UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Evaluación de la longitud de la capa de mezcla y su relación con la calidad del aire en la ciudad de Cusco - Perú durante el 2021

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Katiusca Flores Valencia
Karen Jhadyn Puris Tovalino

Asesor:

PhD. Alex Ruben Huaman De La Cruz

Lima, diciembre de 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Alex Ruben Huaman De La Cruz, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"Evaluación de la longitud de la capa de m0ezcla y su relación con la calidad del aire en la ciudad de Cusco - Perú durante el 2021"** de los autores Katiusca Flores Valencia y Karen Jhadyn Puris Tovalino tiene un índice de similitud de 18 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 26 días del mes de diciembre del año 2023.

PhD. Alex Ruben Huaman De La Cruz

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **26 días** día(s) del mes de **diciembre** del año 2023 siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio y el Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, y el asesor **Dr. Alex Ruben Huaman De la Cruz**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de la longitud de la capa de mezcla y su relación con la calidad del aire en la ciudad de cusco - Perú durante el 2021**"**

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **KATIUSCA FLORES VALENCIA**

……b) **KAREN JHADYN PURIS TOVALINO**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**
(Nombre del Título profesional)

con mención en…….....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): …… **KATIUSCA FLORES VALENCIA** ……

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): …… **KAREN JHADYN PURIS TOVALINO** ……

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga		Secretario Ing. Orlando Alan Poma Porras
Asesor Dr. Alex Ruben Huaman De la Cruz	Miembro Mg. Joel Hugo Fernández Rojas	Miembro Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Candidato/a (a) Katiuska Flores Valencia		Candidato/a (b) Karen Jhadyn Puris Tovalino

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios por todas le bendiciones que nos da día a día.

Al PhD. Alex Ruben Huaman De La Cruz por su orientación en el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Peruana Unión por ser nuestra alma mater.

Y a todas las personas que impulsaron esta investigación.

Dedicatoria de Katiusca:

A mis papás, Alexander Flores y Betty Valencia, por ser mi ejemplo de perseverancia y dedicación, por tanto amor y apoyo incondicional que me dan desde que nací, por la educación que me dieron y porque gracias a ellos hoy soy quien soy.

A mi hermana, Gianella Flores, por ser mi mejor amiga y cómplice y por motivarme e impulsarme en cada paso que doy.

Dedicatoria de Karen:

A mi madre Margot Tovalino por ser mi soporte y un gran ejemplo de lucha y perseverancia, a mis padrinos Rodolfo Zevallos y Carmen Lligua por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis abuelitos que desde cielo que guían mis pasos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 4

2. METODOLOGÍA 5

2.1. Lugar de estudio 5

2.2.1. Estimación de la cuenca atmosférica 7

2.2.2. Estimación de la capa de mezcla (ML) atmosférica 8

2.2.3. Análisis de escenarios 11

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES 12

3.1. Estimación de la cuenca atmosférica de la provincia de Cusco 12

3.2. Análisis de la estimación de la capa de mezcla atmosférica 13

3.3. Análisis meteorológico de la capa de mezcla 16

4. CONCLUSIONES 24

5. REFERENCIAS 25

EVALUACIÓN DE LA LONGITUD DE LA CAPA DE MEZCLA Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CUSCO - PERÚ DURANTE EL 2021

Evaluation of the length of the Mixed Layer and its relationship with Air Quality in the city of Cusco - Peru during 2021

Katiusca Flores VALENCIA[1,*], Karen Jhadyn Puris TOVALINO[1],

[1] Universidad Peruana Unión, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.

Autores: katiuscaflores50@gmail.com karenpuris1998@gmail.com

RESUMEN

Cusco es considerada una ciudad altoandina, rodeada de montañas, por lo que posee una topografía compleja; la dirección predominante de vientos es de Sur-Este a Nor-Oeste, lo que provoca que los contaminantes sean conducidos hacia el Centro Histórico. El presente artículo evaluó la variación en la altura de capa de mezcla atmosférica, donde se dispersan los contaminantes; y su relación con las posibles condiciones de calidad del aire en Cusco durante el año 2021. Para este estudio se generaron datos meteorológicos mediante el modelo numérico WRF, se estimó la cuenca atmosférica de la ciudad y analizó las variables meteorológicas asociadas a los meses de menor altura de la capa de mezcla. Los resultados muestran que la cuenca atmosférica de Cusco presenta dimensiones irregulares por la orografía de las elevaciones de la zona. La evaluación de la altura capa de mezcla muestra que los meses de mayo, junio y julio presentan las menores alturas sobre la superficie, con valores promedio diarios entre 40m a 460m. Además, se determinó que los factores meteorológicos asociados a estos meses son la menor temperatura del aire con un valor promedio de 4.5° C, bajas velocidades del viento promedio con un valor de 0.7 m/s, altos niveles de la presión atmosférica con un valor promedio de 653 mb, bajo flujo de calor sensible con un valor promedio de 119 W/m^2 y una alta humedad relativa del aire de 82%. Finalmente, se determinó que, en los meses mencionados, entre un horario de 8:00 pm a 5:00 am existe mayor probabilidad de estar expuestos a un aire con una inadecuada calidad para la salud humana, lo cual afectaría directamente a los habitantes de la provincia de Cusco.

Palabras clave: Capa de mezcla, variables meteorológicas, cuenca atmosférica, ciudad de Cusco, calidad de aire.

ABSTRACT

Cusco is considered a high Andean city, surrounded by mountains, which gives it a complex topography; the prevailing wind direction is from Southeast to Northwest, causing pollutants to be directed towards the Historic Center. This article evaluated the variation in the height of the atmospheric mixing layer, where pollutants are dispersed, and its relationship with the possible air quality conditions in Cusco during the year 2021. For this study, meteorological data were generated using the WRF numerical model, the atmospheric basin of the city was estimated, and the meteorological variables associated with the months of lower mixing layer height were analyzed. The results show that the atmospheric basin of Cusco has irregular dimensions due to the orography of the elevations in the area. The evaluation of the mixing layer height shows that the months of May, June, and July present the lowest heights above the surface, with daily average values ranging from 40m to 460m. Additionally, it was determined that the meteorological factors associated with these months are the lowest air temperature with an average value of 4.5°C, low average wind speeds with a value of 0.7 m/s, high levels of atmospheric pressure with an average value of 653 mb, low sensible heat flux with an average value of 119 W/m2, and high relative humidity of 82%. Finally, it was determined that during the mentioned months, between the hours of 8:00 pm and 5:00 am, there is a higher probability of being exposed to air with inadequate quality for human health, which would directly affect the inhabitants of the Cusco province.

Key words: Mixed layer, meteorological variables, atmospheric basin, city of Cusco, air quality.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un riesgo medioambiental para la salud humana en países desarrollados y en vía de desarrollo de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se calcula que la contaminación del aire es causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cancerígenas (OMS, 2021).

Los contaminantes liberados a la atmósfera se mezclan, reaccionan y diluyen en el aire, en una capa atmosférica denominada capa de mezcla (ML), que varía de unos pocos cientos de metros a dos o tres kilómetros de altitud. El espesor de la capa de mezcla varía durante el día, desde un valor mínimo en las primeras horas de la mañana hasta un valor máximo justo antes de la puesta del sol, de igual manera esta capa varía de un día a otro, con condiciones atmosféricas estables o inestables y con la velocidad a la que se recibe el aislamiento. Es importante estimar la capa de mezcla (ML) porque junto con los inventarios de emisiones y el monitoreo atmosférico, brindan información base para la toma de decisiones y el establecimiento de políticas ambientales (Trejo & Villagómez, 2012).

Las ciudades altoandinas enfrentan problemas de calidad del aire debido a diversas fuentes de emisiones contaminantes, como la quema de combustibles fósiles, la actividad minera y la quema de residuos. Estas emisiones tienen un impacto negativo en el medio ambiente y la salud, además se evidenció su incremento en Latinoamérica durante los últimos 25 años (Gonzales et al., 2014) (Cohen et al., 2017). Al mismo tiempo, el crecimiento urbano sin planificación adecuada y la falta de medidas regulatorias en la industria contribuyen a intensificar la contaminación del aire en estas zonas. En consecuencia, la exposición prolongada a contaminantes en el aire puede generar efectos

graves en la salud, especialmente en personas vulnerables, afectando su sistema respiratorio, cardiovascular y neurológico (Oyarzún & Valdivia, 2021) (OPS, 2018).

Gil (2018) realizó un estudio de calidad de aire en cuenca atmosférica del Cusco en el que se analizó las principales fuentes de emisión tomando referencia el inventario de emisiones de GESTA de 2004, concluyendo que el parque automotor e industrias se incrementaron en relación al crecimiento poblacional que a su vez refleja el ascenso del volumen de emisiones, siendo la de mayor predominancia el PM10.

