

RED UNIVERSITARIA DE SENSORES ALTERNATIVOS DE CALIDAD DE AIRE EN LIMA METROPOLITANA- PERIODO 2022-I

4 ENERO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Monitoreo y Control de la Contaminación Atmosférica
Creado por: el Meteorólogo Gabriel Sicha Huamán



RED LATINOAMERICANA
CIUDADANA POR
LA CALIDAD DE LA AIRE



 **Trébola**
Organización Ecológica



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA



RED UNIVERSITARIA DE SENSORES ALTERNATIVOS DE CALIDAD DE AIRE EN LIMA METROPOLITANA - PERIODO 2022-I

METEORÓLOGO SICHA HUAMAN RUDY GABRIEL

El siguiente trabajo presenta los resultados de la evaluación en el uso de tecnologías alternativas por medio de estudiantes universitarios de Pre grado de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima - Perú; además, se muestra el proceso de capacitación por parte del grupo AIRE CIUDADANO, la cual es una Red Internacional de calidad de aire basado en sensores de bajo costo

¿Quiere insertar una imagen de sus archivos o agregar una forma, un cuadro de texto o una tabla?
¡Adelante! En la pestaña Insertar de la cinta de opciones, pulse la opción que necesite.

***“Camina siempre por la vida como si
tuvieses algo nuevo que aprender y lo
harás”.***

Vernon Howard

I. OBJETIVOS

- Elaborar el diseño de un módulo de calidad de aire basado en tecnología alternativa para la evaluación del material particulado fino
- Evaluar la calidad del aire en la ciudad de Lima Metropolitana con tecnología alternativa

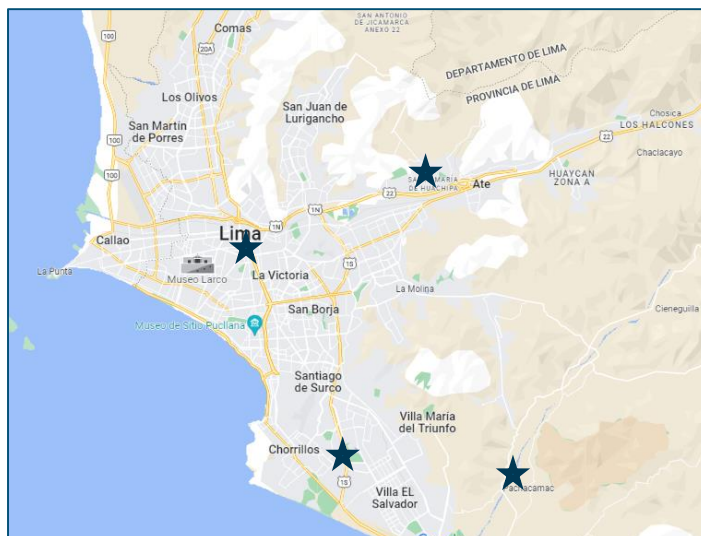
II. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La evaluación se realizó en la ciudad de Lima – Perú durante el 05 de julio hasta el 30 de agosto del año 2022, participaron estudiantes pre universitarios de la Universidad Nacional Agraria La Molina, y el Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LIAM).

Se evaluó cuatro puntos en Lima Metropolitana, ubicados dos en la Zona Este, uno en la Zona Centro y uno en la Zona Sur, caracterizando de manera puntual la calidad del aire.

Figura 01. Distribución espacial de los módulos de calidad de aire



Fuente: Adaptado de Google Maps

2.2. Métodos

2.2.1. Elaboración del módulo de calidad de aire basado en tecnología alternativa

En base al enorme apogeo de los sensores de bajo costo en el monitoreo de la calidad del aire, se estableció un diseño accesible para estudiantes, ciudadanía e investigadores que realicen su módulo de calidad de aire.

Por lo que, se detalló los siguientes pasos:

PASO 1: Adquirir



Caja de paso
10*15cm



Niple de 4"
de pvc



2 Tapas ciegas



Prensa estopa
13.5



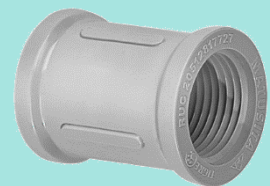
Moldimix



3 persos
C/ Tuerca
5/16" x 5cm



Manguera Transparente
5/16 (1 metro)

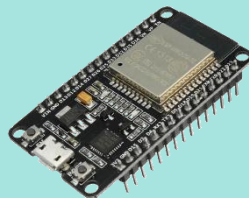


Codo Mixto
de 1/2 "

