual según la clasificación Iqbal, 1993 pertenece a una atmosfera parcialmente contaminada.

Con fines de validad el modelo se aplicó el coeficiente de correlación a través del cual se obtuvo un valor de $r=0.964$, dicho valor indica que el modelo IQC resulta valido para estimar el espesor óptico de aerosol en el distrito de Chupaca.

VI. CONCLUSIONES

- La concentración de ozono y el agua precipitable influyen significativamente en la estimación del espesor óptico de aerosol en el distrito de Chupaca, el ozono presento un valor máximo de 0.251 y un valor mínimo de 0.233, mientras que el agua precipitable presento un valor máximo de 0.982 y un valor mínimo de 0.327; afirmando que esta variable cambia constantemente en función al tiempo.
- Los componentes de la radiación solar (global, directa y difusa) obtenidos del radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao – Chupaca, presentan variaciones significativas a lo largo del tiempo, la radiación global presento un máximo de 1247 watt/m² y un mínimo de 380 watt/m², la radiación directa presento un máximo valor de 838.15 watt/m² y mínimo de 388.2 watt/m² finalmente la radiación difusa presento un valor máximo de 549 watt/m² y un mínimo de 83 watt/m². La radiación solar total se ve influenciada por los diversos factores atmosféricos y meteorológicos que hacen que disminuya o aumente los niveles de radiación.
- Según el índice de claridad se determinó 35 días de cielo despejado, 21 días de cielo parcialmente nublado y 02 días nublado en los meses de junio y julio del 2020. Por los que se concluye que las condiciones atmosféricas varían constantemente en función al tiempo.
- El espesor óptico estimado en Chupaca presento un valor máximo de 0.181 y un mínimo de 0.033, permitió caracterizar a la atmosfera de Chupaca como una atmosfera parcialmente contaminada. Semas según el coeficiente de determinación con un valor de $R^2=0.964$ se afirma que el modelo es válido y aplicables a las condiciones de Chupaca para estimar el AOD.

VII. RECOMENDACIONES

- Ampliar el número de estaciones meteorológicas que nos permitan tener datos precisos y adecuados de cada lugar.
- Implementar y aplicar modelos y métodos para las condiciones meteorológicas que incluyan todas las variables y factores atmosféricos.
- Emplear los resultados obtenidos en la elaboración de políticas y estrategias que minimizar la contaminación atmosférica.
- Desarrollar estas investigaciones en otras ciudades del Perú que presentan otras condiciones geográficas y diferentes características.

REFERENCIAS

- Alam, K., Jawed, M., Blaschke, T., Qureshi, S., & Khan, G. (2010). Monitoring spatio-temporal variations in aerosols and aerosol – cloud interactions over Pakistan using MODIS data. *Advances in Space Research*, 46(9), 1162–1176. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.06.025>
- Alam, K., Sahar, N., & Iqbal, Y. (2014). Aerosol Characteristics and Radiative Forcing during Pre-Monsoon and Post- Monsoon Seasons in an Urban Environment, 99–107. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.05.0154>
- Angeles, J., & Angeles, R. (2015). Variation of Aerosol optical depth in the Antarctica Peruvian Machu Picchu Station. *Revista Boliviana de Fisica*, 27(27), 15–19. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1562-38232015000200003&script=sci_arttext
- Angeles Suazo, J., Rocha Condor, A., Rosales Aykes, G., Flores Rojas, J., Angeles Vasquez, R., Angeles Suazo, N., & Karam, H. A. (2020). Estimación de la Turbidez Atmosférica Usando el Modelo IQC en el Área Metropolitana de Huancayo – Perú Estimation of Atmospheric Turbidity Using the IQC Model in the Huancayo, 43, 72–83.
- Bautista Carrascosa, I. (2016). *Cálculo de la radiación solar extraterrestre en función de la latitud y la declinación solar*.
- Camilloni, I., & Vera, C. (2006). La atmósfera.
- Carrillo, G. J., & 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. *tesis*, 178.
- Céspedes, J., Cuero, J., & Hernández, F. (2015). Metodología para medir las concentraciones de aerosoles atmosfericos usando tecnicas de teledeteccion. *Puente Revista Cientifica*, 61–77. <https://doi.org/10.18566>
- Cholan, E., Rojas, B., Willems, B., & Ocola, L. (2016). Estimación del espesor óptico de los aerosoles a partir de las imágenes del sensor MODIS sobre el Perú (2004-2005). *Revista de Investigaación de Física*, 19, 1–14. Recuperado de