Cusco tiene un alto porcentaje de población urbana (96.7%). Reconocida mundialmente por su cercanía al complejo arqueológico de "Machu Picchu", está ubicada en las estribaciones de la faja subandina de la Cordillera Vilcabamba, posee una topografía accidentada, debido a colinas onduladas, quebradas, valles y altas cumbres, sus climas dominantes son semifrígido lluvioso y semiseco frío, además de producirse eventos climatológicos extremos que afectan el desarrollo económico y social de Cusco. Dadas sus características meteorológicas, topográficas y su crecimiento poblacional, este núcleo urbano representa un área potencial para evaluar la longitud de la capa de mezcla atmosférica y determinar su relación con la calidad de aire, por lo cual se realizó la delimitación de la cuenca atmosférica, la evaluación de la longitud de la capa de mezcla (ML), el análisis de parámetros meteorológicos y la relación entre la altura de la capa de mezcla (ML) y la calidad de aire en Cusco, investigación que contribuirá en la gestión integrada, sostenible y ambiental de Cusco (Gobierno Municipal de Cusco, 2016).

2. METODOLOGÍA

2.1. Lugar de estudio

La provincia de Cusco tiene una extensión de 71 987 Km^2, se encuentra entre los 3120 m.s.n.m. y 4590 m.s.n.m. de altitud, en las estribaciones de la franja sub andina de la

cordillera Oriental (Gobierno Municipal de Cusco, 2016). Presenta 2 cuencas hidrográficas: Pampas-Apurímac, Vilcanota-Urubamba, las cuales están formadas por 5 ríos con una gran biodiversidad acuática. Orográficamente se encuentra atravesada por dos cordilleras Vilcanota y Vilcabamba, tiene tres lagunas principales: la laguna de mayor altitud es Sibinacocha ubicada a 4865 m.s.n.m., la geografía montañosa hace de este lugar una zona megadiversa en flora y fauna (Machu Picchu Terra, 2021). El clima de Cusco según la Clasificación de Warren Thornthwaite, es lluvioso y templado, con deficiencia de humedad en otoño e invierno (SENAMHI, 2020). La temperatura promedio generalmente varía de 0°C a 19°C, las precipitaciones ocurren en verano por la condensación del vapor del aire que proviene de la Amazonía, este al elevarse libera gran parte de humedad sobre todo en las montañas y valles interandinos (Gobierno Municipal de Cusco, 2016). La ciudad de Cusco posee una topografía accidentada, debido a sus colinas onduladas, quebradas, valles y altas cumbres, está conformada por ocho distritos: Santiago, Wanchaq, Poroy, Ccorca, Saylla, San Sebastián, San Jerónimo y Cusco. La provincia de Cusco tiene un alto porcentaje de población urbana (96.7%) con 432 662 habitantes, la cual se ha incrementado en un 24% entre 2007-2017 (Gobierno Municipal de Cusco 2016, INEI 2018).

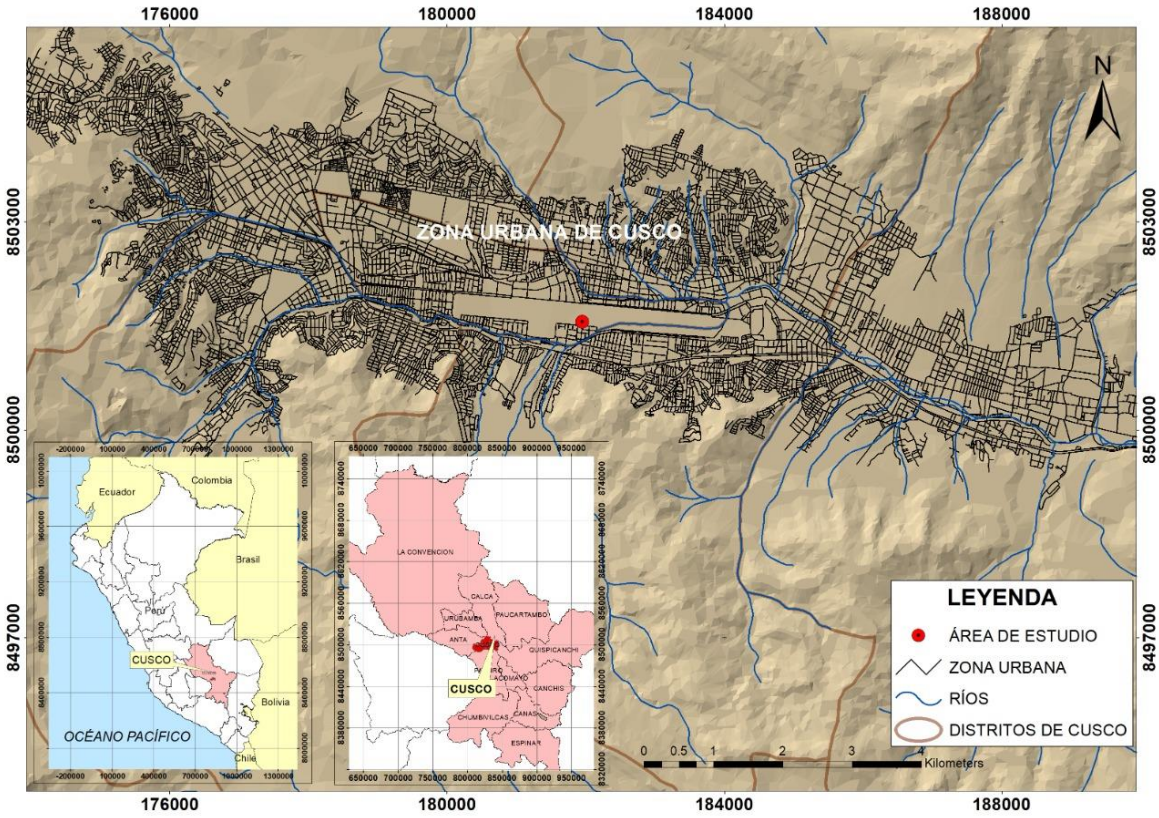


Fig. 1. Mapa de ubicación de la provincia de Cusco

2.2. Metodología

A partir de los datos generados por el modelo WRF e imágenes de elevación digital de la superficie, se desarrolló una estimación de la cuenca atmosférica sobre la provincia de Cusco, así como la estimación de la capa de mezcla sobre la superficie y los factores meteorológicos asociados a su variación durante el año 2021.

2.2.1. Estimación de la cuenca atmosférica

Las cuencas atmosféricas son regiones geográficas en las que el agua proveniente de la lluvia y la nieve fluyen hacia un punto común, un río o un lago. La topografía del terreno y las condiciones meteorológicas son factores clave que influyen en el flujo del agua y en la dispersión de los contaminantes atmosféricos en estas zonas. Los contaminantes derivan de diversas fuentes, como la quema de combustibles fósiles, las emisiones industriales y

el parque automotor. La concentración de contaminantes atmosféricos en las cuencas atmosféricas puede ser mayor que en otras áreas, debido a la inversión térmica, un fenómeno meteorológico en el que una capa de aire cálido queda atrapada debajo de una capa de aire frío(Rodríguez, Quintero, González, Cuesta, & Sanchéz, 2015). La inversión térmica puede atrapar los contaminantes cerca del suelo, lo que aumenta su concentración y reduce la calidad del aire. La topografía del terreno puede afectar la dispersión de los contaminantes en la cuenca atmosférica al cambiar la dirección y velocidad del viento (Gramsch et al., 2014).

Para la determinación de la cuenca atmosférica circundante al área urbana de la provincia de Cusco que se muestra en la **figura 2**, se determinó a partir de imágenes de elevación digital de la misión STRM3 Global de la NASA con una resolución de 90 m, considerando el nivel mínimo de altura sobre el nivel del mar que existe en el área urbana, los niveles de altitud que presenta la orografía alrededor de la ciudad, y el promedio de las alturas mínimas de la capa de mezcla obtenidas mediante estimaciones.

2.2.2. Estimación de la capa de mezcla (ML) atmosférica

La altura de la capa de mezcla climática es un parámetro importante en la comprensión de la calidad del aire, el espesor de este estrato, la dispersión de contaminantes y la predicción del clima, se define como la altura hasta la cual la atmósfera está bien mezclada, lo que significa que la concentración de gases y partículas es relativamente uniforme en esta capa (Arya, 1988). Para determinar la altura de la capa de mezcla (ML) se utilizan diversas técnicas, la comúnmente empleada es la medición de perfiles verticales de la temperatura, parámetros de turbulencia y el vapor de agua mediante el uso de radiosondas los cuales son procesados mediante el método de gradientes (Moya et al., 2020; Ortega, 2009). Por otro lado, surge como alternativa viable generar modelos

numéricos a partir de variables metereológicas para la estimación de la estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla (Rodríguez et al., 2015).