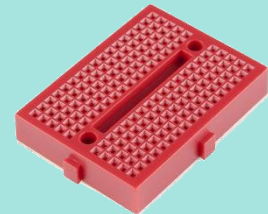
PASO 2: Adquirir



Plantower
PMS7003



ESP32 DEVKIT



Protoboard 170 puntos



Ventilador 5V – 3X3 cm

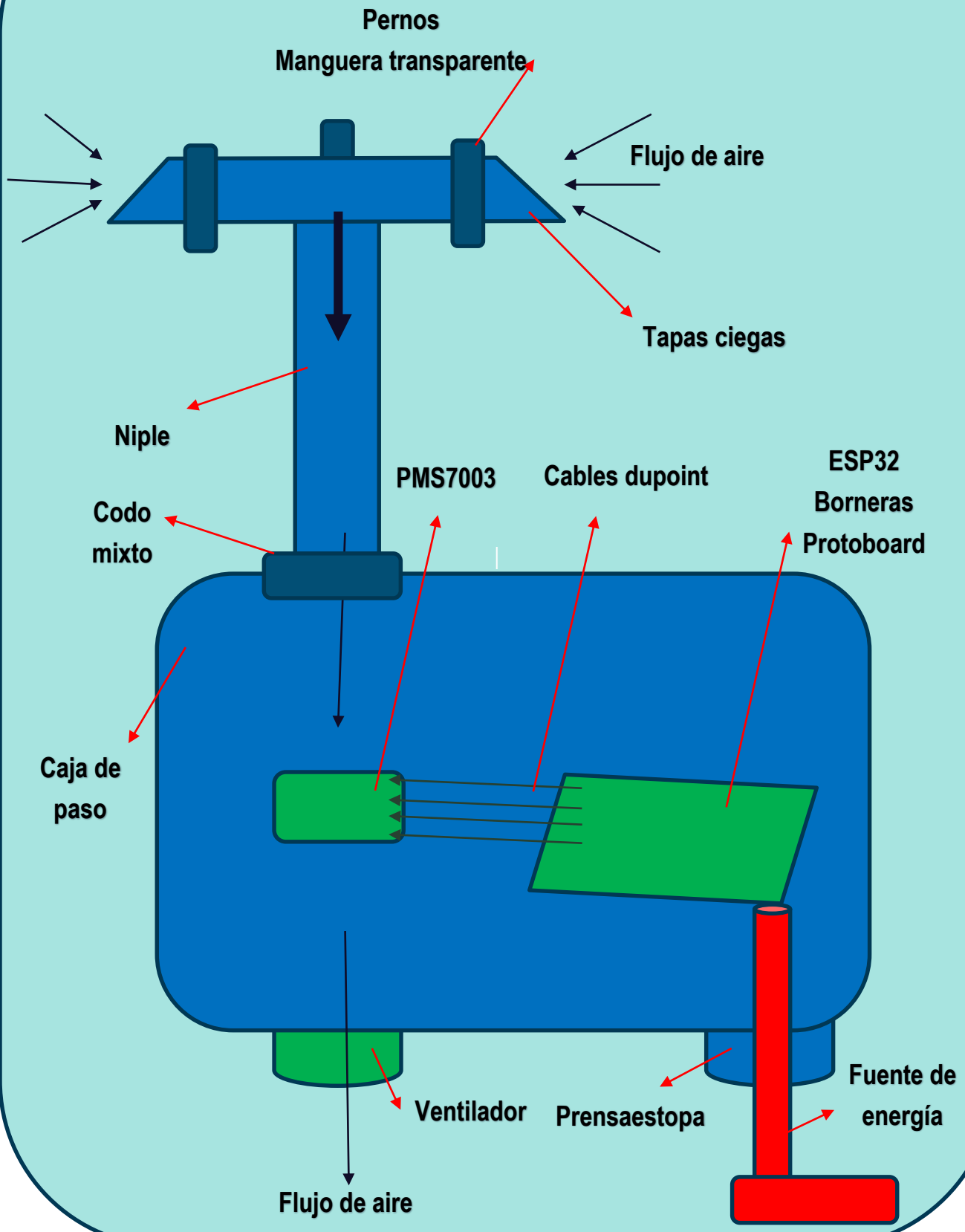


Cable Dupoint M-M
10 cm



2 Borneras azules
de 2 vías

PASO 3: Diseño de ensamblado



PASO 4:

Conexión al servidor de Aire Ciudadano

Para conectar el módulo de Acción Ambiental de calidad de aire al servidor virtual libre y gratuito de aire ciudadano se siguió los siguientes pasos:

1. Ingresar al enlace <https://aireciudadano.com/> y seleccionar a INSTALADOR CIUDADANO
2. Se conectó el módulo de calidad de aire al ordenador mediante la entrada USB
3. Se seleccionó la opción “ESP32 sin pantalla”, y se procedió a descargar e instalar el modo fijo – wifi (mantener conectado el módulo y el ordenador)
4. Se procedió a configurar la conectividad wifi mediante el celular y la placa electrónica mediante el Bluetooth
5. Terminado el proceso, la información registrada se mostrará en el servidor web <https://sensor.aireciudadano.com/d/xTDNb87z/general?orgId=1&refresh=30s>

2.2.2. Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Lima

Se procedió a evaluar la variación espacio temporal del material particulado fino (PM2.5) registrados por los sensores de bajo costo, es por esto, que se estableció el siguiente orden:

- Análisis exploratorio de datos de la información registrada
- Análisis temporal diario y horario del material particulado fino
- Calendario ambiental del material particulado fino
- Variación espacial del material particulado fino

III. RESULTADOS

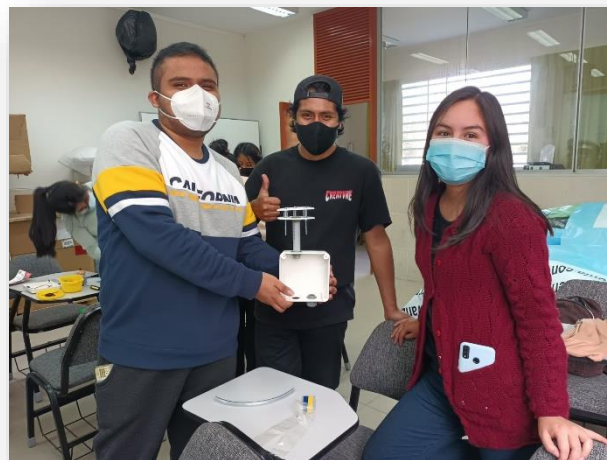
3.1. Diseño del módulo de calidad de aire

En el siguiente trabajo se realizó 4 grupos de trabajo entre estudiantes y asesor, en base a esto, se realizaron 4 diseños similares, en donde la única diferencia fue la ubicación y el soporte del módulo de calidad de aire



Fotografía 1. Esquema del módulo de calidad de aire de bajo costo

La fotografía 1, muestra el diseño final del módulo de calidad de aire, el cual permitió que los alumnos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, evaluara la calidad del aire y comprendiera el flujo técnico de la toma de muestra de aire.



Fotografías 2,3,4 y 5. Elaboración de los cuatro módulos de calidad de aire en Lima Metropolitana.

En la fotografía 2,3,4 y 5, se muestra el procedimiento de ensamblado de los cuatro módulos de calidad de aire, donde alumnas y alumnos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) del Perú manejaron placas electrónicas de modelo ESP32, sensores de calidad de aire de marca PLANTOWER, entre otros accesorios.