<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/fisica/article/view/13557/11968>

- Cholan, E., & Rojas, J. (2015). *Estimación del espesor óptico de los aerosoles a partir de los datos Level 1B del sensor MODIS sobre Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Cristobal, s. v. (2014). Variabilidad temporal de aerosoles atmosféricos en Huancayo. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 4(1), 57–68. <https://doi.org/doi:10.18259/acs.2014006>
- De La Cruz Lezama, M. (2015a). *concentración de contaminantes del aire generado por las fuentes móviles en la ciudad de*.
- De La Cruz Lezama, M. (2015b). HUANCAYO – PERÚ.
- Della Ceca, L. S. (2018). atmosféricos en la ciudad de Córdoba (Argentina) y desarrollo de un modelo predictivo de los niveles de material particulado '.
- Deng, C., Brooks, S. D., Vidaurre, G., & Thornton, D. C. (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*, 48(2), 193–206. <https://doi.org/10.1080/02786826.2013.867297>
- Domínguez, H. A. (2004). *Nuestra atmósfera : cómo comprender los cambios climáticos*. Lectorum. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Dgd_oUuTnDUC&oi=fnd&pg=PA13&dq=atmosfera+terrestre+capas&ots=6TNWNeBGcD&sig=l4ww15PIJq82lsKu8FWxeFQPk7Y#v=onepage&q=atmosfera+terrestre+capas&f=false
- Flores, J. L., Karam, H. A., Marques Filho, E. P., & Pereira Filho, A. J. (2016). Estimation of atmospheric turbidity and surface radiative parameters using broadband clear sky solar irradiance models in Rio de Janeiro-Brasil. *Theoretical and Applied Climatology*, 123(3–4), 593–617. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1369-7>

- Fonte, A., & Antuña, J. C. (2011). Caracterización del espesor óptico de banda ancha de los aerosoles troposféricos en Camagüey , Cuba.
- Gómez Zamora, Y., & Cuesta Santos, O. (2011). Aplicación del Modelo HYSPLIT en estudios de contaminación atmosférica en la estación regional La Palma . *Estudios de Caso*, 17(2), 87–95.
- INEI. (2001). PERU: estimaciones y proyecciones de población, 1950-2050, 1950–2050.
- INEI, I. N. de E. e I. (2018). *Resultados definitivos*.
- Jin, S., Ma, Y., Gong, W., Liu, B., Lei, L., & Fan, R. (2021). Characteristics of vertical atmosphere based on five-year microwave remote sensing data over Wuhan region. *Atmospheric Research*, 260(May), 105710. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105710>
- Ludeña Urquiza, W. (2008). Patrimonio industrial en el Perú del siglo xx : ¿ exotismo cultural o memoria sin memoria ?
- Moya Álvarez, A. S., Arredondo, R. E., & Yuli Posadas, R. A. (2016). (Recibido octubre 2015; aceptado abril 2016), 33(1), 99–108. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.09>
- MTC, M. de T. y C. (2014). *Transporte y Comunicaciones*.
- Nisperuza toledo, D. J. (2015). *Propiedades Ópticas de los Aerosoles Atmosféricos en la Región Andina Colombiana Mediante Análisis de Mediciones Remotas: LIDAR, Fotométricas y Satelitales Daniel*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/48465/>
- OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado , el ozono , el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre .
- Otero, L., Ristori, P., Holben, B., & Quel, E. (2006). Espesor óptico de aerosoles durante el año 2002 para diez estaciones pertenecientes a la red AERONET – NASA Aerosol Optical Thickness at ten AERONET – NASA stations during 2002, 097(2), 355–364.
- Qin, W., Wang, L., Lin, A., Zhang, M., & Bilal, M. (2018). Improving the estimation

of daily aerosol optical depth and aerosol radiative effect using an optimized artificial neural network. *Remote Sensing*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/rs10071022>

Rojas Chávez, F. (2017). Universidad nacional agraria la molina.