Para la determinación de la altura de la capa de mezcla atmosférica se utilizó el modelo numérico WRF (Weather Research and Forecasting) Versión 4.2, con una resolución espacial de 1 km y temporal de una hora correspondiente al año 2021 en las coordenadas geográficas 13.532 Sur y 71.935 Oeste, punto céntrico y representativo del área urbana de la provincia de Cusco, mediante un conjunto de ecuaciones que representan el cálculo de la longitud de mezcla, altura de la capa de mezcla, velocidad de fricción, turbulencia de mezcla y tasa de enfriamiento radiativo principalmente, que se describen a continuación:

La longitud de mezcla se define como la distancia a la que la turbulencia en la atmósfera mezcla las propiedades, como la temperatura y la humedad. Además, esta se puede estimar a partir de la teoría de la turbulencia y la relación entre la turbulencia y la estabilidad atmosférica (Stull, 1988). El cálculo de la longitud de mezcla se desarrolló a partir de la siguiente ecuación base:

$$L = c * h$$

Donde:

L: Longitud de la mezcla en (m)

h: Altura de la capa de mezcla en (m)

c: Coeficiente que depende de la turbulencia y la estabilidad atmosférica.

La altura de la capa de mezcla (ML) se refiere a la altura en la que ocurre la mezcla turbulenta en la atmósfera. La fórmula para calcular la altura de la capa de mezcla se basa en la teoría de la capa límite planetaria y la relación entre la longitud de mezcla y la altura de la superficie (Zhang et al., 2014). Esta se desarrolló partir de la siguiente ecuación base:

$$h = z * \left(1 + \left(\frac{z}{L}\right)\right)^{0.5}$$

Donde:

h: Altura de la capa de mezcla en (m)

z: Altura de la superficie en (m)

L: Longitud de mezcla en (m)

La velocidad de fricción se utiliza para describir la turbulencia en la capa límite planetaria. La ecuación para calcular la velocidad de fricción se basa en la teoría de la capa límite planetaria y la relación entre la velocidad de fricción y la altura de la capa de mezcla (Edokpa & Weli, 2017). El cálculo de la velocidad de fricción se desarrolló a partir de la siguiente ecuación base:

$$u^* = (g * h)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

u*: Velocidad de fricción

g: Aceleración gravitatoria terrestre 9.807 m/s^2

h: Altura de la capa de mezcla en (m).

La turbulencia de mezcla se utiliza para describir la mezcla turbulenta en la atmosfera. La turbulencia de mezcla se puede estimar a partir de la teoría de la turbulencia y la relación entre la velocidad de la turbulencia y la longitud de la mezcla (Mellor & Yamada, 1982). El cálculo de la turbulencia de mezcla se desarrolló a partir de la siguiente ecuación base:

$$Kz = (u' * L)^2$$

Donde:

Kz: Turbulencia de mezcla

u': Velocidad de la turbulencia en (m/s)

L: Longitud de mezcla en (m).

La tasa de enfriamiento radiativo se utiliza para describir la pérdida de energía por radiación en la atmósfera. La fórmula para calcular la tasa de enfriamiento radiativo se basa en la ley de Stefan-Boltzmann y la emisividad atmosférica. (Ramanathan & Coakley, 1978) El cálculo de la tasa de enfriamiento radiativo se desarrolló a partir de la siguiente ecuación base:

$$R = eps * sigma * T^4$$

Donde:

R: Tasa de refuerzo radiativo

eps: Emisividad

sigma: Constante de Stefan-Boltzmann

T: Temperatura

2.2.3. Análisis de escenarios

Se consideró la evaluación de la variación de la capa de mezcla (ML) durante el periodo de doce meses a partir del cual se destacarán aquellas que más influyen en la calidad de aire. Adicional a eso se determinó a partir del modelo numérico las variables velocidad de viento (m/s), dirección de viento (0° a 360°), temperatura (C°), precipitación (mm/h), presión (mb), flujo de calor sensible (W/m^2) con una resolución horaria.

Se analizó la variación temporal de los parámetros meteorológicos, temperatura del aire, presión atmosférica, flujo de calor sensible y velocidad de viento, y se compararon tendencias de comportamiento con la variación de la altura en la capa de mezcla, la cual es de interés debido a su influencia en la calidad de aire de la provincia de Cusco. Posterior a esto se desarrolló correlaciones entre la altura de la capa de mezcla y las variables

meteorológicas como temperatura del aire, humedad y velocidad de viento, para los meses donde esta presenta las menores alturas durante el año con el propósito de establecer el nivel de altura de la capa de mezcla donde ocurre el mayor número de frecuencias de relación entre estas variables.

Finalmente se seleccionó del registro de horas en donde la altura de capa de mezcla presenta alturas inferiores a los 100 m, para un posterior análisis de las condiciones meteorológicas asociadas a éstas y determinar los horarios potenciales con calidad del aire deficiente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Luego de analizar las imágenes de elevación digital se estimó la cuenca atmosférica de la zona urbana de la provincia de Cusco, se determinó la variación de la capa de mezcla durante el 2021 a partir de los datos generados por el modelo numérico, se determinaron los meses de mayor y menor altura de la capa de mezcla, generando un mayor análisis en los meses de menor altura y asociando los factores meteorológicos relacionados a esta, para finalmente determinar escenarios donde la altura de capa de mezcla representa mayor riesgo para la salud humana.

3.1. Estimación de la cuenca atmosférica de la provincia de Cusco

A continuación, en la **figura 2** se muestra el resultado de la estimación de la cuenca atmosférica de Cusco, mediante un modelo de elevación digital tridimensional, con dimensiones de 10 km por 10 km de extensión siendo este representado con las coordenadas geográficas 13.532° Sur y -71.935° Oeste correspondiente al punto céntrico del área urbana de provincia de Cusco se observa isolíneas de elevación de terreno, donde el menor nivel es 2966 m.s.n.m. y el mayor nivel es 4500 m.s.n.m., obteniendo una diferencia de elevaciones de 1534 m de altitud sobre el nivel del suelo, también se

presencia elevaciones geográficas importantes al Noreste y Noroeste, y elevaciones ligeramente menores al Sureste y Suroeste.

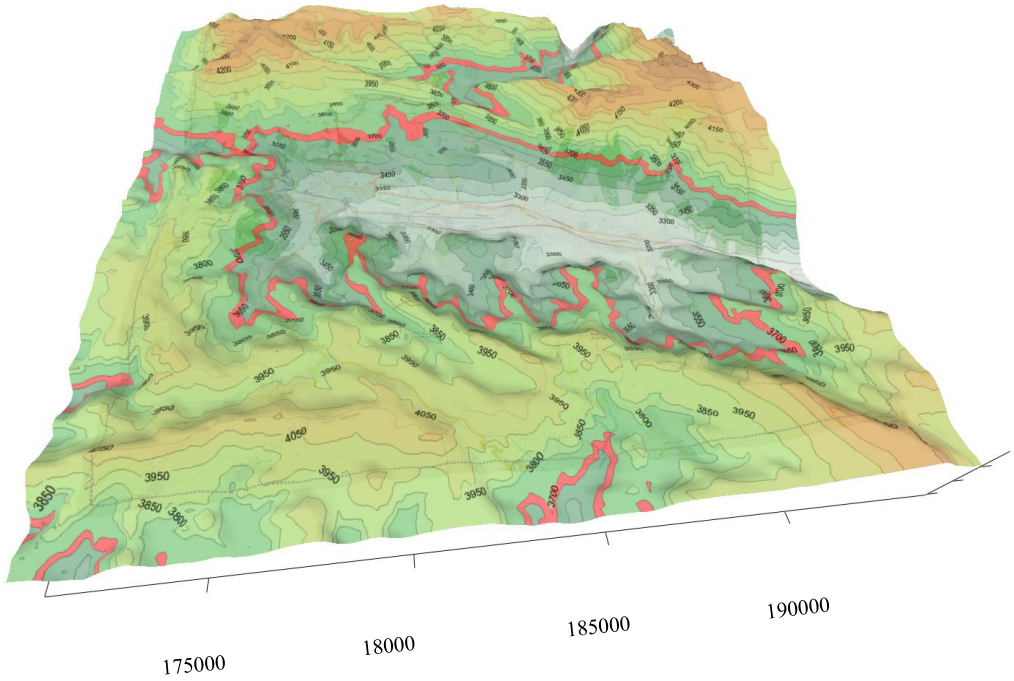


Fig. 2. Cuenca atmosférica estimada del área urbana de la provincia de Cusco.