Además, la UNALM brindó el espacio y herramientas necesarias para la construcción del módulo de calidad de aire, así también, permitió utilizar equipos referenciales, con la finalidad de poder identificar el funcionamiento de estos y aplicarlos en los módulos de calidad de aire. (fotografía 6)



Fotografía 6. Equipos de referenciales de calidad de aire

Seguido, se procedió a instalar los módulos de calidad de aire en 4 ubicaciones diferentes de Lima Metropolitana, específicamente en el hogar de 1 alumna o alumna de la UNALM.





Fotografías 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14. Instalación de módulos de calidad de aire



Tabla 1. Coordenadas de los módulos de calidad de aire

Punto	Ubicación	Este (m)	Norte (m)	Código
P-01	Av. Lizardo Montero con CJ Morales, San Juan de Miraflores	-12.164285	-76.974400	UNALM 1
P-02	Jr. García Naranjo con Jr. Mendoza Marino, Lima	-12.061248	-77.023685	UNALM 2
P-03	Av. Nueva Toledo con Av. B, Cieneguilla	-12.095137	-76.774261	UNALM 3
P-04	Av. Cajamarquilla con Eucaliptos, Lurigancho	-11.991288	-76.902156	UNALM 4

Las fotografías 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 muestran la instalación de los 4 módulos de calidad de aire en Lima Metropolitana, además, de una fotografía representativa del área de evaluación de calidad de aire. Por otro lado, se muestra la tabla

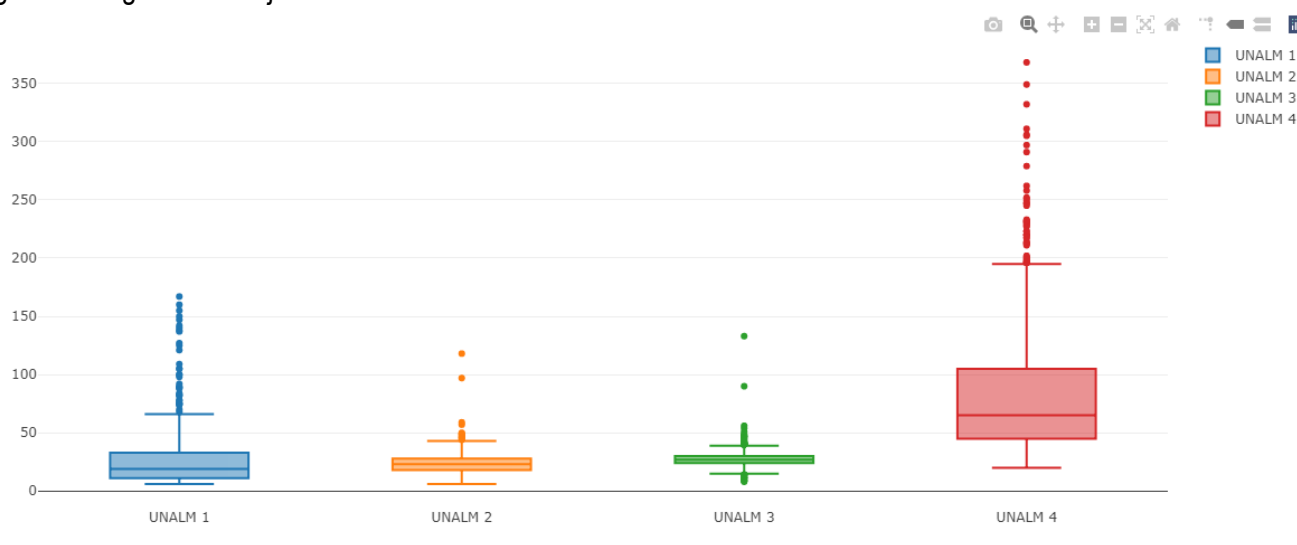
3.2. Calidad del aire en la ciudad de Lima Metropolitana

Se registró y almacenó la información desde el 05 de julio hasta el 30 de agosto de 2022, en la plataforma de Aire Ciudadano (<https://sensor.aireciudadano.com/d/xTDNb87z/general?orgId=1&refresh=30s&from=now-1h&to=now>), donde se almacena la información por segundo. En base a los registros de los cuatro módulos de calidad de aire se realizó un análisis exploratorio de datos, variación temporal, variación espacial y calendario ambiental del material particulado fino (PM_{2.5}).

3.2.1. Análisis exploratorio de datos

Se realizó el diagrama de cajas de los resultados diarios¹ de los cuatro módulos instalados