Saavedra Vargas, J. D. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular.*

Salmon, A., Quiñones, G., Soto, G., Polo, J., Gueymard, C., Ibarra, M., ... Marzo, A. (2021). Advances in aerosol optical depth evaluation from broadband direct normal irradiance measurements. *Solar Energy*, 221(December 2020), 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.039>

Sepúlveda, S. (2014). Radiación solar : factor clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos solar radiation : key factor for design of radiación solar : factor clave para el diseño, 60–65.

Silveira, C., Martins, A., Gouveia, S., Scotto, M., Miranda, A. I., & Monteiro, A. (2021). The role of the atmospheric aerosol in weather forecasts for the Iberian Peninsula: Investigating the direct effects using the WRF-Chem model. *Atmosphere*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/atmos12020288>

Suarez, L., Castillo, L., Marin, M., Carrillo, G., Rimac, L., Pomalaya, J., & 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. *Mosaico Científico*, (August 2006), 36–41. <https://doi.org/275033085>

Sumalave, P. P. (2015). Modelos e instrumentos para estudios sobre espesor óptico de aerosoles y su relación con el forzamiento radiativo terrestre. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, Vol 5, Iss 2, Pp 205-210 (2015), 5(2), 205–210. <https://doi.org/10.18259/acs.2015030>

Vargas Gargate, P. (2009). Universidad Nacional Mayor de San Marcos Facultad de Ciencias Físicas Escuela Académico Profesional de Física Variabilidad espacial y temporal del espesor óptico de los aerosoles sobre Perú usando

imágenes de satélite MONOGRAFÍA Para optar el Título Profe.

- Victoria, C., & Estevan, R. (2021). Comportamiento de los aerosoles atmosféricos en el Observatorio de Huancayo durante los eventos de quema de biomasa del año 2019. *Revista de Investigación de Física*, 24(1), 40–54. <https://doi.org/10.15381/rif.v24i1.20246>
- Zeng, X., Zhao, N., & Ma, Y. (2018). Distributed modeling of surface solar radiation based on aerosol optical depth and sunshine duration in China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 121(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/2/022035>
- Zhang, M., Fan, R., Ma, Y., Gong, W., & Shi, Y. (2021). Atmospheric aerosol and black carbon optical properties and associated radiative forcing under haze conditions. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 259, 107390. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.107390>
- Zini, R. (2012). *Espessura Ópticas de Aerossóis de uma região rural do Rio Grande do Sul comparadas com uma região Industrial do Brasil*. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM ,RS).

ANEXOS

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente	<ul style="list-style-type: none"> • Variables meteorológicas • Radiación solar • Estado de la atmósfera
¿Es posible estimar el espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2021?	Estimar el espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2021.	Es posible estimar el espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2021.	Radiación solar	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos	Dependiente	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor óptico de aerosol estimado con el modelo IQC. • Espesor óptico de aerosol con el fotómetro CIMEL – 318T
¿Cómo influyen las variables meteorológicas en la estimación del espesor óptico de aerosol mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2021?	Determinar la influencia de las variables meteorológicas en la estimación del espesor óptico de aerosol mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2021.	Las variables meteorológicas influyen significativamente en la estimación del espesor óptico de aerosol mediante el modelo IQC en el distrito de Chupaca durante el año 2021.	Espesor óptico de aerosol	
¿Cuál será la variación temporal de la radiación solar recolectada por el radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao - Chupaca durante el año 2021?	Determinar la variación temporal de la radiación solar recolectada por el radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao - Chupaca durante el año 2021.	La radiación solar recolectada por el radiómetro instalado en el Observatorio de Huayao - Chupaca durante el año 2021 presenta valores máximos de 1350 Watts/m ² en los meses de julio y agosto.		
¿Cuál será el estado de la atmósfera según el índice de claridad en el distrito de Chupaca durante el año 2021?	Caracterizar el estado de la atmósfera según el índice de claridad en el distrito de Chupaca durante el año 2021.	El estado de la atmósfera según el índice de claridad en el distrito de Chupaca durante el año 2021 presenta días nublados, parcialmente nublados y despejados con valores de [0.3 a 0.6].		