Se aprecia que entre las isolíneas 3650 m.s.n.m y 3700 m.s.n.m presenta un color rojo intenso que indica la altura máxima promedio de la cuenca atmosférica, determinada a partir de los resultados de modelo numérico los cuales se explican a detalle en la siguiente sección. La cuenca atmosférica presenta dimensiones irregulares determinadas por la orografía de las elevaciones de la zona, las mismas que rodean tanto en el Norte, Sur y Oeste de la ciudad, comprendiendo una altura mínima promedio sobre el nivel de suelo de 350 m y máxima de 700 m.

3.2.Análisis de la estimación de la capa de mezcla atmosférica

A continuación, en las **figuras 3 y 4** se muestra la variación diaria máxima y minina de la altura de la capa de mezcla sobre el nivel del suelo de Cusco. Además, se observa en la **figura 3** la variación diaria de los valores máximos alcanzados durante los doce meses oscilando entre los 1000 m a 3300 m. Durante el primer y segundo trimestre del

año el promedio de la altura máxima se encuentra entre los 1700 m a 2000 m, en el tercer y cuarto trimestre se alcanzan valores de 2400 m y disminuyen hasta los 2100 m, en el último mes del año asciende a 2500 m.

También se muestra que la altura máxima de capa de mezcla corresponde a los meses de octubre, noviembre y diciembre.

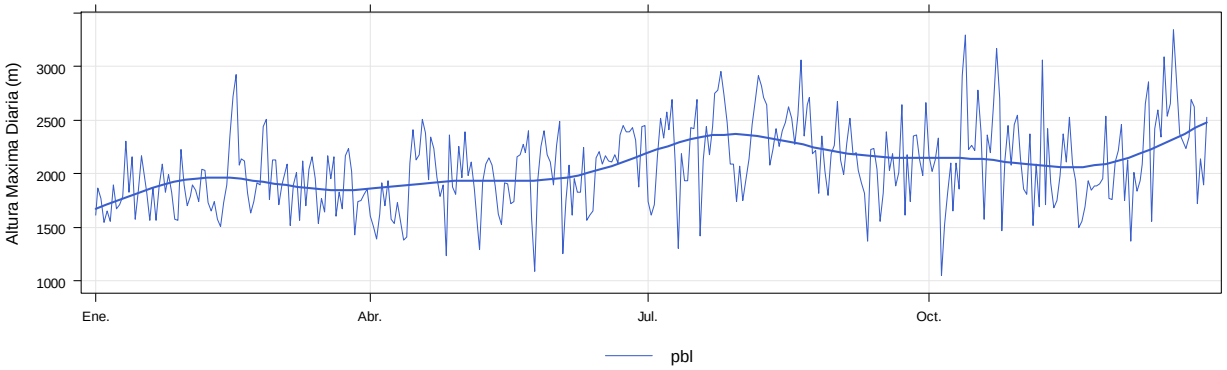


Fig. 3. Variación diaria máxima de la altura (m) de la capa de mezcla de la provincia de Cusco.

En la **figura 4**, se observa la variación diaria de los valores mínimos alcanzados por la altura en metros sobre el nivel del suelo de la capa de mezcla durante los doce meses, los valores diarios continuos oscilan entre los 40 m a 460 m. Durante el primer y segundo trimestre del año el promedio de la altura mínima diaria desciende continuamente de 310 m hasta por debajo de 100 m, alcanzando niveles mínimos en el mes de julio, para luego ascender de 120 m a 280 m entre agosto y octubre, estabilizándose en ese valor hasta inicios de diciembre, mes en el cual la altura mínima promedio diaria comienza a descender hasta los 240 m.

Además, se muestra que la altura mínima de la capa de mezcla corresponde a los meses de mayo, junio y julio.

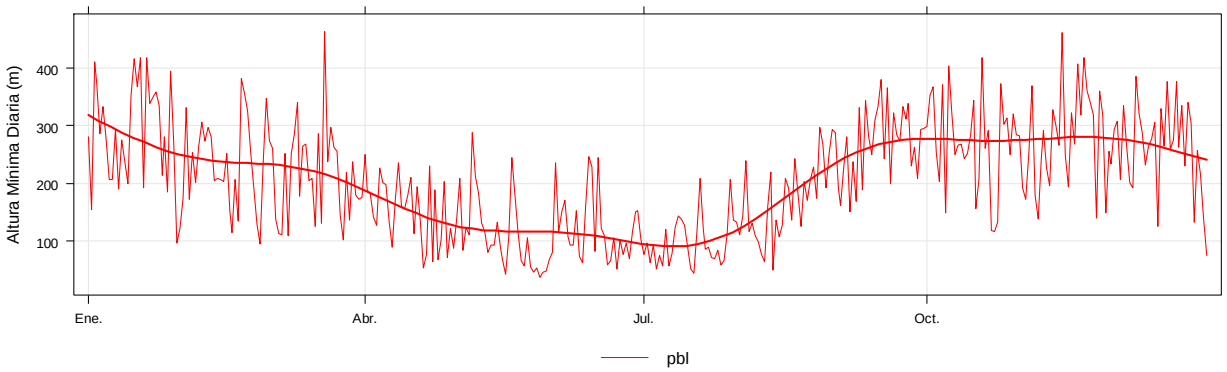


Fig. 4. Variación diaria mínima de la altura (m) de la capa de mezcla de la provincia de Cusco.

A continuación, en la **tabla II** se presenta los valores horarios mínimos y máximos de la altura de capa de mezcla, así como el promedio y la media mensual de esta.

Complementando con las **figuras 3 y 4**, observamos en la **tabla II** que las alturas horarias mínimas de la capa de mezcla se dan en los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto, sin embargo, la mediana nos indica que los meses de mayo, junio y julio son los que presentan el mayor número de horas con alturas mínimas de la capa de mezcla. Con respecto a las alturas máximas de la capa de mezcla los meses de octubre, noviembre y diciembre son los que evidencian una mayor altura horaria. Observando la media podemos indicar que la altura de la capa de mezcla posee sus menores niveles en los meses de mayo, junio y julio; y los mayores en octubre, noviembre y diciembre.

TABLA I. ALTURAS MENSUALES DE LA CAPA DE MEZCLA DE LA CIUDAD DE CUSCO DURANTE EL 2021.

Mes	Altura de la capa de mezcla Altitud (m) sobre la superficie			
	Min.	**Max.**	**Media**	**Mediana**
Enero	97	2304	824.3	614.5
Febrero	95	2924	846.5	603.5
Marzo	102	2234	766.5	560.5
Abril	53	2510	739.2	457.0
Mayo	36	2404	701.0	382.5
Junio	52	2488	721.9	386.0
Julio	44	2960	749.3	377.0
Agosto	50	3061	844.9	510.5
Setiembre	151	2674	895.4	597.0
Octubre	117	3292	937.2	691.0
Noviembre	138	3065	901.9	665.0
Diciembre	74	3347	968.2	645.0

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

Como se evidencia en la **figura 3 y 4** así como en la **tabla I**, la variación de la altura de la capa de mezcla, muestra resultados importantes en cuanto a la altura mínima con valores menores a los 100 m sobre la superficie, en los meses de mayo, junio y julio, lo cual podría estar generando las condiciones para una deficiente calidad del aire, al tener escasos metros de cobertura atmosférica se dificulta la dispersión de contaminantes, generando esto posibles impactos y efectos sobre la salud humana, dependiendo del tiempo y horario de exposición.

3.3. Análisis meteorológico de la capa de mezcla

Como se presentó en las **figuras 3 y 4** la menor altura de capa de mezcla se da en los meses de mayo, junio y julio, a continuación, se presenta los factores meteorológicos asociados a estos escenarios.

La **figura 5** presenta la variación promedio diaria de la temperatura en grados Celsius (°C), se observa una variación en la temperatura promedio entre 8 °C a 11 °C durante el

año. En el primer trimestre la temperatura varía entre 10 °C a 9.5 °C, en el segundo trimestre la temperatura desciende continuamente evidenciando los valores más bajos del año llegando a 8 °C, para el tercer trimestre se observa un incremento en la temperatura que alcanza los 10.5 °C, Finalmente en el cuarto trimestre la temperatura sigue incrementándose, llegando a 11.2°C. Se observa en la **figura 5** que la temperatura promedio diaria presenta valores mínimos anuales durante mayo, junio, julio y parte de agosto, coincidiendo con los meses donde se presenta la menor altura en la capa de mezcla, lo cual indica que la variación de la temperatura del aire presenta una tendencia similar a la variación de la altura de la capa de mezcla atmosférica presentada en la **figura 4**, esto se debería a que la temperatura del aire está asociada a la dinámica de los gases que conforman la atmosfera, una mayor temperatura hará que la capa de mezcla sea de mayor longitud al expandirse los gases, y una menor temperatura generará que los gases se contraigan y la capa de mezcla sea de menor longitud.