Figura 2. Diagrama de cajas de la información horaria

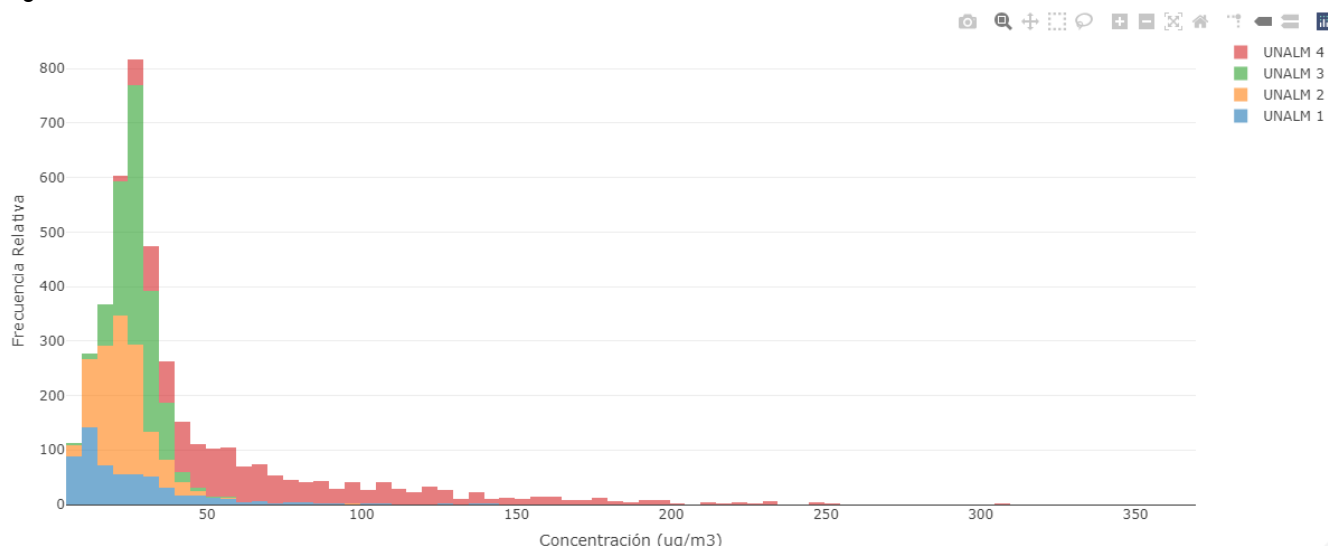


¹ Se aplicó un límite de rango de trabajo de 0 – 750 ug/m³, dado que el módulo UNALM 4, presentó sólo 1 valor excedente.



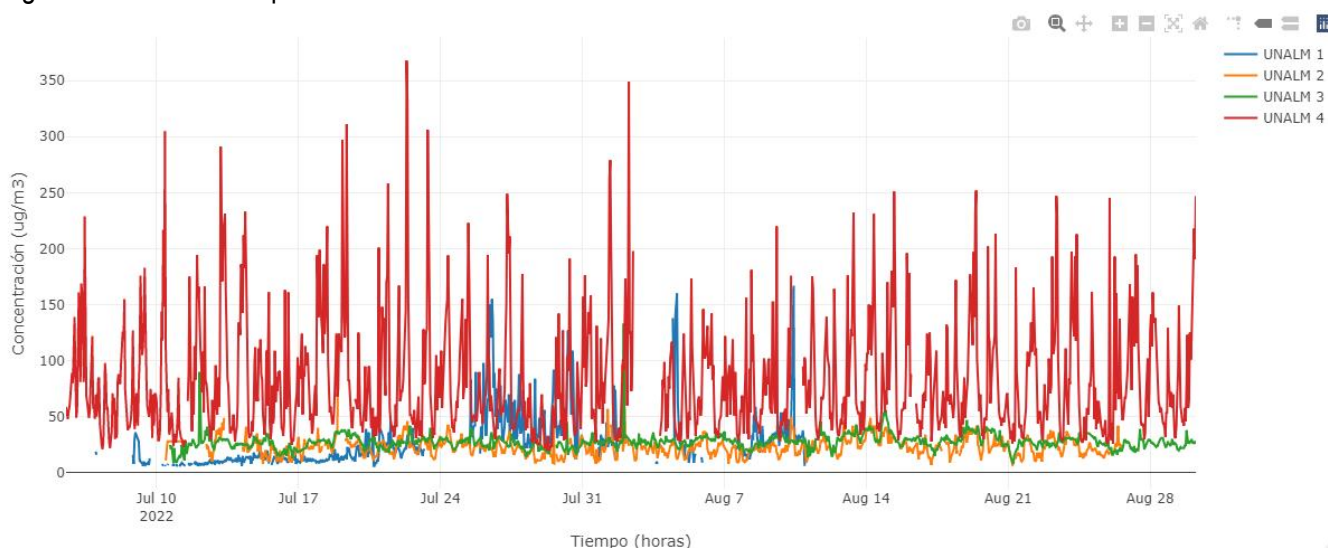
En la Figura 2, se observa la distribución de la información, donde el módulo UNALM 4, muestran una mayor cantidad de datos atípicos.

Figura 3. Frecuencia relativa de la información horaria



En la Figura 3, se observa la distribución mediante un gráfico de frecuencia relativa, donde se observa que la mayor variabilidad de la concentración del Material Particulado Fino (PM 2.5) se encuentra entre 0 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

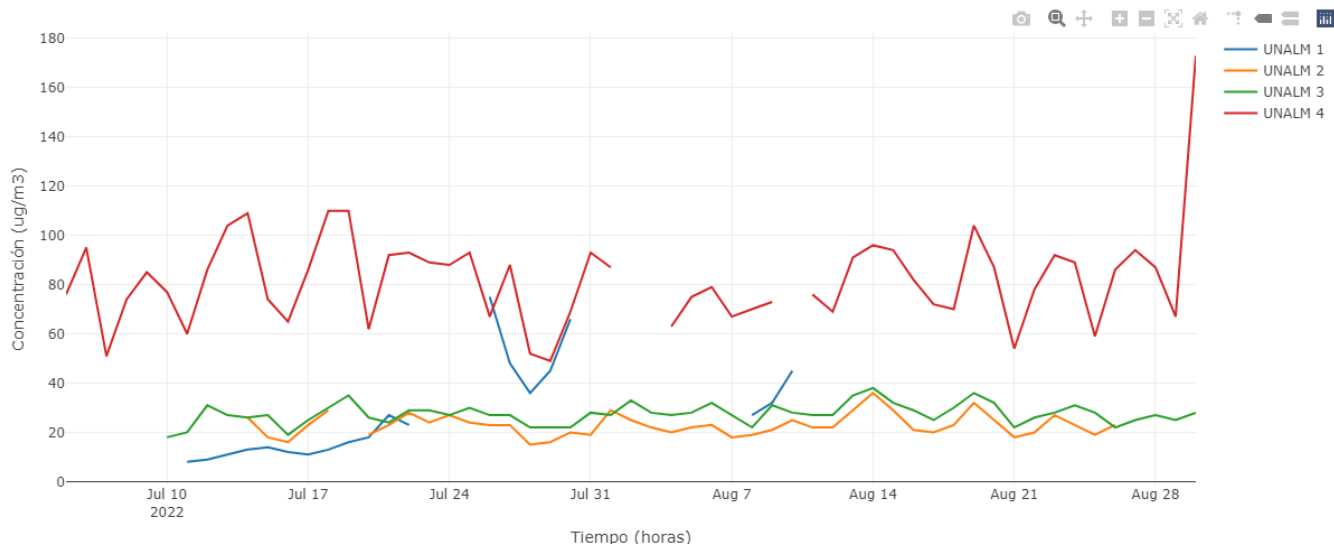
Figura 4. Variación temporal de la información horaria



En la Figura 4, se observa el comportamiento horario del material particulado fino, donde se evaluó que la concentración del módulo UNALM 4, presentó los mayores valores en gran parte de la evaluación.