RADIACION DIRECTA JULIO-2020

HORA	01-jul	02-jul	03-jul	04-jul	05-jul	06-jul	07-jul	08-jul	09-jul	10-jul	11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	15-jul
06:00:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:01:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:02:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:03:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:04:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	-0.169	0.338	0.3385	0.338	0.338
06:05:00	0.169	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:06:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:07:00	0.338	0.338	0.338	-0.169	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:08:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:09:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	-0.169	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:10:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:11:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:12:00	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.338	0.338	0.338
06:13:00	0.1695	0.3385	0.3385	0.3385	0	0.338	0.338	0.338	0.169	0.1695	0.3385	0.169	0.338	0.338	0.338
06:14:00	0.1695	0.1695	0.3385	0.1695	0.169	0.338	0.338	0.169	0.169	0.3385	0.3385	0.169	0.3385	0.3385	0
06:15:00	0	0	0.3385	0.3385	0.169	0.169	0.338	0.8455	0.338	0.3385	0.3385	0.338	0	0	0.338
06:16:00	0	0.338	0	0	0	0.338	0.338	0	0	0	0	0	0.3385	0.3385	0.338
06:17:00	0	0	0.3385	0.3385	0.338	0	0	0.507	0.676	0.3385	0	0.338	0	0	0
06:18:00	0.338	0.338	0	0	0	0	0.169	0	0	0	0	0	0	0.3385	0
06:19:00	0.338	0.3385	0.3385	0.169	0.338	0	0.169	0.338	0.338	0.338	0.3385	0.3385	0	0	0
06:20:00	0	0	0.338	0	0.338	0	0	0.3385	0.338	0.1695	0	0.338	0.338	0.169	0.1695

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

VII. DATOS GENERALES

- 5.1. Apellidos y Nombres: M.sc. Fredy Quintana Uscamayta
 5.2. Cargo e institución donde labora: Docente, Universidad Nacional Autónoma de Chota
 5.3. Especialidad o línea de investigación: Remedación -Contaminación de suelos, compostes de pólmero madera, Legislación Forestal y Ambiental.
 5.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Estado Atmosférico
 5.5. Autores del instrumento:
 • Alvarez Gravel, Saida
 • Huacho Chavez, Jony

IX. 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											

X. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

XI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

77.5

Lima, 20 de noviembre del 2021

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
INSTRUMENTO. 03			
ESTADO ATMOSFÉRICO			
Título:	"Estimación del espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en Chupaca-2020"		
Línea de investigación:	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático		
Facultad:	Ingeniería Ambiental		
Tesistas:	- Álvarez Gravel, Saida - Huacho Chavez, Jony		
Ficha:	Estado Atmosférico		
Equipo:	Análisis estadístico índice de claridad		
Mes	Días despejados (Adimensional)	Días parcialmente nublados (Adimensional)	Días nublados(Adimensional)
junio			
julio			

Firma del experto

 CIP: 133510
 DNI: 41488488
 Teléfono: 958570031

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Mg. Ingeniero Forestal y Ambiental Vicente Dávila Escurre
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Especialista Forestal - Dirección de Evaluación - Dirección General de Gestión del Conocimiento Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgos
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Estado Atmosférico
- 1.5. Autores del instrumento:
 - Álvarez Gravel, Saida
 - Huacho Chavez, Jony

2. 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. RELEVANCIA	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			

3. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
.

4. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95,5

Lima, 17 de Noviembre del 2021

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
INSTRUMENTO. 03			
ESTADO ATMOSFÉRICO			
Título:	"Estimación del espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en Chupaca-2020"		
Línea de investigación:	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático		
Facultad:	Ingeniería Ambiental		
Tesistas:	- Álvarez Gravel, Saida - Huacho Chavez, Jony		
Ficha:	Estado Atmosférico		
Equipo:	Análisis estadístico índice de claridad		
Mes	Días despejados (Adimensional)	Días parcialmente nublados (Adimensional)	Días nublados(Adimensional)
Junio			
Julio			

Instrumentos de validación. 3



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Mg. Sc Freddy Pillpa Aliaga
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y gestión de los recursos naturales
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Variables meteorológicas
- 1.5. Autores del Instrumento:
 - Alvarez Gravel, Saida
 - Huacho Chavez, Jony

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 adecuadas 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:

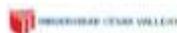
- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

93.5

Huancayo, 12 de Noviembre del 2021



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	INSTRUMENTO. 01		
	VARIABLES METEOROLÓGICAS		
Título:	"Estimación del espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en Chapaca-2020"		
Línea de investigación:	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático		
Facultad:	Ingeniería Ambiental		
Teorías:	<ul style="list-style-type: none"> - Alvarez Gravel, Saida - Huacho Chavez, Jony 		
Ficha:	Variables meteorológicas		
Equipos:	Estación SENAMHI - IGP		
Mes	Presión Atmosférica (mbar)	Ozono (cm)	Agua precipitable (cm)
Junio			
Julio			

Firma del experto

CIP: 196097
DNI: 41400408
Teléfono 950570031

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
4.1. DATOS GENERALES

- 4.2. Apellidos y Nombres: Mg. Sc Freddy Pillpa Aliaga
 4.3. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
 4.4. Especialidad o línea de investigación: Calidad y gestión de los recursos naturales
 4.5. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Radiación solar
 4.6. Autores del Instrumento:
- Álvarez Gravel, Saida
 - Huacho Chavez, Jony

V. 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	

VI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

VII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

93.5

Lima, 12 de Noviembre del 2021

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	INSTRUMENTO. 02	
	RADIACIÓN SOLAR	
Título:	"Estimación del espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en Chusaca-2020"	
Línea de investigación:	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático	
Facultad:	Ingeniería Ambiental	
Testistas:	- Álvarez Gravel, Saida - Huacho Chavez, Jony	
Ficha:	Radiación Solar	
Equipo:	Sensor BPS	
Mes	Radiación Global (Watts/m²)	Radiación Difusa (Watts/m²)
Junio		
Julio		



CIP:196897
 DNI:41404488
 Teléfono:958570031

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
VIII. DATOS GENERALES

- 8.1. Apellidos y Nombres: Mg. Sc Freddy Pillpa Aliaga
 8.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
 8.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y gestión de los recursos naturales
 8.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Estado Atmosférico
 8.5. Autores del Instrumento:
- Alvarez Gravel, Saida
 - Huacho Chavez, Jony

IX. 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	

X. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

XI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

93.5

Lima, 12 de junio del 2021

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	INSTRUMENTO. 03		
	ESTADO ATMOSFÉRICO		
Título:	"Estimación del espesor óptico de aerosol a partir de datos de radiación solar mediante el modelo IQC en Chupaca-2020"		
Línea de investigación:	Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático		
Facultad:	Ingeniería Ambiental		
Tesistas:	- Álvarez Gravel, Saida - Huacho Chavez, Jony		
Ficha:	Estado Atmosférico		
Equipo:	Análisis estadístico índice de claridad		
Mes	Días despejados (Adimensional)	Días parcialmente nublados (Adimensional)	Días nublados(Adimensional)
Junio			
Julio			



 Firma del experto

 CIP: 196897
 DNI: 41488488
 Teléfono: 958570031