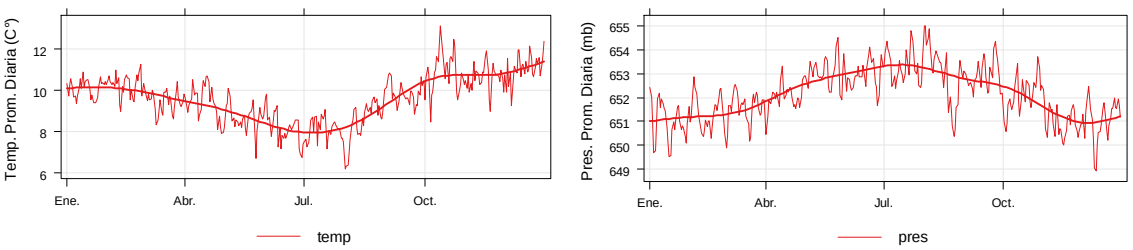


Fig. 5 y 6. Variación promedio diaria de la temperatura del aire en (°C) (Izquierda) y del nivel de presión atmosférica en la superficie en (mb) (Derecha) de la provincia de Cusco.

La **figura 6** muestra la variación promedio diaria de la presión atmosférica sobre la superficie en milibares (mb), se observa una variación en el nivel de presión promedio durante el primer y segundo trimestre hasta el mes de julio de 651 mb a 653 mb, luego se tiene un descenso durante el tercer trimestre, hasta finales del mes de noviembre e inicios de diciembre llegando a un valor mínimo de 650.9 mb, finalmente alcanza un valor de 651.1 mb. Además se observa en la **figura 6** que los meses de mayo, junio, julio y parte

de agosto presentan los mayores niveles de presión atmosférica promedio durante el año, coincidiendo con los meses donde la altura de la capa atmosférica es menor, estos mayores valores en la presión atmosférica nos indicarían que la columna de gases que se encuentran sobre la superficie tiene una mayor masa, pero debido a que existe una menor altura en la capa de mezcla los gases de la atmosfera se encuentran en mayor concentración, lo que podría indicar un escenario potencial con acumulación de agentes contaminantes en la atmosfera.

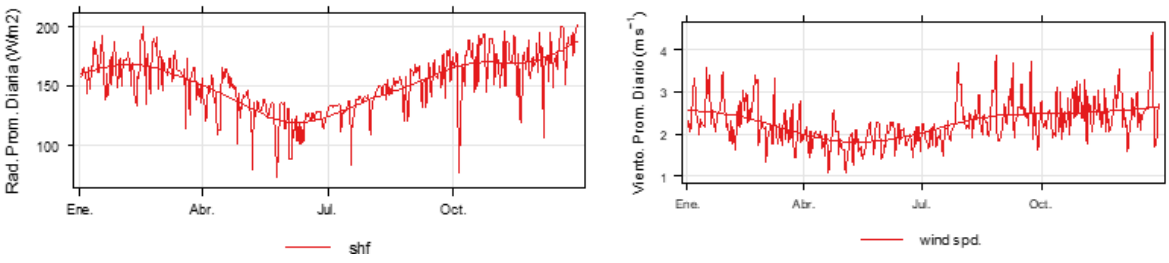


Fig. 7 y 8. Variación promedio diaria del flujo de calor sensible sobre la superficie en (W/m^2) (Izquierda) y velocidad del viento en la superficie en (m/s) (Derecha) de la provincia de Cusco.

La **figura 7** presenta la variación promedio diaria del flujo de calor sensible sobre la superficie, en Watss por cada metro cuadrado de superficie (W/m^2) que en palabras sencillas representa la transferencia de calor desde la superficie de la tierra hacia el aire superior, se observa una variación en el nivel promedio del flujo de calor sensible durante el año de 119 W/m^2 a 189 W/m^2, presentando en el primer trimestre un valor de 161 W/m^2 a 169 W/m^2, para luego descender continuamente llegando al nivel más bajo en los primeros días del mes de junio con un valor de 119 W/m^2, posteriormente se observa un incremento continuo durante los meses del tercer y cuarto trimestre hasta alcanzar un valor máximo de 189 W/m^2.

Observamos en la **figura 7**, que los meses de mayo, junio y julio, son los que presentan menores niveles de flujo de calor sensible sobre la superficie, coincidiendo con los meses

donde altura de la capa de mezcla atmosférica es menor, y también presentando una tendencia similar a la variación de la altura de la capa de mezcla atmosférica presentada en la **figura 4**, esto indicaría que la variación de altura de la capa de mezcla tiene una correlación positiva con la transferencia del flujo de calor sensible y que presenta menores valores en los meses mencionados debido a que una menor longitud de la capa de mezcla evita la adecuada transferencia de energía de la superficie a los niveles superiores en la atmosfera, generando que los gases presentes sobre la superficie no adquieran la energía suficiente para poder expandirse y desplazarse. En caso de presentar emisiones, estas posiblemente se concentren y exista mayor dificultad de dispersión.

La **figura 8** presenta la variación promedio diaria de la velocidad de viento en metros por segundo (m/s), se observa una variación durante el año de 1.8 m/s a 2.6 m/s, en el primer trimestre la velocidad inicial varía de 2.5 m/s a 2.0 m/s, en el segundo trimestre se presenta los niveles más bajos, con velocidades de 2.0 m/s en los primeros días de abril, hasta llegar al valor mínimo de 1.8 m/s a inicios de mayo, finalmente en el mes de junio y durante el tercer y cuarto trimestre asciende hasta 2.6 m/s.

Nótese en la **figura 8**, durante el periodo de abril, mayo y junio se presenta las velocidades de viento más bajas durante el año, evidenciando una tendencia similar a la altura mínima en la capa de mezcla, esto indicaría que el periodo de tiempo en que la altura de capa de mezcla presenta la menor altura sobre la superficie, el desplazamiento de las masas de aire que se encuentran bajo esta capa de mezcla presentan los valores mínimos siendo que el desplazamiento es influenciado directamente por la velocidad del viento, indicando que de haber emisiones en este periodo, existe una alta probabilidad de registrar mayores concentraciones de agentes contaminantes en el aire, debido a una deficiente dispersión por efecto del viento.

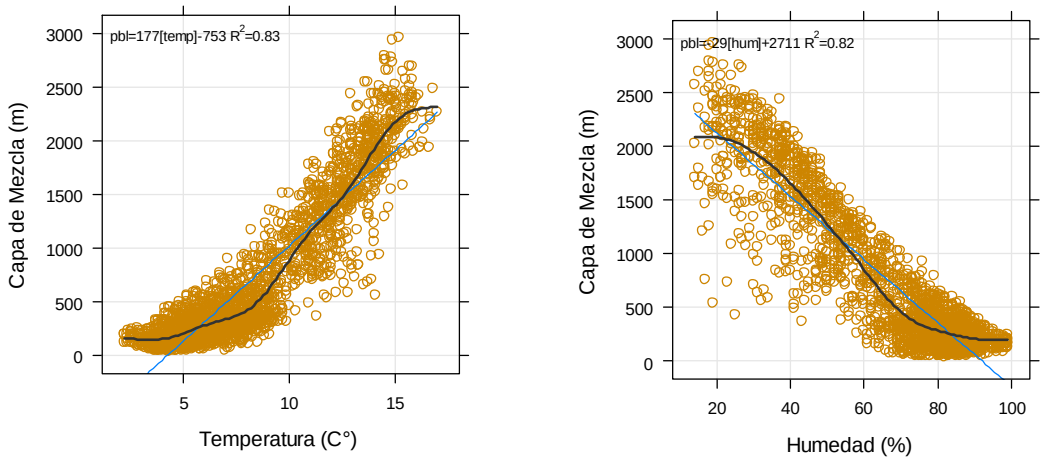


Fig. 9 y 10. Correlación entre variables meteorológicas de temperatura (Cº) y humedad (%) de la provincia de Cusco.

Se muestra que la menor altura de capa de mezcla se da en los meses de mayo, junio y julio, exponiendo tendencias similares para el mismo periodo de tiempo con el comportamiento promedio de las variables meteorológicas, temperatura del aire, la velocidad de viento y flujo de calor sensible, así como una relación con el nivel de presión atmosférica. A continuación, en las **figuras 9, 10 y 11** se presenta las alturas de la capa de mezcla horarias registradas en mayo, junio y julio, con relación a las variables, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad de viento.