3.2.2. Variación Temporal

Figura 5. Variación diaria del Material Particulado Fino (PM_{2.5})



Nota. Los valores promedios diarios fueron redondeados a valores enteros

Tabla 2. Estadística base diaria del PM_{2.5}

MATERIAL PARTICULADO FINO (PM _{2.5})	UNALM 1 (SAN JUAN DE MIRAFLORES)	UNALM 2 (LIMA)	UNALM 3 (CIENEGUILLA)	UNALM 4 (LURIGANCHO)
MÍNIMA	8	15	18	49
MÁXIMA	75	36	38	173
PROMEDIO	28	23	27	82
NA	36	14	5	3

En base a la figura 5 y tabla 2, se observó las concentraciones diarias del material particulado fino de los 4 puntos de evaluación, donde el módulo UNALM 4 presentó el mayor promedio diaria con 173 ug/m³, asimismo, el 12 de julio de observó la mínima concentración en la UNALM 2 con 8 ug/m³, y la máxima concentración en la UNALM 4 con 173 ug/m³.

Figura 6. Variación horaria del material Particulado Fino (PM_{2.5})

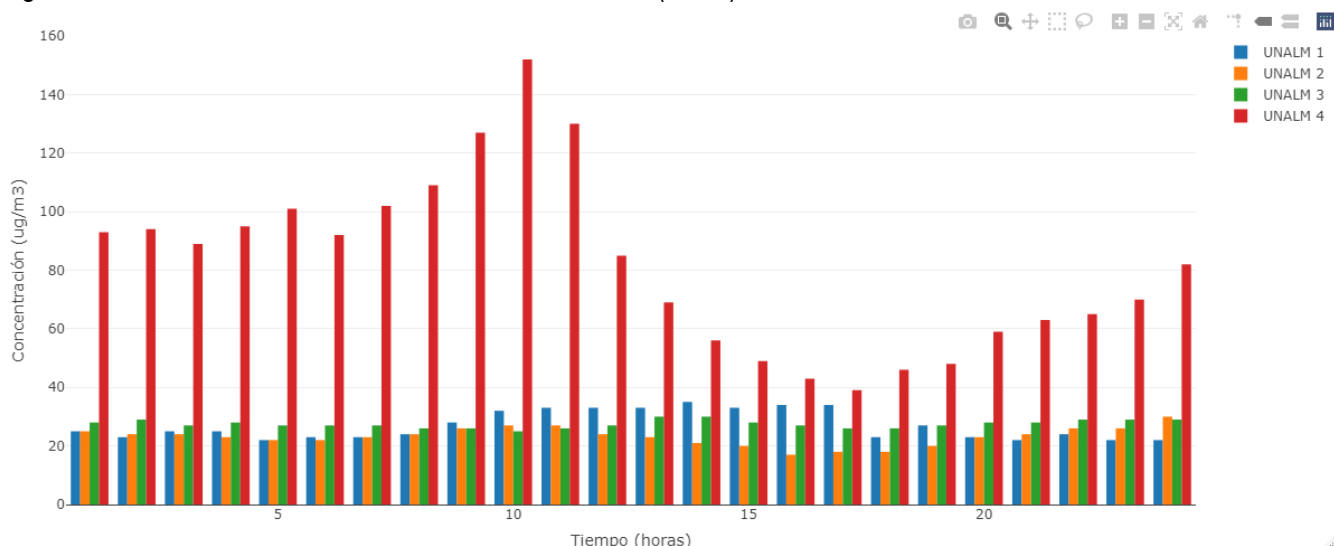




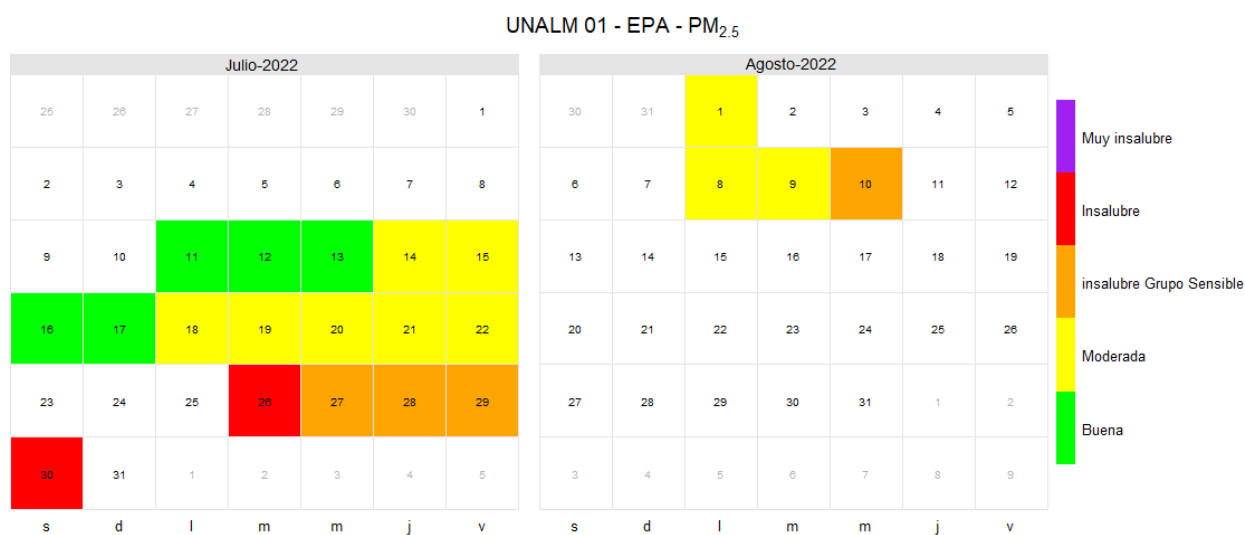
Tabla 3. Estadística base horaria del PM_{2.5}