La **figura 9** presenta la correlación entre la altura de la capa de mezcla (m) y la temperatura del aire (°C), de un total de 2208 horas pertenecientes a los meses de mayo, junio y julio, periodo de tiempo donde la altura de la capa de mezcla es menor durante el año, nótese valores máximos 3000 m y mínimos por debajo de los 50 m sobre la superficie, se observa una correlación positiva entre estas dos variables, se aprecia que a medida que la temperatura del aire desciende la altura de capa de mezcla también, presentando una mayor frecuencia de datos horarios por debajo de los 10°C y 500 m de altura sobre la superficie, indicando que un porcentaje importante de horas durante este periodo se encuentra en estas condiciones atmosféricas. Por otro lado, en la **figura 10** se muestra la correlación entre la altura de capa de mezcla (m) y la humedad relativa del aire (%), para

el mismo total de horas y periodo de tiempo, donde la altura registra la misma variación entre valores máximos y mínimos, sin embargo el comportamiento de la humedad relativa a medida que la capa de mezcla presenta una mayor longitud en altura, la humedad del aire es menor, evidenciando una correlación inversa entre estas dos variables, podemos observar que al igual que en la **figura 9**, un importante porcentaje de datos se encuentran por debajo de los 500 m de altura de la capa de mezcla con humedades relativas entre el 60% y 100%, indicando que mientras menor sea la altura de capa de mezcla, mayor será el porcentaje de humedad contenida en esta capa de aire.

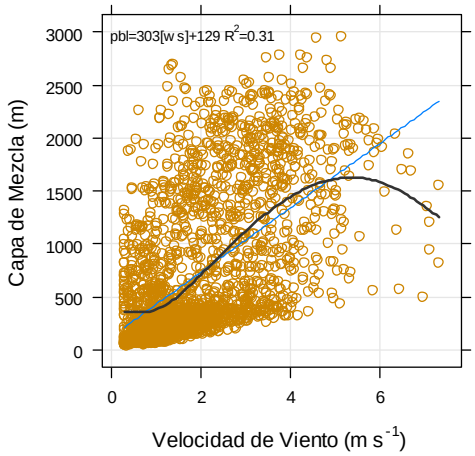


Fig. 11. Correlación de datos horarios entre la altura de la capa de mezcla (m) con velocidad del viento (m/s), durante los meses de mayo, junio y julio en la provincia de Cusco.

La **figura 11** presenta la correlación entre la altura de la capa de mezcla (m) y la velocidad del viento (°C), para el mismo total de horas y periodo de tiempo al igual que la **figura 9 y 10**, donde la altura de capa de mezcla registra la misma variación entre valores máximos y mínimos, presentando una correlación positiva entre estas variables, se observa que a mayor la altura de capa de mezcla, los registros horarios de la velocidad de viento en la superficie alcanzarán mayores valores, Así mismo como en la **figura 9** y 10, se evidencia un porcentaje importante de datos horarios en la velocidad del viento por debajo de los 500 m de la altura de capa mezcla, con valores entre 0 m/s y 4 m/s, indicando

que mientras menor sea el espesor en la capa de mezcla, el desplazamiento en las masas de aire es menor e incluso velocidades cercanas a 0 m/s podrían indicar una mayor probabilidad de calidad del aire deficiente.

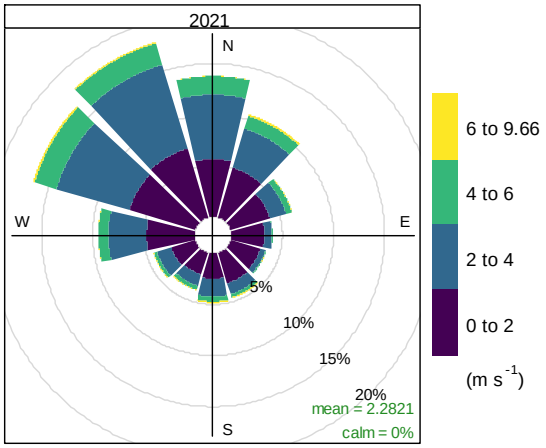


Fig. 12. Gráfico de rosa de vientos en (m/s) de la provincia de Cusco

La **figura 12** presenta mediante el grafico de rosa de vientos, la velocidad del viento en (m/s) y la dirección del origen, se observa que durante los doce meses el viento predominante proviene de Noroeste dirigiéndose hacia el Sureste, con velocidades de 0.1 m/s a 6 m/s, también se observa vientos con origen Sur, Sureste, Este y Oeste que representan un porcentaje mínimo, siendo estas variaciones no predominantes.

Con respecto al comportamiento horario del viento para un día promedio del año, se observa que durante las primeras 8 horas del día de 00:00 horas a 08:00 horas las velocidades de viento son mínimas oscilan entre 0.1 m/s a 2.0 m/s, con direcciones de viento variadas, entre las 10:00 horas y 12:00 horas del día la velocidad del viento registra entre 1 m/s a 5 m/s con dirección predominante Norte, durante las 13:00 horas y 19:00 horas el viento registra velocidades entre 2.0 m/s a 6.0 m/s, encontrándose las mayores velocidades entre las 15:00 horas y 18:00 horas, con dirección predominante Noroeste y Norte, durante las 20:00 horas a 24:00 horas la velocidad de viento se reduce a niveles

mínimos gradualmente, registrándose velocidades de 4.0 m/s a 0.1 m/s con dirección predominante Oeste.

TABLA II. ALTURAS HORARIAS MENORES A 100 M DE CAPA DE MEZCLA DE LA PROVINCIA DE CUSCO

Mes	Altura de la capa de mezcla Altitud (m) sobre la superficie			
	Min.	**Max.**	**Media**	**Mediana**
Enero	97	2304	824.3	614.5
Febrero	95	2924	846.5	603.5
Marzo	102	2234	766.5	560.5
Abril	53	2510	739.2	457.0
Mayo	36	2404	701.0	382.5
Junio	52	2488	721.9	386.0
Julio	44	2960	749.3	377.0
Agosto	50	3061	844.9	510.5
Setiembre	151	2674	895.4	597.0
Octubre	117	3292	937.2	691.0
Noviembre	138	3065	901.9	665.0
Diciembre	74	3347	968.2	645.0

Fuente: Elaborado por los autores de la investigación.

La **tabla II** presenta las alturas horarias de la capa de mezcla menores a 100 m sobre la superficie, resultado de la filtración de 8760 horas de registros, se observa que existen 8 meses del año donde la altura de la capa de mezcla registra una altura por debajo de los 100 m equivalentes a 178 horas registradas, con un alto potencial de generar un escenario con altas concentraciones de contaminantes en la atmosfera y generar una inadecuada calidad del aire, por tanto un posible impacto negativo sobre la salud humana de estar expuesto, sin embargo de estos 8 solo 3 meses (mayo, junio y julio) presentan el 85% de horas, registrando la menor altura de capa de mezcla en altas horas de la noche y las primeras horas de la madrugada, horas donde la actividad solar no está presente, con velocidades de viento mínimas de 0.72 m/s en promedio, lo que generaría que las masas de aire no tengan desplazamiento importante o sean muy mínimos, temperaturas del aire que oscilan los 4.5°C y humedades promedio cercanas al 85%. Durante este periodo de

tres meses se registran alturas mínimas por debajo de los 50 m sobre la superficie, alturas de alto riesgo para salud humana de estar expuesto a un aire de calidad inadecuada, siendo mayo el mes con las alturas mínimas de capa de mezcla registradas durante el año 2021, llegando a un valor de 37 m.

Como se ha presentado en los resultados de la variación de la altura de capa de mezcla sobre la provincia de Cusco, esta es variable durante el año, sin embargo, registra una menor altura en los meses de mayo, junio y julio, influenciada por una menor temperatura del aire, con respecto a la velocidad de viento en este periodo también se reduce debido a que la altura de la capa de mezcla es menor y la turbulencia en la mezcla disminuye coincidiendo con los resultados mostrados en (Wang, Li, & Zhou, 2015), en cuanto a la presión atmosférica la relación es inversa, ya que la altura de la capa de mezcla disminuye con la presión atmosférica debido a que la densidad del aire asciende, lo que a su vez aumenta la estabilidad atmosférica, disminuye la turbulencia y la mezcla (Salameh et al., 2020), con respecto a la humedad, la altura de la capa de mezcla disminuye con el aumento de esta, en cuanto al flujo de calor sensible la relación con la altura de la capa de mezcla es directa ya que al incrementarse el flujo de calor sensible, éste produce una mayor turbulencia y mezcla en la atmósfera (Chen, Miao, Tewari, Bao, & Kusaka, 2011).