MATERIAL PARTICULADO FINO (PM _{2.5})	UNALM 1 (SAN JUAN DE MIRAFLORES)	UNALM 2 (LIMA)	UNALM 3 (CIENEGUILLA)	UNALM 4 (LURIGANCHO)
MÍNIMA	22	17	25	39
MÁXIMA	354	30	30	152
Rango de mayor concentración	10 – 17 horas	9 – 11 horas	13 – 14 horas	9 – 11 horas

En base a la figura 6 y tabla 3, se observó las concentraciones diarias del material particulado fino de los 4 puntos de evaluación, donde el módulo UNALM 4 presentó la mayor concentración promedio horario con 152 ug/m³ y la mínima concentración en la UNALM 2 con 17 ug/m³

3.2.3. Calendario ambiental

Figura 7. Calendario ambiental²

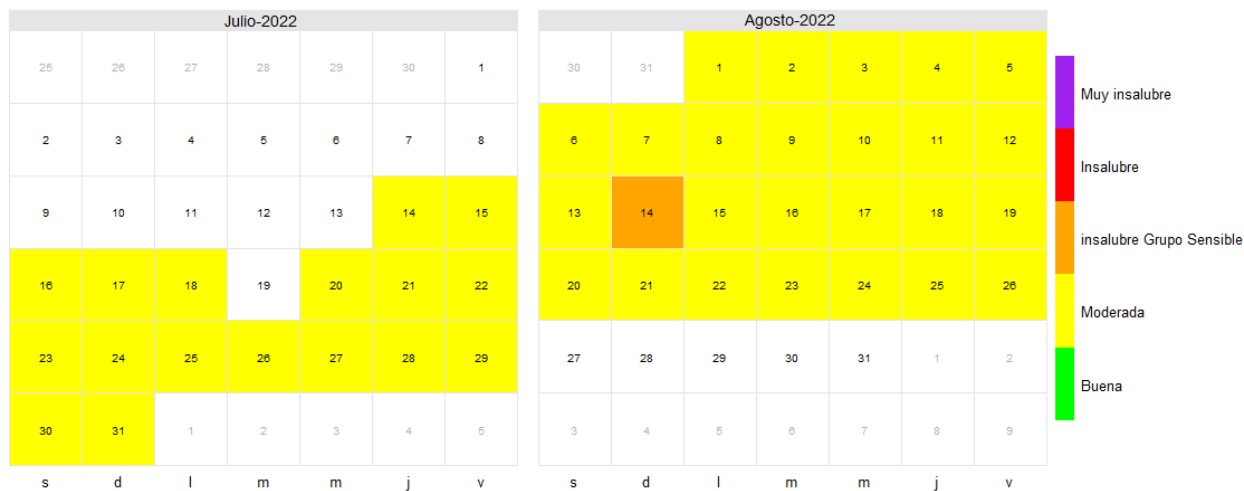


² Colores relacionados al ICA consultado en : <https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>

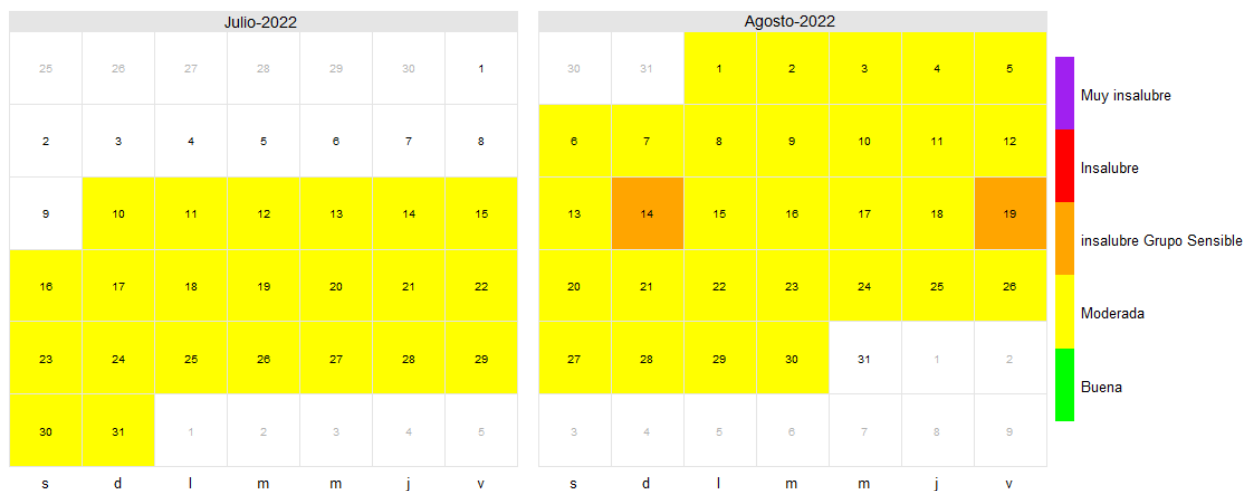


RED UNIVERSITARIA DE SENSORES ALTERNATIVOS DE CALIDAD DE AIRE EN LIMA METROPOLITANA, PERIODO 2022-I

UNALM 02 - EPA - PM_{2.5}



UNALM 03 - EPA - PM_{2.5}



UNALM 04 - EPA - PM_{2.5}

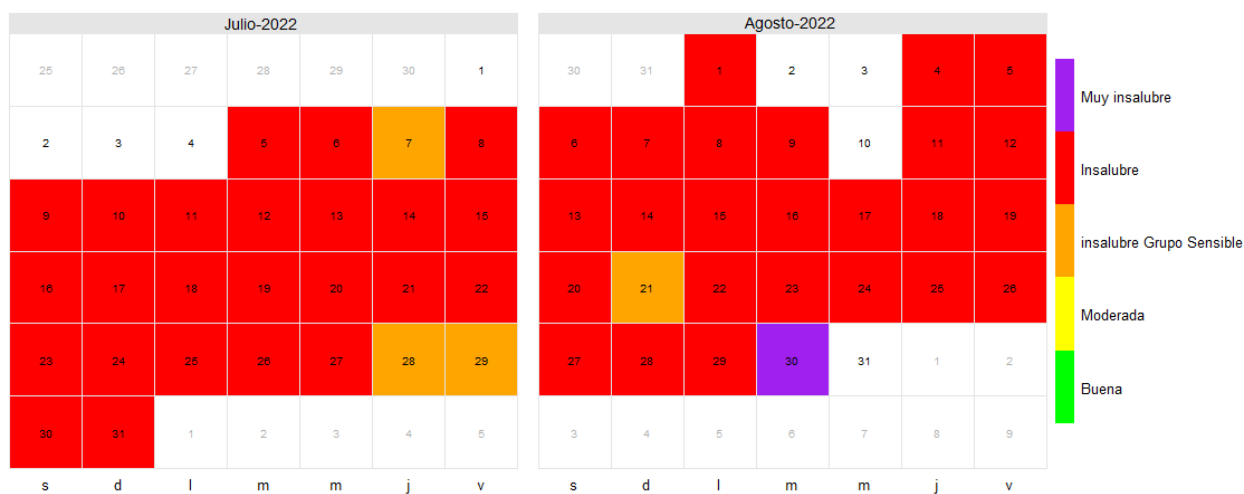
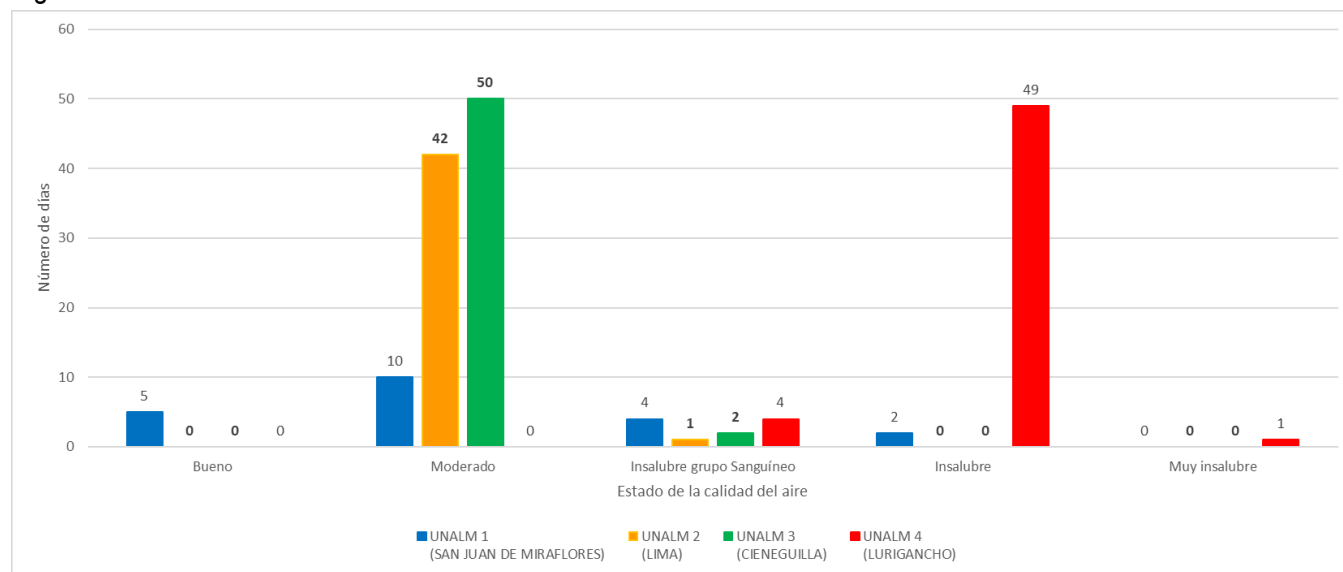




Figura 8. Estado de calidad de aire diarios



En base a la figura 7 y 8 se observa el estado diario de la calidad del aire en los 4 módulos de calidad del aire, donde se identificó que, el módulo UNALM 1 presentó 5 días de buena calidad de aire, el módulo UNALM 3 presentó 50 días de moderada calidad de aire y el módulo UNALM 4 presentó 49 días insalubres

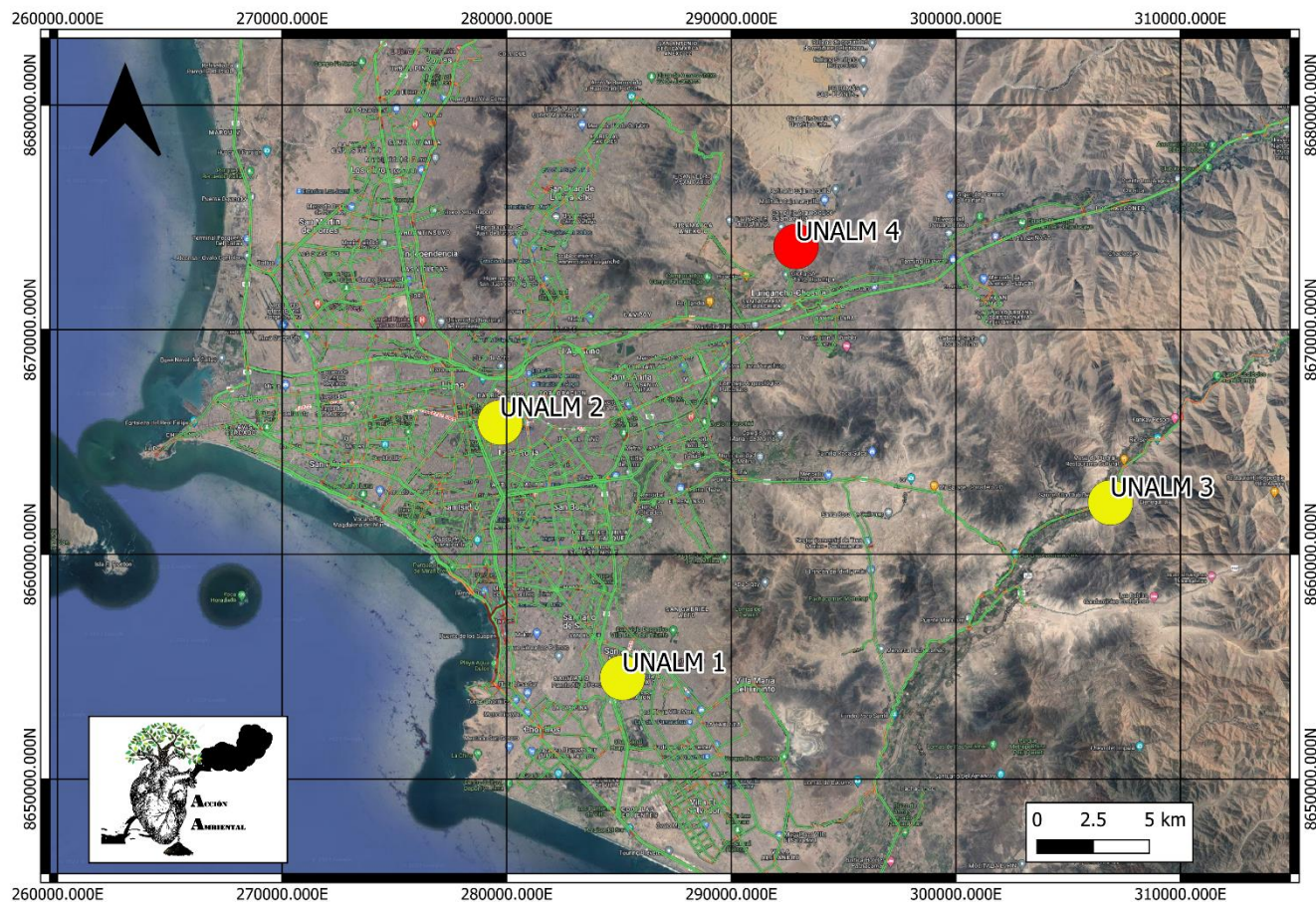
Tabla 4. Resumen de la calidad del aire

MATERIAL PARTICULADO FINO (PM2.5)	UNALM 1 (SAN JUAN DE MIRAFLORES)	UNALM 2 (LIMA)	UNALM 3 (CIENEGUILLA)	UNALM 4 (LURIGANCHO)
Bueno	5	0	0	0
Moderado	10	42	50	0
Insalubre para grupo Sanguíneo	4	1	2	4
Insalubre	2	0	0	49
Muy insalubre	0	0	0	1
NA	36	14	5	3
TOTAL DE DIAS	57	57	57	57

La evaluación de la calidad del aire identificó un día de estado Muy Insalubre en el módulo UNALM 4, lo cual podría generar una advertencia sanitaria de condiciones de emergencia.

3.2.4. Variación espacial de la calidad del aire

Figura 9. Mapa espacial del PM_{2.5}



En base a la Figura 9 se identificó la ubicación de los cuatro módulos en Lima Metropolitana, donde el módulo UNALM 1 se ubica en la Zona Sur, el módulo UNALM 2 en la Zona Centro y los módulos UNALM 3 y 4 en la Zona Este.

Así también, las líneas verdes, representan las vías de tránsito vehicular en Lima Metropolitana, donde se identifica que el módulo UNALM 1 y UNALM 2 presentan la mayor confluencia de vías de tránsito vehicular; sin embargo, el módulo UNALM 4, que presenta las mayores concentraciones de PM_{2.5} no muestra una gran cantidad de vías de tránsito vehicular.



IV. Conclusiones

En base a la evaluación de la calidad del aire que inició el 05 de julio y finalizó el 30 de agosto sobre el material particulado fino en Lima Metropolitana, mediante los módulos UNALM 01 (Av. Lizardo Montero con CJ Morales, San Juan de Miraflores), UNALM 02 (Jr. García Naranjo con Jr. Mendoza Marino, Lima), UNALM 03 (Av. Nueva Toledo con Av. B, Cieneguilla) y UNALM 04 (Av. Cajamarquilla con Eucaliptos, Lurigancho) con tecnología alterna de bajo costo, se concluye que:

- El diseño del módulo de calidad de aire respecto al material particulado fino, presentó las características básicas para la evaluación de calidad de aire con tecnología alternativa
- La concentración diaria evaluado por el Módulo UNALM 1 registró desde 8 ug/m³ hasta 75 ug/m³, el módulo UNALM 2 registró desde 15 ug/m³ hasta 36 ug/m³, el módulo UNALM 3 registró desde 18 ug/m³ hasta 38 ug/m³ y el módulo UNALM 4 registró desde 49 ug/m³ hasta 173 ug/m³.
- En base a la variación temporal, se identificó que las mayores concentraciones se registraron entre las 9 – 11 horas en los módulos UNALM 2 y UNALM 4.
- Respecto al estado de la calidad del aire, el módulo UNALM 1, UNALM 2 y UNALM 3 presentaron 10, 42 y 50 días respectivamente de un estado moderado, además, UNALM 1 y UNALM 4 presentaron 1 y 49 días respectivamente con un estado insalubre.
- El módulo UNALM 4, presentó el día 30 de agosto un estado muy insalubre respecto a la calidad del aire, pudiendo generarse una advertencia sanitaria.
- Los módulos UNALM 1 y UNALM 2 presentaron el mayor número de vías de tránsito vehicular cercanas a sus ubicaciones, sin embargo, no presentaron la mayor concentración de material particulado fino. Por otro lado, el módulo UNALM 4, presentó sólo 1 vía principal de tránsito vehicular cercana, sin embargo, registró las mayores concentraciones.

V. Agradecimiento

El presente trabajo se realizó con el apoyo del grupo **Aire Ciudadano**, donde el especialista Daniel Bernal brindó conocimientos sobre el manejo del software y hardware de los sensores que se utilizaron. Así también, capacitó a los estudiantes sobre el funcionamiento de la plataforma web de Aire Ciudadano y sus beneficios

Atentamente

Sicha Huamán Rudy Gabriel
Meteorólogo
Lima - Perú