4. CONCLUSIONES

Como se ha mencionado, el objetivo principal de esta investigación fue determinar la evaluación de la longitud de la capa de mezcla y su relación con la calidad de aire en Cusco, para lo cual, se delimitó la cuenca atmosférica que presenta dimensiones irregulares formadas por la orografía de las elevaciones de la zona, rodeada por estas tanto en el Norte, Sur y Oeste de la ciudad, con una base superficial de 2966 m.s.n.m. hasta los 3700 m.s.n.m. La evaluación de la capa de mezcla se realizó durante los doce meses del año 2021, a través de estimaciones con modelos numéricos, concluyendo que los meses

que presentan las mayores alturas sobre el nivel de la superficie son enero, febrero, marzo, abril, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre con valores promedio diarios entre los 1000 m a 3300 m, y los meses restantes presentan valores promedio diarios entre 40 m a 460 m. Se evidenció los factores meteorológicos tales como temperatura, flujo de calor sensible y velocidad de viento presentan correlación directa con la altura de la capa de mezcla, esta tuvo significancia en los meses de mayo, junio y julio, por otro lado la humedad relativa y presión atmosférica no mostraron una relación significativa. Durante este periodo se registraron temperaturas mínimas con un valor promedio de 4.5° C, niveles bajos en la velocidad del viento con un valor promedio de 0.7 m/s, altos niveles de la presión atmosférica promedio de 653 mb, bajo flujo de calor sensible con un valor promedio de 119 W/m^2, y una alta humedad relativa del aire de 82%. Al evaluar la variación de la altura de la capa de mezcla y determinar que los meses de mayo, junio y julio son los que presentan la menor altura de esta, se evidenció durante el periodo nocturno en el intervalo de tiempo de 8:00 pm a 5:00 am la dispersión de contaminantes no es favorable para la salud humana, lo cual impactaría negativamente en los 432662 habitantes de Cusco.

5. REFERENCIAS

Arya, P. (1988). Introduction to micrometerelogy. In *PHP Web Development with Macromedia Dreamweaver MX 2004* (Dmowska,Ho). International Geophysics Series. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0701-6_1

Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., … Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease

attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, *389*(10082), 1907–1918. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6

Edokpa, D. O., & Weli, V. E. (2017). An assessment of atmospheric boundary layer turbulence in Maiduguri, Nigeria. *Open Journal of Air Pollution*, *06*(02), 27–43. https://doi.org/10.4236/ojap.2017.62003

Gobierno Municipal de Cusco. (2016a). Plan de Prevención y Reducción del riesgo de desastres de Cusco. *Plan de Prevención y Reducción Del Riesgo de Desastres Del Cusco al 2021*, 1–140.

Gonzales, G., Zevallos, A., Gonzales, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., & Steenland, K. (2014). Environmental pollution, climate variability and climate change: A review of health impacts on the peruvian population. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, *31*(3), 547–556.

Gramsch, E., Cáceres, D., Oyola, P., Reyes, F., Vásquez, Y., Rubio, M. A., & Sánchez, G. (2014). Influence of surface and subsidence thermal inversion on PM2.5 and black carbon concentration. *Atmospheric Environment*, *98*, 290–298. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2014.08.066

Moya, A., Martínez, D., Kumar, S., Flores, J., Estevan, R., Saavedra, M., & Silva, Y. (2020). Statistical characterization of vertical meteorological profiles obtained with the WRF-ARW model on the central Andes of Peru and its relationship with the occurrence of precipitation on the region. *Atmospheric Research*, *239*. https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2020.104915

Ortega, I. (2009). *Espectroscopia FTIR de absorción solar y lunar para la determinación de columna CO en la capa de mezcla de la Ciudad de México*. Univeridad Nacional Autónoma de México.

Oyarzún, M., & Valdivia, G. (2021). Impactos en la salud de la contaminación del aire. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, *97*(2). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482021000200103

Rodríguez, D., Quintero, A., González, Y., Cuesta, O., & Sanchéz, A. (2015). Variación de la estabilidad y altura de la capa de mezcla en la ciudad de Pinar del Río: su relación con condiciones sinópticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, *30*(1), 1–15. https://doi.org/10.1590/0102-778620140014

Salameh, E., Frappart, F., Turki, I., & Laignel, B. (2020). Intertidal topography mapping using the waterline method from Sentinel-1 & -2 images: The examples of Arcachon and Veys Bays in France. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *163*, 98–120. https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2020.03.003

SENAMHI. (2020). *Mapa de clasificacion Climática Nacional y Resumen Ejecutivo.*

Trejo, R., & Villagómez, L. (2012). Método propuesto para estimar la Altura de Capa de Mezcla en la atmósfera, con ayuda de la Aviación. *Conciencia Tecnológica*, *44*, 36–40.

Zhang, Y. H., Zhang, S. D., Huang, C. M., Huang, K. M., Gong, Y., & Gan, Q. (2014). Diurnal variations of the planetary boundary layer height estimated from intensive radiosonde observations over Yichang, China. *Science China Technological Sciences*, *57*(11), 2172–2176. https://doi.org/10.1007/s11431-014-5639-5

Chen, F., Miao, S., Tewari, M., Bao, J.-w., & Kusaka, H. (2011). A numerical study of interactions between surface forcing and sea-breeze circulations and their effects on stagnant winds in the Greater Houston Area. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*.

Clean Air Institute. (2013). *La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica.*

EcuRed. (2021). *Modelo WRF*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Modelo_WRF

Gil, E. (2018). Calidad del aire en la cuenca atmosférica del Cusco. *El antoniano*, 27-43.

Grimmond , C. (February de 2006). Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, 84. Obtenido de https://doi.org/10.1007/s00704-005-0140-5

INEI. (Octubre de 2018). *INEI*. Obtenido de http://censo2017.inei.gob.pe/

Jacobson, M. (2002). *Atmospheric Pollution: History, Scince, and Regulation.* Cambridge: University Press. doi:10.1017/CBO9780511802287

Machu Picchu Terra. (9 de Julio de 2021). *Machupicchu Terra*. Obtenido de https://www.machupicchuterra.com/es/guia/cusco-flora-fauna

Mellor, G. L., & Yamada, T. (1982). Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics, 20*(4), 851-875. doi:https://doi.org/10.1029/RG020i004p00851

MINAM. (2016). *INFOAIRE PERÚ*. Obtenido de https://infoaireperu.minam.gob.pe/gestion-calidad-del-aire/

MINAM. (2019). *Sistema nacional de información ambiental.* Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad

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.*

OMS. (2021). *Calidad del aire y salud.*

OPS. (2018). *Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes*. Obtenido de https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes

Pal, S. (2001). *Introduction to Micrometeorology* (2 ed., Vol. 79). (J. Holton , Ed.) International Geophysics. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0074614201800176

Ramanathan, V., & Coakley, J. A. (1978). Climate modeling through radiative-convective models. *Reviews of Geophysics, 16*(4), 465-489. doi:https://doi.org/10.1029/RG016i004p00465

Research Apllications Laboratory (NCAR). (2021). *Research Apllications Laboratory*. Obtenido de https://ral.ucar.edu/

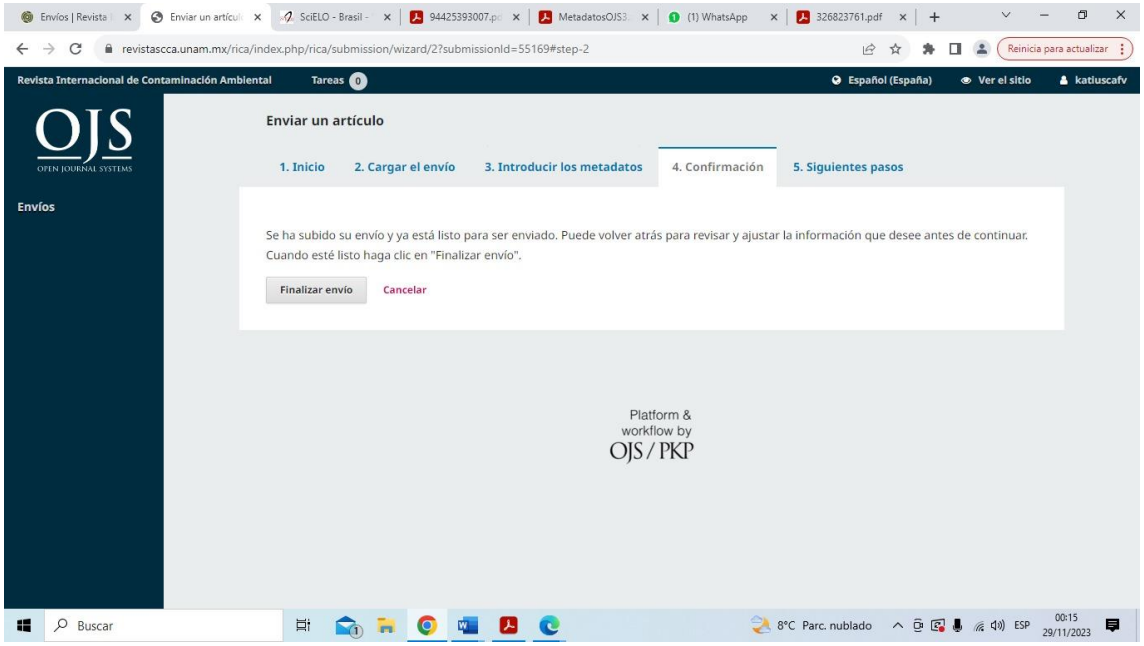
SENAMHI. (18 de Diciembre de 2021). *Tiempo - Pronóstico del Tiempo*. Obtenido de https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cusco&p=pronostico-detalle

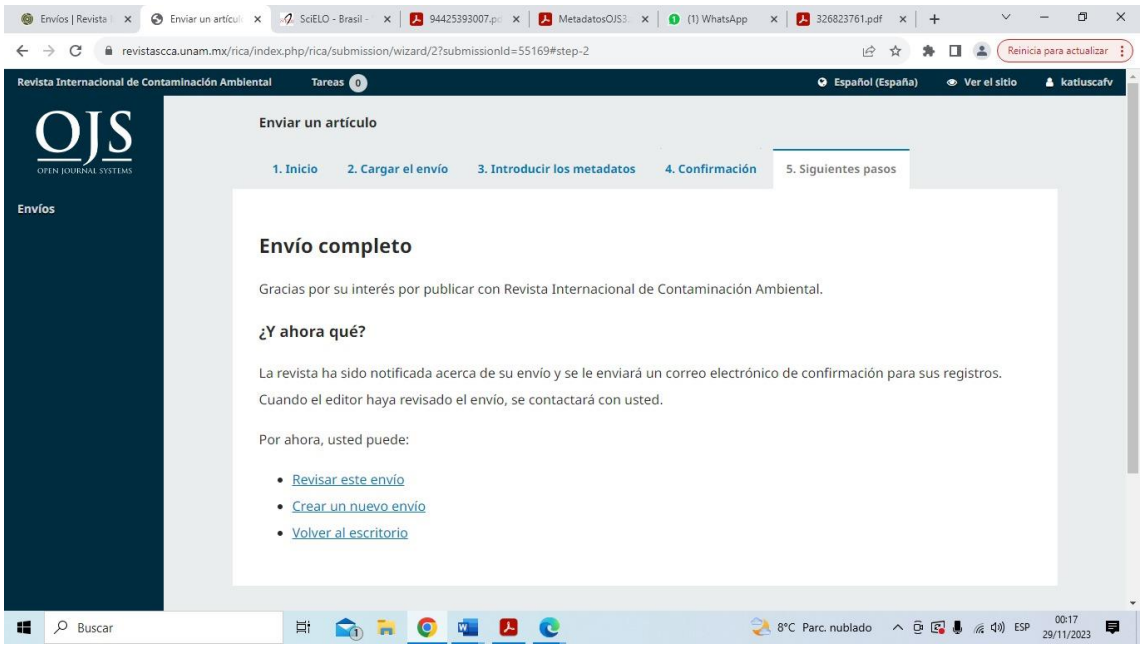
Stull, R. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology* (1 ed., Vol. 13). Springer Dordrecht. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-94-009-3027-8

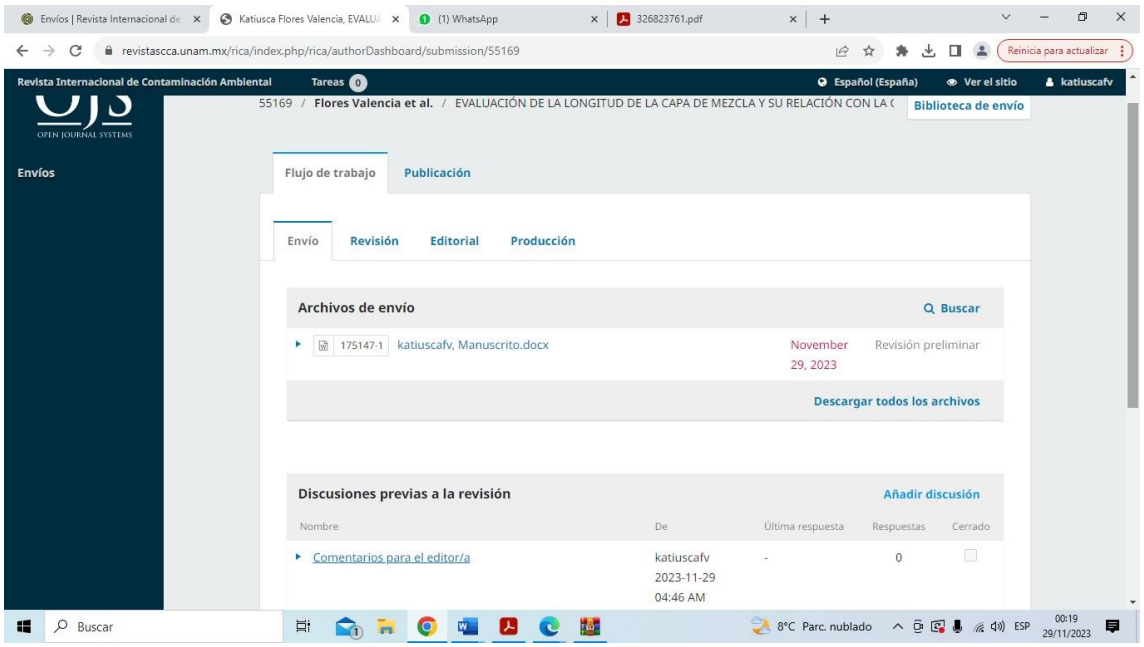
Wang, L., Li, T., & Zhou, T. (2015). Effect of high-frequency wind on intraseasonal SST variabilities over the mid-latitude North Pacific region during boreal summer. *Climate Dynamics, 45*(9), 2607-2017. doi:https://doi.org/10.1007/s00382-015-2496-2

Washington State University. (2013). *BioEarth*. Obtenido de http://bioearth.wsu.edu/wrf_model

EVIDENCIA DE SUMISIÓN DEL ARTÍCULO






Envíos | Revista Internacional de
Katiusca Flores Valencia, EVALUA
(1) WhatsApp
326823761.pdf
revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55169
Reinicia para actualizar
Revista Internacional de Contaminación Ambiental
Tareas 0
Español (España)
Ver el sitio
katiuscafv
OPEN JOURNAL SYSTEMS
Envíos
55169 / Flores Valencia et al. / EVALUACIÓN DE LA LONGITUD DE LA CAPA DE MEZCLA Y SU RELACIÓN CON LA (
Biblioteca de envío
Flujo de trabajo
Publicación
Envío
Revisión
Editorial
Producción
Archivos de envío
Buscar
175147-1
katiuscafv, Manuscrito.docx
November 29, 2023
Revisión preliminar
Descargar todos los archivos
Discusiones previas a la revisión
Añadir discusión
Nombre
De
Última respuesta
Respuestas
Cerrado
Comentarios para el editor/a
katiuscafv 2023-11-29 04:46 AM
-
0
Buscar
8°C Parc. nublado
ESP
00:19
29/11/2023

[RICA] Envío recibido Recibidos

Claudio M. Amesc... Ayer

para mí

De Claudio M. Amescua Garcia • rica@atmosfera.unam.mx

Para Katiusca Flores Valencia • katiuscaflores50@gmail.com

Fecha 29 de noviembre de 2023 00:17

Encriptación estándar (TLS)

Ver detalles de seguridad

Katiusca Flores Valencia:

Gracias por enviarnos su manuscrito "EVALUACIÓN DE LA LONGITUD DE LA CAPA DE MEZCLA Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE CUSCO - PERÚ DURANTE EL 2021" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55169
Nombre de usuaria/o: katiuscafv

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Revista Internacional de Contaminación Ambiental https://www.revistascca.unam.

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

RESOLUCIÓN N° 0316-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 12 de abril de 2022

VISTO:

El expediente de **Katiuska Flores Valencia**, identificado(a) con Código Universitario Nº 201510127 y **Karen Jhadyn Puris Tovalino**, identificado(a) con Código Universitario Nº 201520168, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria Nº 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Katiuska Flores Valencia** y **Karen Jhadyn Puris Tovalino**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Evaluación de la longitud de la capa de mezcla y su relación con la calidad del aire en la ciudad de Cusco durante el 2021" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 12 de abril de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado **"Evaluación de la longitud de la capa de mezcla y su relación con la calidad del aire en la ciudad de Cusco durante el 2021"** y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Dr. Alex Ruben Huaman de la Cruz** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas** y **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo