



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Evaluación de la movilidad de contaminantes de la calidad  
del aire en Lima Metropolitana periodo 2017-2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Becerra Huaman, Kevin Gianmarco (orcid.org/0000-0001-5425-2754)

Infantes Jara, Raul Jeanpool (orcid.org/0000-0002-2391-0459)

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (orcid.org/0000-0001-9146-7615)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**TRUJILLO - PERÚ**

**2023**

## **Dedicatoria**

La presente tesis está dedicada a nuestro padre celestial el cual nos permite estar día tras día luchando por cumplir nuestros sueños, a nuestros padres por todo su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de los años, es gracias a ustedes que logramos llegar hasta aquí y ser quienes somos. Es un orgullo y un privilegio ser sus hijos, son los mejores padres. Y todas las personas que nos apoyaron, hicieron que el trabajo fuera un éxito y compartieron sus conocimientos.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, el agradecimiento a Dios, por guiarnos hasta donde nos encontramos ahora y por darnos las fuerzas para seguir adelante.

Y a mi madre que siempre me guía por el camino del bien y ser mi primera maestra en este difícil camino de la vida.

También un especial agradecimiento al Dr. José Alfredo Cruz Monzón por su tiempo y paciencia al momento de elaborar la tesis.

**Kevin Becerra Huamán**

Agradecer a Dios, ya que gracias a él estoy culminando mi carrera profesional, a mis padres Ronald e Isela, por siempre estar a mi lado, guiarme por buen camino con sus buenos consejos, brindarme su apoyo y confiar en mí, a mi hermano Martín, mis abuelas Cirila y Victoria, a mis abuelos Juan y Raúl, aunque no estén físicamente con nosotros, sé que desde el cielo me cuidan y me guían para mantenerme firme en el camino, a mis tíos en especial a Juan Jara Vásquez, que han contribuido para el logro de mis objetivos.

**Jeanpool Infantes Jara**



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Evaluación de la movilidad de contaminantes de la calidad del aire en Lima Metropolitana periodo 2017-2021"., cuyos autores son INFANTES JARA RAUL JEANPOOL, BECERRA HUAMAN KEVIN GIANMARCÓ, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 26 de Junio del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO DNI: 18887838 ORCID: 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 04-07- 2023 22:47:46

Código documento Trilce: TRI - 0552593



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, INFANTES JARA RAUL JEANPOOL, BECERRA HUAMAN KEVIN GIANMARCO estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Evaluación de la movilidad de contaminantes de la calidad del aire en Lima Metropolitana periodo 2017-2021"., es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
KEVIN GIANMARCO BECERRA HUAMAN DNI: 71347962 ORCID: 0000-0001-54252754	Firmado electrónicamente por: KGBECERRAH el 26-06-2023 15:22:31
RAUL JEANPOOL INFANTES JARA DNI: 73082344 ORCID: 0000-0002-2391-0459	Firmado electrónicamente por: RINFANTESJ el 26-06-2023 21:43:29

Código documento Trilce: TRI - 0552594

## Índice de Contenidos

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIO DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE AUTORES.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	01
II. MARCO TEÓRICO .....	04
III. METODOLOGÍA .....	10
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	10
3.2. Variables y operacionalización .....	10
3.3. Población, muestra y muestreo.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	11
3.5. Procedimiento .....	12
3.6. Método de análisis de datos .....	13
3.7. Aspectos éticos .....	14
IV. RESULTADOS .....	15
V. DISCUSIÓN .....	22
VI. CONCLUSIONES .....	29
VII. RECOMENDACIONES .....	30
REFERENCIAS .....	31
ANEXOS .....	38

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Movilidad, dirección y velocidad del viento de las estaciones evaluadas usando el software Wrplot 2017 -2021 .....	<b>16</b>
<b>Tabla 2.</b> Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida de PM <sub>10</sub> , mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo .....	<b>18</b>
<b>Tabla 3.</b> Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida de PM <sub>2.5</sub> , mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo.....	<b>19</b>
<b>Tabla 4.</b> Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida de SO <sub>2</sub> mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo .....	<b>19</b>
<b>Tabla 5.</b> Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida de NO <sub>2</sub> mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo .....	<b>20</b>
<b>Tabla 6.</b> Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida, CO mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo .....	<b>20</b>
<b>Tabla 7.</b> Variables y operacionalización.....	<b>48</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación del lugar del muestreo de estaciones de monitoreo en Lima Metropolitana.....	<b>11</b>
<b>Figura 2.</b> Contaminantes atmosféricos Lima Metropolitana 2017-2021 y ECA 2017 .....	<b>15</b>
<b>Figura 3.</b> Niveles de concentración (CO) de las estaciones evaluadas para Lima Metropolitana, periodo 2017-2021 .....	<b>16</b>
<b>Figura 4.</b> Proyección a cinco años del comportamiento del Material Particulado 10.....	<b>21</b>
<b>Figura 5.</b> Rosa de viento de la estación de Villa María del Triunfo, periodo 2017- 2021.....	<b>38</b>
<b>Figura 6.</b> Rosa de viento de la estación de Campo de Marte, periodo 2017-2021.....	<b>39</b>
<b>Figura 7.</b> Rosa de viento de la estación de San Martín de Porres, periodo 2017-2021.....	<b>40</b>
<b>Figura 8.</b> Rosa de viento de la estación de Santa Anita periodo 2017-2021 .....	<b>41</b>
<b>Figura 9.</b> Rosa de viento de la estación de San Borja, periodo 2017-2021 .....	<b>42</b>
<b>Figura 10.</b> Modelo de dispersante de material particulado PM <sub>10</sub> para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021 .....	<b>43</b>
<b>Figura 11.</b> Modelo de dispersante de material particulado PM <sub>2.5</sub> para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021 .....	<b>44</b>
<b>Figura 12.</b> Modelo de dispersante de material particulado SO <sub>2</sub> , para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021 .....	<b>45</b>
<b>Figura 13.</b> Modelo de dispersante de material particulado NO <sub>2</sub> , para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021 .....	<b>46</b>
<b>Figura 14.</b> Modelo de dispersante de material particulado CO, para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021. ....	<b>47</b>
<b>Figura 15.</b> Validación del instrumento N°1 por el especialista del software de Screen View.....	<b>49</b>

<b>Figura 16.</b> Validación del instrumento N°2 por el especialista del software de Screen View .....	<b>50</b>
<b>Figura 17.</b> Validación del instrumento N°3 por el especialista del software de Wrplot View .....	<b>51</b>
<b>Figura 18.</b> Validación del instrumento N°4 por el especialista del software de Wrplot View .....	<b>52</b>
<b>Figura 19.</b> Acta de sustentación de Tesis .....	<b>53</b>
<b>Figura 20.</b> Autorización de Publicación en Repositorio Institucional .....	<b>54</b>

## Resumen

En los últimos años, la movilidad de contaminantes en el aire se ha convertido en un grave problema, causando afecciones en lugares distantes del punto emisor poniendo en riesgo la salud y la infraestructura de las poblaciones expuestas. Es por ello que la investigación desarrollada se propuso evaluar la movilidad de contaminantes en el aire para Lima Metropolitana, durante el periodo 2017-2021.

La metodología desarrollada utilizó información oficial de SENAMHI, la cual fue procesada utilizando los softwares Wrplot y Screen View para obtener la rosa de viento por estación, movilización y; dispersión de contaminantes respectivamente, para finalmente determinar las zonas de mayor afectación. Los resultados muestran que los niveles más altos fueron de  $PM_{10}$ , donde se sobrepasaron los ECAs anuales establecidos en las zonas de: Santa Anita y Villa María del Triunfo, alcanzando valores de  $160\mu g/m^3$  y  $120\mu g/m^3$  en un rango de 200 a 300 metros respectivamente, sin embargo, los ECAs para  $SO_2$ , CO y  $NO_2$  no se vieron superadas en ninguna estación y periodo estudiado. Se concluye que los contaminantes atmosféricos  $SO_2$ , CO y  $NO_2$  se dispersan principalmente en zonas de Campo de Marte en un rango de 350m, San Borja y Santa Anita en unos 200m.

Palabras clave: Material particulado, dispersión de contaminantes, rosa de viento, contaminantes atmosféricos, partículas suspendidas.

## Abstract

In recent years, the mobility of pollutants in the air has become a serious problem, causing disorders in places far from the emitting point, putting the health and infrastructure of exposed populations at risk. That is why the research carried out was proposed to evaluate the mobility of pollutants in the air for Metropolitan Lima, during the period 2017-2021. The developed methodology used official information from SENAMHI, which was processed using the Wrplot and Screen View software to obtain the wind rose by station, mobilization and; dispersion of contaminants respectively, to finally determine the most affected areas. The results show that the highest levels were PM10, where the annual ECAs established in the areas of: Santa Anita and Villa María del Triunfo were exceeded, reaching values of  $160\mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  in a range of 200 to 300 meters. respectively, however, the ECAs for SO<sub>2</sub>, CO and NO<sub>2</sub> were not exceeded in any station and period studied. It is concluded the contamination atmospheric SO<sub>2</sub>, CO and NO<sub>2</sub> are dispersed mainly in areas of Campo de Marte in a range of 350 meters, San Borja and Santa Anita at about 200 meters.

Keywords: Particulate matter, pollutant dispersion, wind rose, Atmospheric pollutants, suspended particles.

## I. INTRODUCCIÓN

Entre los años 2017-2021, casi 90 mil millones de toneladas de dióxido de carbono ingresaron a la atmósfera, superando el récord de años anteriores (Romero, 2019, p. 13). El cambio climático todavía se está desarrollando a gran escala y provoca todo tipo de fenómenos nocivos, la contaminación del aire es la presencia de materiales o formas de energía en el aire que pueden causar diversos grados de peligro, daño o incomodidad a los seres vivos (Altamirano & Villanueva, 2020). Entre las consecuencias directas de la contaminación del aire, se podría destacar el desarrollo de enfermedades y padecimientos de humanos y animales, así como el deterioro de la visibilidad en áreas de alta concentración o la aparición de olores desagradables (Kang & Choe, 2019, p. 9).

La movilización de contaminantes del aire está influenciada por diversos factores medioambientales como: variaciones globales, locales del clima y las condiciones topográficas (Querol, 2017, p. 12), mientras que el viento y la estabilidad son factores clave para el transporte y la diseminación de contaminantes (Romero, 2017, p. 8).

Un grave riesgo para la salud es la contaminación ambiental del aire, generando preocupación en que los países puedan reducir la carga de relación por afectaciones cerebrovasculares, cáncer, enfermedades pulmonares crónicas y agudas (Grisales, 2018, p. 29), por ello al reducir los niveles de contaminación, se podrá minimizar los riesgos a la salud, siendo crucial evaluar la movilidad de estas partículas contaminantes (Muñes, 2022, p.7).

Del mismo modo, es crucial vigilar la calidad del aire, ya que los contaminantes atmosféricos y material particulado son los elementos que simbolizan una amenaza para el ambiente y están presentes por una serie de razones (Mullen, 2018, p. 5).

La problemática nace del crecimiento económico y la urbanización, asociados al desarrollo de diversas actividades como el crecimiento del parque automotriz, el aumento desmesurado de la industria petrolera, la agroindustria y otras actividades (Gómez & Posada, 2018, p. 52) los cuales

han traído como resultado un consumo intenso de combustibles fósiles, que asociados con la movilidad de partículas contaminantes afectan drásticamente una gran parte de la población (Dos Santos, 2018, p. 5). Asimismo, la contaminación del aire y el movimiento de partículas contaminadas es actualmente uno de los problemas ambientales más preocupantes a nivel mundial, debido a sus consecuencias significativas en los seres humanos, sociedad y ecosistema, poniendo en riesgo la salud de las personas (Caspia, 2019, p. 7).

Por ello, la contaminación del aire se origina de fuentes naturales y antropogénicas, de estas últimas la movilización de partículas es el mayor contribuyente a esta problemática (Rosso, 2022, p. 5), sin embargo, existen otros más como el tipo de contaminante y el grado de concentración en el cual se encuentra, expandiéndose por medio de la fuerza del viento o por diferentes magnitudes (Ericsson, 2021, p. 8).

Además, el tránsito de vehículos en Lima, unido con la velocidad del viento y la temperatura del ambiente, es el causante del movimiento de partículas contaminantes por diferentes zonas (Henríquez, 2018, p. 10). Por ello, dada la problemática nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Cómo se movilizan los contaminantes presentes en el aire de Lima Metropolitana en el periodo 2017-2021?

La investigación se justifica por cuanto permita identificar el movimiento de partículas contaminantes, sabiéndose que gran mayoría de estos contaminantes se desplazan por diversos factores medioambientales, se mostrará las zonas más vulnerables que afecta este tipo de polución, por medio de la implementación de una rosa de viento para su identificación y la verificación de la calidad del aire en el bienestar de los habitantes de Lima Metropolitana.

Existen zonas donde la movilidad de contaminantes afecta gravemente a diferentes sectores, afectando directamente a las personas que habitan en estos lugares, el polvo atmosférico, la velocidad del viento, el parque automotor y las grandes industrias son las principales causantes (Perazzi & Merli. 2021, p. 8), las cuales producen corrientes de polvareda altamente perturbadoras que afectan a la tranquilidad de los habitantes, el polvo

atmosférico arrastrado no es totalmente definido, es decir no ha sido caracterizado, por lo que se hace necesario determinar las condiciones físicas y el tipo de impacto causante (Ulloa & Chung. 2022, p. 58).

Por su parte, según el INEI (2022) Lima alberga aproximadamente diez millones de habitantes, siendo la ciudad más grande del Perú y una de las más grandes en el continente sudamericano. Asimismo, está catalogada dentro de una de las ciudades con la peor calidad del aire de Latinoamérica en el parque automotor de Lima existen 1 982650 vehículos en circulación (Encalada, 2021, p. 6). Esto es muy preocupante, dado que los gases contaminantes que se producen por los vehículos de la capital y el movimiento de estas partículas son los principales causantes de que exista una mala calidad del aire en esta ciudad.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general: Evaluar la movilidad de contaminantes en el aire para Lima Metropolitana en el periodo 2017 – 2021, mientras que los objetivos específicos fueron: Evaluar la movilidad de contaminantes para determinar su dispersión y zonas con mayor índice de exposición en el aire de Lima metropolitana en el periodo de 2017- 2021, Elaborar rosas de viento para identificar distritos expuestos y proponer un modelo de dispersión de contaminantes para Lima Metropolitana para años 2017-2021, por ultimo determinar la proyección del comportamiento del material particulado (PM10) en relación al tiempo.

## II. MARCO TEÓRICO

Los contaminantes atmosféricos más comunes, son las partículas suspendidas en la atmósfera (Mejia et al., 2019), los cuales pueden ser causados por fuentes antropogénicas o naturales y son perceptibles para el ojo humano sobre las superficies y en el aire (Miranda Caspia, 2019). Asimismo, varios factores pueden ser externos o específicos a la fuente durante el proceso de dispersión de contaminantes, las fuentes móviles son las producidas por la flota de vehículos, mientras que las fuentes fijas también se denominan puntos fijos o puntuales (Morales et al. 2018), tales que las concentraciones podrían ser dañinas para varios ecosistemas, así como para la salud humana (Santos & Behrendt, 2019). Los diversos tipos de contaminantes del aire se pueden dividir en contaminantes primarios que se liberan a la atmósfera directamente y contaminantes secundarios que resultan de las interacciones entre los contaminantes (Faria- Moura, & Delgado, 2017, p. 75).

Por otro lado, cuando se trata de dirección y velocidad del viento, se sabe que la fuerza del viento se basa en el movimiento del aire de un área a otra (Querol, 2017, p. 8). Así que existen muchas razones por las que se produce el viento, el cual se crea cuando dos puntos de ajustes tienen diferentes presiones o temperatura (Mendonça & Freitas, 2017, p. 40).

La urbanización, la actividad industrial y el parque automotor se pueden mencionarse como las principales fuentes de contaminación que toda actividad libera a través del consumo de combustibles fósiles o de diversos contaminantes químicos, entre ellos monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono, entre otros, los cuales se producen en diversos procesos productivos, que tienen un impacto ambiental por su composición química (Manzetti & Mariasiu , 2018, p.10).

De acuerdo con los contaminantes del aire que tienen mayores efectos para la salud incluyen el PM<sub>2.5</sub> (igual o menor que 2,5  $\mu\text{m}$ ), PM<sub>10</sub> (igual o inferior a 10  $\mu\text{m}$ ), aunque la contaminación del aire está compuesta de

muchos más contaminantes (OMS, 2021).

Por esta razón, muchas naciones se concentran actualmente en mejorar el nivel del aire en sus ciudades, donde el estado de la calidad del aire determina si es respirable y libre de contaminantes (Akgul, 2020, p.5). La seguridad y salud de las personas, en el medio ambiente se encuentran en riesgo cuando es imposible disfrutar de un ambiente con una calidad de aire adecuada (INEI, 2018, p. 45).

La rosa de viento es un símbolo circular que tienen demarcaciones de direcciones de orientación, la cual fue utilizada por el navegante portugués Pedro Reynel a principios del año 1504, también conocida como la flor de lis. La rosa de los vientos, se cree que son viento fuerte generalmente proviene de una dirección determinada, donde se determina la información sobre la distribución de la velocidad del viento y la frecuencia de los cambios en la dirección de estos, los cuales, se pueden analizar en la rosa de los vientos basándose en el análisis meteorológico de las velocidades y direcciones del viento estimadas (Achuma, 2019, p. 12).

Screen View es un software de código abierto para el entorno de Lakes basado en el modelo EPA SCREEN3. Esta herramienta se usa comúnmente y se usa principalmente para analizar la dispersión de contaminantes de fuentes estacionarias. Comprender y aplicar esto es la base para implementar otros modelos de calidad del aire gaussianos más avanzados, como AER-MOD o ADMS (Méndez & Guevara, 2022, p. 3).

Está diseñada para simular el patrón promedio y crear concentraciones máximas. También es importante mencionar que no se puede aceptar su ajuste debido a que este enfoque está limitado por las incertidumbres introducidas en los datos meteorológicos y fuente. por lo tanto, es imposible estimar con precisión la concentración presente en un momento y lugar determinados (Chávez & Tirado, 2022, p. 9).

El modelo gaussiano estima la concentración constante (la concentración no cambia con el tiempo) en (x, y, z) a favor del viento de la fuente de acuerdo con el siguiente concepto matemático (Marín & Aguilar, 2022).

Arrieta (2017), realizó un estudio sobre la distribución del material particulado 10, con interacciones de componentes meteorológicos y topográficos. Su objetivo fue evaluar cómo los factores topográficos y meteorológicos afectan la dispersión de la fracción gruesa de  $PM_{10}$ . Sus resultados demostraron que las fuentes fijas dispersas fueron las principales o mayores generadoras de emisiones de  $PM_{10}$ . Llegando a la conclusión de que la dirección y la velocidad del viento son los únicos factores meteorológicos que afectan directamente la rapidez con la que los contaminantes se propagan por la atmósfera. También, Guzmán (2019), en su estudio sobre la evaluación de la movilidad del aire de la central térmica Ventanilla, demostró a través de un estudio descriptivo que se pueden recoger diversas variables cuantitativas. Como resultados se tuvo en cuenta el protocolo de monitoreo de calidad del aire y el manejo de datos de la movilidad de partículas, el cual ha sido definido y establecido en las instalaciones de la central, los resultados obtenidos se compararon con los estándares nacionales, determinando que la empresa sobrepasa los valores establecidos de partículas contaminantes en la calidad del aire. De igual forma, Bazán (2019), diseñó un estudio de movilización de concentraciones de polvo atmosférico ( $PM_{2.5}$  Y  $PM_{10}$ ) de la gestión de evaluación de la calidad del aire en el periodo de 2017, para determinar la dinámica de las concentraciones de polvo atmosférico depositado sobre ciudad de Tacna, donde instalaron ocho estaciones de muestra utilizando métodos de muestreo pasivo, incluida la colocación de paneles de vidrio en los pisos superiores de edificios residenciales y de oficinas durante cuatro meses y luego con una recolección de tres cada diez días calendario. Por lo tanto, las ubicaciones de las estaciones de muestreo tienen en cuenta el tipo de carretera, la densidad de población y el volumen del tráfico. Los resultados del muestreo para la movilización de

partículas sedimentarias, muestran valores finales altos, dentro de un radio de 1 Km al sur, superando cifras de la OMS para los niveles de partículas sedimentarias en el aire.

Además, Mauricio y Behrentz (2017), buscaron diagnosticar el problema de la contaminación del aire en la ciudad de Bogotá utilizando los datos de su trabajo de investigación sobre, “Análisis de la calidad del aire en Bogotá”, planteando como objetivo general realizar un diagnóstico de los contaminantes presentes en el aire, usando como muestra tres estaciones en lugares estratégicos de la ciudad, para validar y analizar los datos, que luego se utilizaron para evaluar cuantitativamente el estado de la calidad del aire de la ciudad. Se construyó una base de datos que se estructuró y organizó para este propósito, concluyendo que el principal problema por contaminación en esta ciudad es el  $PM_{2.5}$ .

También, Hilario (2017), en su tesis sobre emisiones vehiculares en la zona de Huancayo, plantearon como objetivo general identificar el grado de contaminantes presentes por el parque automotor, para ello cuantificaron las propiedades del aire; concluyendo que la cantidad de partículas ( $PM_{2.5}$ ) rebasan los ECA para aire ( $25 \mu g/m^3$ ) y para el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) las cantidades también sobrepasan los ECA ( $20 \mu g/m^3$ ); demostrando que en la localidad de Huancayo la exposición a estos contaminantes, se da principalmente por el aumento de unidades vehiculares.

De igual forma, Abriel (2020), en su tesis sobre la influencia de los vientos y su velocidad para la adaptación de una rosa de viento, tienen como objetivo general analizar el desplazamiento de partículas contaminantes, en el cual se examinó la dirección y velocidad del viento donde se produjo los modelos de dispersión de  $PM_{10}$  utilizados en las áreas de estudio, los cuales presentaron un radio crítico de arrastre y de partículas de 200 micras. Este análisis permitió identificar las fuentes de emisión a través de la rosa de viento, concluyendo que este problema requiere estimaciones precisas de las concentraciones de contaminantes en los receptores, pero los costos involucrados en la realización de mediciones de campo suelen ser prohibitivos, por el valor económico que se necesita.

Además, Altamirano (2018), en su investigación sobre el transporte de contaminantes atmosféricos en Chile para el año 2018, planteó como objetivo, evaluar los principales contaminantes presentes en el aire, tomando como muestra estaciones específicas para su análisis y como muestreo plantearon un aleatorio simple, concluyendo que los contaminantes se transportan por el aire por medio de la dispersión, el cual depende del estado de la atmósfera y de factores meteorológicos, como el viento y la radiación solar. Estos fenómenos de dispersión de contaminantes se presentan de diversas formas y pueden provocar una acumulación de contaminantes en áreas cercanas a las fuentes de emisión, o transportarlos a lugares más o menos alejados. Así como, Palmisano (2018), en su estudio sobre la afectación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la infraestructura del campus universitario debido a emisiones de partículas  $PM_{2.5}$ , planteando como objetivo general, estimar la afectación de contaminación atmosférica por material particulado  $PM_{2.5}$ , determinando que la información es representativa y afecta principalmente al área donde está la universidad, con una incertidumbre del 95%, mostrando valores altos de contaminación del aire. También, Lizárraga (2018), nos comenta que en su investigación sobre la dispersión de  $PM_{2.5}$ , analizó las pollerías en el centro de la ciudad, utilizando datos topográficos con resolución de 30 metros, datos meteorológico superficiales y longitudinales en el periodo de enero a diciembre de 2017 y aplicando la recolección de una fuente de datos característicos para la concentración de emisión de  $PM_{2.5}$ , en las pollerías y así determinar la efectividad del modelo AERMOD en la dispersión. También se instalaron estaciones de monitoreo de la calidad del aire en tres zonas urbanas, la actividad de muestreo se realizó de marzo a noviembre de 2017. Los resultados obtenidos muestran que la dirección y la velocidad del viento están estrechamente relacionadas con la dispersión de  $PM_{2.5}$  y la concentración obtenida con el modelo AERMOD, se debe a que el modelo solo tiene datos de pollerías y no otras fuentes de emisión, mostrando que el uso del software AERMOD brinda buenas oportunidades para modelar la propagación de contaminantes

atmosféricos en áreas montañosas para su mejor gestión y medición de la calidad del aire en pollerías. Además, Ríos (2019), en su estudio que evaluó el impacto de material particulado en las personas aledañas a fuentes de contaminación en Perú, utilizó un muestreo pasivo por medio de láminas receptoras, donde se emplearon encuestas durante tres meses, para así poder identificar los posibles impactos a la salud en los pobladores, se obtuvo como resultado un promedio de  $0.66 \text{ mg/cm}^2 * \text{mes}$ , además el 35% de la población presentaron alguna afección, afirmando que en todas las áreas controladas, los valores óptimos quedan fuera de lo estándares de la Organización Mundial de la Salud. Por último, Choez (2017), en su estudio sobre el análisis del aire por contaminación de partículas contaminantes en Pujilí, se promediaron los valores por mes y se realizó un conteo del tráfico vehicular, concluyendo que la estación 6 presentó la media más alta de partículas contaminantes superando estándares de calidad ambiental y además esta trae consigo problemas graves a la salud.

La forma más común de invertir un patrón de distribución de la dirección del viento es con un gráfico de rosa de los vientos, ya que muestra el porcentaje de tiempo que el viento sopla desde diferentes direcciones. Se basa en un gráfico polar que muestra el porcentaje de viento en una dirección determinada frente a la velocidad media en el módulo. Podemos representar datos en dieciséis direcciones, ocho de las cuales se denominan primarias y ocho secundarias (Candel, 2017).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y Diseño de Investigación.**

La investigación desarrollada fue de tipo básica porque aporta información para futuras investigaciones sobre la movilidad de contaminantes en la ciudad de Lima, así como información complementaria sobre la dispersión de los mismos.

Por su parte, el diseño de investigación fue de tipo no experimental, porque no existió una manipulación de las variables, ya que se recopiló datos existentes en la plataforma del Senamhi, incorporándose el desplazamiento de las partículas contaminantes mediante rosas de viento y softwares para medir la dispersión de los contaminantes antes mencionados, y el estado de la calidad del aire en Lima Metropolitana en los años de 2017-2021. Según Iñaki-Saúl & Mirko (2019) este diseño de investigación no construye ninguna situación solo se observan situaciones ya existentes.

#### **3.2. Variables y operacionalización.**

La investigación desarrollada consideró una variable independiente y una variable dependiente. La variable independiente fue la movilidad de contaminantes en el aire, que tiene como dimensiones 5 indicadores, temperatura, humedad, velocidad del viento, presión atmosférica y modelo de dispersión.

En cuanto a la variable dependiente fue la calidad del aire en Lima metropolitana, las dimensiones e indicadores fueron el índice de calidad del aire para saber si esta optima con las dimensiones de material particulado: 10, 2.5 y contaminantes atmosféricos  $SO_2$ ,  $NO_2$  y CO, con escala de medición nominal y la dispersión de contaminantes mediante el uso de Software especializados Wrplot – Screen View para medir la distancia recorrida de cada contaminante. En la tabla N° 07 se muestra información más detallada de este apartado.

### 3.3. Población, muestra y muestreo.

La población estuvo constituida por 43 distritos y un total de diez estaciones de monitoreo ambiental aptas para su recolección de información en Lima Metropolitana, Provincia de Lima, Departamento de Lima, Perú (ver figura 1). Por su parte, la muestra estuvo conformada por 10 distritos ubicados en Lima Metropolitana las cuales son evaluadas a través de cinco estaciones de monitoreo, (Campo de Marte, San Borja, San Martín de Porres, Santa Anita y Villa María del Triunfo).

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, el cual consiste en tomar muestras que sean accesibles y cuenten con las características requeridas para la investigación.



Fig. 1. Ubicación del lugar del muestreo de estaciones de monitoreo en Lima Metropolitana.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La técnica de recolección de datos fue la observación no experimental descriptiva ya que no hubo manipulación de las variables por parte de los investigadores y solo se recopiló los valores de dichas estaciones para su procesamiento y evaluación. Asimismo, el instrumento de recolección de datos fue mediante el sitio web SENAMHI, la cual se realizó directamente desde las cinco estaciones ubicadas en Lima metropolitana, estos valores se procesaron en el programa Wrplot y Screen View para

obtener la movilidad de estas partículas por medio de la rosa de viento y medición de su dispersión de contaminantes.

### **3.5. Procedimientos.**

#### **3.5.1 Recopilación de información**

Se recolectó información de los niveles de contaminantes y material particulado,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  y CO por cada estación presente (Campo de Marte, San Borja, San Martín de Porres, Santa Anita y Villa María del triunfo), dicha información es establecida por horas por cada estación, por ello se promedió por día, mes y año en el periodo 2017-2021. Los datos se obtuvieron a través de la plataforma web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

La información obtenida se procesó por medio del software Microsoft Excel para obtener gráficos estadísticos de estos contaminantes atmosféricos, y poder procesarlo mediante el software WRPLOT para obtener la rosa de viento por cada estación y temporadas analizadas. Asimismo, se calculó la movilidad de estas partículas contaminantes por medio del Software SCREEN View, con datos específicos de las estaciones meteorológicas y poder medir su distancia de dispersión por partícula contaminante.

#### **3.5.2 Creación de Gráficos**

Al tener los promedios de material particulado por cada estación en los años a estudiar, se procedió a graficar estos niveles para así conocer las estaciones que presenta mayor índice de contaminantes atmosféricos para los años 2017-2021.

Estos gráficos se realizaron con el programa Microsoft Excel, donde se plasmaron los niveles exactos de la concentración de contaminantes obtenidos y se promedió por día en cada estación, una vez obtenido los gráficos nos mostraron donde existen los niveles con mayor carga de contaminantes.

### **3.5.3 Implementación de la rosa de viento**

Con estos niveles obtenidos en Excel se plasmó en el programa Wrplot para conocer la movilidad de estos contaminantes y su desplazamiento, donde se necesitaron valores meteorológicos de: velocidad y dirección del viento, también fue necesario especificar los días y horas analizados para poder realizar la creación de la rosa de viento, la cual, mostró cómo estos vientos influyen en la dispersión de contaminantes por diferentes zonas de Lima metropolitana en el período de 2017- 2021.

### **3.5.4 Dispersión de contaminantes.**

Los datos obtenidos fueron procesados por el programa Screen View con la finalidad de determinar su dispersión, para ello se necesitó valores de temperatura del ambiente, mensuales y anuales, también datos específicos de las estaciones como: distancia de estación al suelo, temperatura promedio, tasa de emisión, diámetro de la estación, velocidad del viento, temperatura de ambiente y establecer el tipo de fuente a analizar, por material particulado contaminante; así logramos la distancia específica que recorre cada partícula y las zonas afectadas directamente por medio de estas partículas contaminantes.

### **3.6. Método de análisis de datos.**

Los datos obtenidos a través de la web Senamhi se plasmaron directamente en Microsoft Excel, para poder obtener datos diarios, mensuales y anuales por estaciones meteorológicas y estaciones de monitoreo ambiental, posteriormente se procesó por el software Wrplot para obtener la rosa de viento por estaciones anualmente, sabiendo así la movilidad de estos contaminantes se puede realizar

su medición de dispersión, mediante la temporada a evaluar y así graficar su dispersión de los contaminantes atmosféricos y posteriormente comparados con los Estándares de Calidad Ambiental vigente.

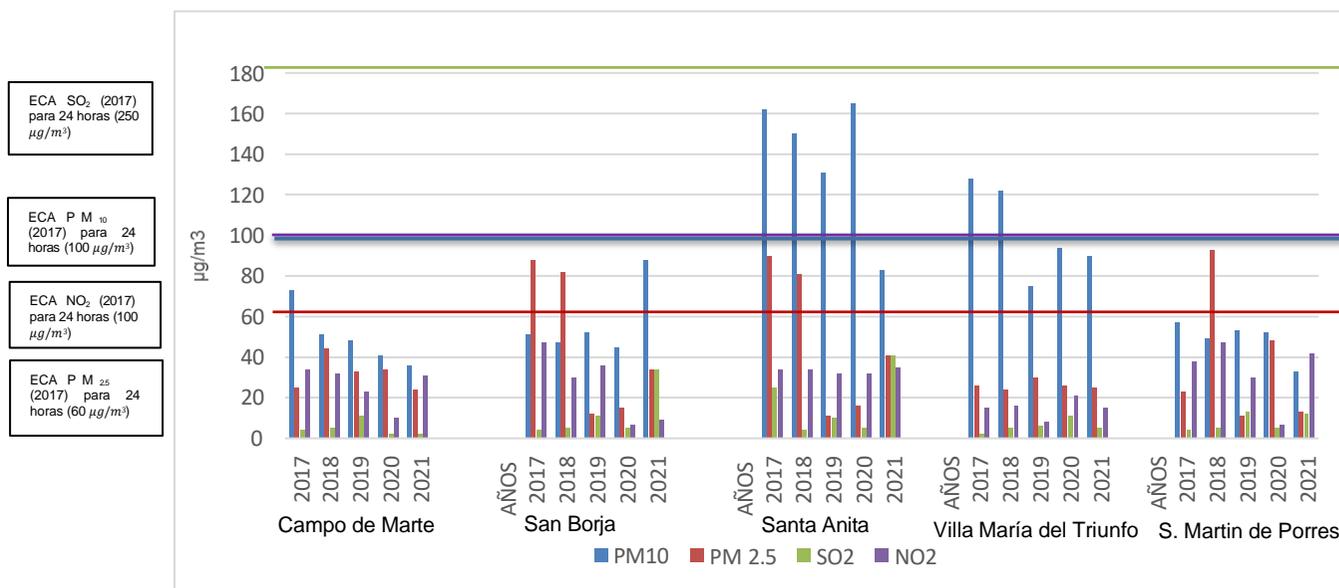
Por medio del software Wrplot, se mostró la rosa de viento por distrito y se procesó anualmente, la obtención de estos valores se procesó mediante el programa Screen View, donde se usó datos de las estaciones meteorológicas y de las estaciones de calidad del aire para el análisis de la dispersión de contaminantes.

### **3.7. Aspectos éticos.**

La investigación desarrollada es transparente durante todo el proceso y se alinea con el código de ética en investigación, los cuales están establecidos en el artículo 64 de la resolución del consejo universitario N° 0101-2022/UCV, donde se tiene como objetivo fomentar la integridad científica y cumplir con los estándares de rigor científico de la investigación. Los investigadores se comprometen a demostrar la veracidad de los resultados y también utilizar fuentes fiables que demuestren la realidad y sean convincentes. Asimismo, cabe mencionar que la toma de muestras de estas estaciones no afectó a los ecosistemas, ni al medio ambiente ya que solo se analizó y procesó los resultados ya existentes.

#### IV. RESULTADOS

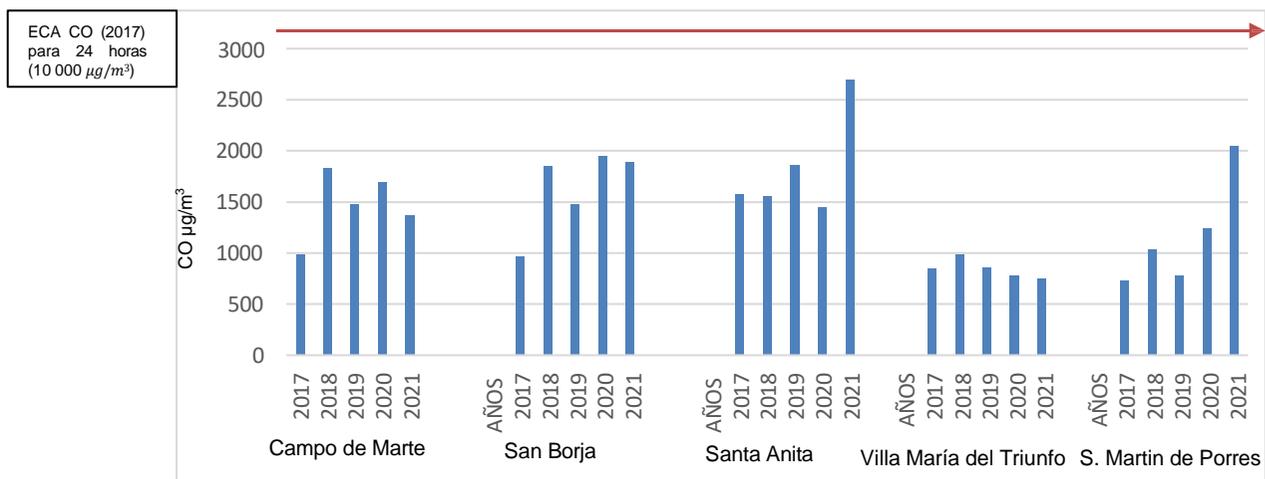
La siguiente figura muestra los valores por contaminantes obtenidos, de cada parámetro evaluado y comparados mediante los valores del ECA-aire de 2017 para para contaminantes del aire.



**Fig. 2.** Contaminantes atmosféricos Lima Metropolitana 2017-2021 y ECA 2017.

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Se muestra las concentraciones anuales de las cinco estaciones de monitoreo y sus contaminantes, como eje “y” los niveles de concentración µg/m<sup>3</sup> por contaminante y como eje “x” los años por estación, también se estableció un nivel el cual se definió con el estándar de calidad ambiental, aprobados en el año 2017, según el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.



**Fig.3.** Niveles de concentración de Monóxido de carbono, de las estaciones evaluadas para Lima Metropolitana, periodo 2017-2021.

**Fuente:** Elaboración propia, 2023.

**Tabla 1.** Movilidad, dirección y velocidad del viento de las estaciones evaluadas, usando el software Wplot 2017-2021. (Ver Figura 5-9)

Estación	Año	Dirección del viento	% De Vientos		
			Min (m/s)	Max (m/s)	Cal (%)
Campo de Marte	2017	Noreste	0.50	5.70	5.43
	2018	Noreste	0.50	8.80	3.60
	2019	Noreste	0.50	8.80	4.28

	2020	Noreste	0.50	8.80	9.79
	2021	Noreste	0.50	8.80	9.51
Santa Anita	2017	Norte al Este	0.50	5.70	6.22
	2018	Norte al Este	0.50	5.70	4.90
	2019	Norte al Este	0.50	5.70	13.30
	2020	Norte al Este	0.50	5.70	5.72
	2021	Noroeste al Este	0.50	5.70	6.67
San Martin de Porres	2017	Noroeste al Sureste	0.50	3.60	2.43
	2018	Noroeste al Sureste	0.50	5.70	1.60
	2019	Noroeste al Sureste	0.50	5.70	2.06
	2020	Noroeste al Sureste	0.50	5.70	2.34
	2021	Noroeste al Sureste	0.50	5.70	4.28
San Borja	2017	Noroeste al Este	0.50	5.70	6.22
	2018	Noroeste al Este	0.50	5.70	6.37
	2019	Noroeste al Este	0.50	5.70	12.68
	2020	Noroeste al Este	0.50	5.70	70.23
	2021	Norte	0.50	5.70	34.75
Villa María del Triunfo	2017	Vientos en todas las direcciones.	0.50	11.10	6.58
	2018	Oeste al Este	0.50	5.70	5.25
	2019	Noroeste al Sureste	0.50	3.60	16.40
	2020	Noroeste al Sureste	0.50	5.70	10.95
	2021	Noroeste al Sureste	0.50	3.60	14.85

**Fuente:** Elaboración propia, 2023.

### Interpretación.

Se contempla la dirección del viento, velocidad máxima, mínima y el porcentaje anual de vientos calmados, por cada estación meteorológica y años analizados, extraídos de las rosas de vientos las cuales son generadas a través del software WRPLOT.

**Tabla 2.** Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida de Material Particulado 10, mediante el software SCREEN View, para estaciones de monitoreo. (Ver Figura 10)

Estación	Año	Concentración <b>Maxima</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tem <b>C°</b>	Nivel de concentración			
				<b>DIS P.</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>DIS TA.</b> (metros)	<b>CON ST.</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	DISTA (metros)
Campo de Marte	2017-2021	2017 (75)	17.6	-18	500	9	<b>700</b>
San Borja	2017-2021	2021 (83)	16.8	-33	350	17	<b>800</b>
San Martin de Porres	2017-2021	2017 (61)	14.9	-19	400	9	<b>600</b>
Santa Anita	2017-2021	2019 (195)	19.4	-25	200	45	<b>650</b>
Villa Maria del Triunfo	2017-2021	2018 (130)	16.2	-20	100	18	<b>650</b>

**Fuente:** SCREEN View.

### Interpretación.

Se muestra el año donde alcanzo los niveles máximos de dispersión del material particulado 10, y su reducción de la concentración de este contaminante dependiendo a la distancia, mediante el software de dispersión SCREEN VIEW, permitiendo el alcance de 2 Km.

**Tabla 3.** Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida de Material Particulado 2.5, mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo. (Ver Figura 11)

Estación	Año	Concentración Máxima (µg/m3)	Tem. C°	Nivel de Concentración			
				DISP. (µg/m3)	DISTA. (metros)	CONST. (µg/m3)	DISTA. (metros)
Campo de Marte	2017-2021	2018 (45)	18.13	-13	150	08	600
San Borja	2017-2021	2017 (95)	17.94	-25	150	17	650
San Martin de Porres	2017-2021	2018 (100)	15.74	-24	200	18	600
Santa Anita	2017-2021	2017 (63)	16.80	-23	300	13	1000
Villa Maria del Triunfo	2017-2021	2019 (33)	15.37	-20	200	05	750

**Fuente:** SCREEN View.

**Tabla 4.** Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida del Dióxido de Azufre, mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo. (Ver Figura 12)

Estación	Año	Concentración Máxima (µg/m3)	Tem. C°	Nivel de Concentración			
				DISP. (µg/m3)	DISTA. (metros)	CONST. (µg/m3)	DISTA. (metros)
Campo de Marte	2017-2021	2019 (12)	19.23	-4	250	03	600
San Borja	2017-2021	2020 (50)	20.66	-20	200	15	800
San Martin de Porres	2017-2021	2020 (22)	16.13	-7	200	3	1000
anta Anita	2017-2021	2021 (25)	17.18	-5	100	5	700
Villa Maria del Triunfo	2017-2021	2020 (21)	18.72	-6	200	04	800

**Fuente:** SCREEN View.

**Tabla 05.** Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida del Dióxido de nitrógeno, mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo. (Ver Figura 13)

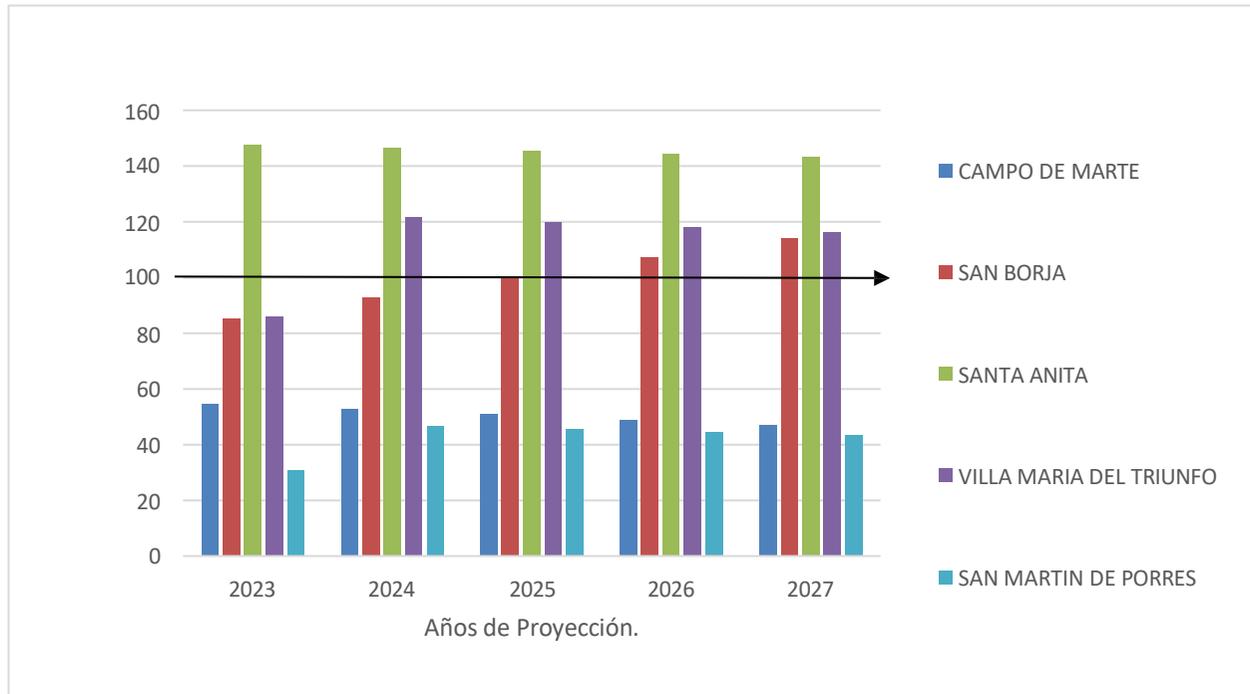
Estación	Año	Concentración Máxima (µg/m3)	Tem. C°	Nivel de Concentración			
				DISP. (µg/m3)	DISTA. (metros)	CONST. (µg/m3)	DISTA. (metros)
Campo De Marte	2017-2021	2018 (38)	18.13	-18	250	8	800
San Borja	2017-2021	2018 (43)	17.85	-20	200	5	650
San Martin de Porres	2017-2021	2018 (51)	15.74	-15	300	8	700
Santa Anita	2017-2021	2018 (25)	18.61	-10	200	6	600
Villa Maria del Triunfo	2017-2021	2020 (23)	18.72	-5	200	4	600

Fuente: SCREEN View.

**Tabla 06.** Dispersión máxima, nivel de concentración y distancia recorrida del Monóxido de carbono, mediante el software SCREEN View, para las estaciones de monitoreo. (Ver Figura 14)

Estación	Año	Concentración Máxima(µg/m3)	Tem. C°	Nivel de Concentración			
				DISP. (µg/m3)	DISTA. (metros)	CONST. (µg/m3)	DISTA. (metros)
Campo de Marte	2017-2021	2018 (1850)	18.13	-500	200	430	600
San Borja	2017-2021	2020 (1700)	20.66	-450	100	800	300
San Martin de Porres	2017-2021	2021 (2150)	15.89	-550	150	500	600
Santa Anita	2017-2021	2021 (2200)	17.18	-750	300	600	700
Villa Maria del Triunfo	2017-2021	2018 (1100)	20.19	-300	250	200	650

Fuente: SCREEN View.



**Fig. 4.** Proyección a 5 años del comportamiento del Material Particulado 10.

**Fuente:** Elaboración Propia 2023.

## V. DISCUSIÓN

En la Figura 02, se muestran que en la estación de Santa Anita las concentraciones de material particulado  $PM_{10}$ , supera los niveles de estándar establecido, presentando valores que están por encima de los  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los años 2017, 2018, 2019 y 2020 y la estación de Villa María del triunfo ronda niveles similares, alcanzando concentraciones de  $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $122 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los años 2017 y 2018 respectivamente, sin embargo, se mantuvo al tope para los siguientes periodos. Asimismo, Yousaf et al. (2021) manifestaron el nivel de concentración de  $PM_{10}$  en la ciudad de Lahore Pakistan, con una metodología descriptiva, basada en la recolección de datos de la estación de monitoreo del lugar, donde obtuvieron un valor anual de  $PM_{10}$  de  $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , concluyendo que se debe a el tráfico y zonas comerciales, donde Espinoza (2018), mostró la variación anual de  $PM_{10}$ , basando la metodología en la comparación de los resultados con los estándares de la calidad del aire, mostrando que todas estaciones evaluadas en Lima Metropolitana, a excepción del Callao, superan significativamente los valores límites del ECAs para  $PM_{10}$  anual. Para el material particulado 2.5, en la mayoría de estaciones se muestra concentraciones inferiores, sin embargo, para la estación de Santa Anita y San Borja se mostró niveles superiores a lo establecidos, llegando a obtener una concentración de  $80$  y  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los años 2017 y 2018. Medina & Meza (2021), mostraron los valores de  $PM_{2.5}$  en el año 2019 y 2020 en Lima Metropolitana, con una metodología basada en la recolección, interpretación y comparación de resultados, donde alcanzo un nivel de  $55,80$  y  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, siendo la estación de San Juan de Lurigancho para el año 2019 la que supero los estándares anuales establecidos en  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para material particulado, en otra instancia, Espinoza (2018) analizó la variación multianual del  $PM_{2.5}$ , basando su metodología en la investigación cualitativa descriptiva, mostrando que todas las estaciones de monitoreo en Lima Metropolitana, a excepción del Callao, superan significativamente los valores límites del ECA para  $PM_{2.5}$ , alcanzando valores de  $60$  y  $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el periodo de estudio.

Por tanto, mediante los registros obtenidos, se muestra que Lima Metropolitana no presentó un problema de contaminación del aire para  $\text{NO}_2$  en el periodo estudiado, sin embargo, estas concentraciones para las zonas de Villa María del Triunfo se mantuvieron por debajo del  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a excepción de la zona de San Martín de Porres y San Borja los cuales presentaron unas altas concentraciones con una tendencia creciente conforme al pasar de los años estudiados, sin embargo Pinedo (2017) planteó una metodología de investigación cualitativa, donde encontró que en las gasolineras de las unidades de transporte pesado de las ciudades de La Banda de Silcayo, Tarapoto y Morales obtuvieron un valor de  $354\mu\text{g}/\text{m}^3$  por encima del nivel establecido, esto debido a un mayor flujo de tráfico en la zona.

Por su parte, en la Figura 03, se muestra la concentración de CO, donde se observa que los valores registrados en las 5 estaciones están muy por debajo del Estándar de Calidad Ambiental para cada año ( $10\,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sin embargo, para la estación de Santa Anita y San Martín de Porres se observa un aumento progresivo muy significativo, el cual tendría influencia por el parque automotor, que debe tener una especial observación y cuidado por un aumento en la concentración desmesurado en los próximos años, como lo menciona García (2019), el cual planteó su investigación cualitativa y mostro valores de concentración de CO anuales para los años 2018 y 2019, que alcanzaron los valores de:  $8144.79$  y  $6123.54\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Asimismo, estos fueron comparados y están dentro del límite que el D.S. 003-2017 decretó, siendo las principales fuentes de contaminación las móviles y vehículos livianos.

En el Anexo 01, para la estación de Villa María del Triunfo en las temporadas de tiempo estudiadas, nos muestra la velocidad y dirección a donde se dirigen estos vientos, mostrando que en la mayoría de los años analizados, la dirección a donde se desplaza el viento es al Noreste con una velocidad de  $0.50$  a  $3.60\text{ m/s}$ , sin embargo, el año 2017 se muestra una variación distinta donde los vientos incrementaron, mostrando que en un periodo de  $3.90\%$  de tiempo, los vientos están soplando en dirección

sur a una velocidad de 11.10 m/s al año, para el año 2018 se muestra que la intensidad de los vientos llegó a incrementar su nivel, desplazando los vientos al Noroeste en intensidades de 3.60 m/seg en un periodo de 1.50% de tiempo, además, para el año 2018 y 2020 se muestra vientos que alcanzaron hasta 5.70 m/s en un 3% durante todo el año. Sin embargo, se muestra que los vientos se mantuvieron entre los 0.50 a 2.10 m/s en un 73% durante el tiempo analizado, sin embargo Amaya (2017) su metodología planteada fue una investigación cuantitativa, realizada en la planta de Kroma-Naña en diciembre de 2016, el viento predominante fue del noroeste, con vientos calmados en un 58.33% anual, mediante los resultados obtenidos de las variables meteorológicas y con vientos predominantes del noroeste, se puede concluir que el mayor número de los contaminantes provienen de las emisiones de la planta Croma, los cuales, también son transportados a la cercana localidad de La Floresta-Colombia.

En el Anexo 02, de la estación meteorológica de Campo de Marte, nos muestra una dirección de viento constante, donde la diferencia es la variación de la velocidad e intensidad del viento, los cuales, tienen un desplazamiento constante hacia el Noreste, sin embargo la fuerza de la misma varía de acuerdo a los periodos estipulados, mostrando que la velocidad del viento se desplaza desde el Noreste con una intensidad de 0.50 a 2.10, en un periodo de tiempo de 33% para los años 2017-2021, existiendo también vientos de 2.10 a 3.60 m/s en un periodo de tiempo de 25% al año y 11% del tiempo para una intensidad de 3.60 a 5.70 m/s aproximadamente. Las rosas de viento para la estación de campo de marte son similares durante cada temporada, variando solo el porcentaje de intensidad, sin embargo, para los años 2018, 2019, 2020 y 2021 nos muestra vientos fuertes que llegan a tener un periodo de tiempo del 2% con intensidades de 6.70 a 8.80 m/s, donde Oscategui (2018) planteó como metodología una investigación mixta, donde analizo las concentraciones de material particulado en los años 2014-2018 en sus interacciones con factores meteorológicos en la región de Ate, mostrando que la humedad relativa media anual ocurrió en el año 2017 y se esta fue

registrada como la mayor anomalía (-8.22%) y en 2015 se registró la menor anomalía (-1,80%). El viento en el período 2010-2014 se considera débil cuando la velocidad media anual es  $<3$  m/s y la dirección predominante del viento es suroeste (SW).

En el Anexo 03, para la estación de San Martín de Porres, nos muestra que la dirección de los vientos se mantiene en el Noreste con una intensidad de 0.50 a 5.70 en los periodos de tiempo estipulado, sin embargo, los niveles predominantes de los vientos son de 0.50 a 2.10, en un 62.1% del tiempo, mostrando vientos leves para el periodo estudiado, sin embargo, se asimiló con Ponce (2021) el cual realizó una investigación cualitativa, en torno a la movilidad de contaminantes mediante el análisis de la rosa de viento, determinando que los vientos aumentaron en la estación Surco, estableciendo que tendría una influencia foránea determinada por la dispersión o transporte de  $PM_{2.5}$  ya que los vientos de las regiones sur y sureste, se desplazan hacia el norte y noroeste de Lima con intensidad leve.

En el Anexo 04, la estación de Santa Anita, nos muestra la rosa de viento por cada temporada evaluada, donde se perciben vientos leves que se desplazan por el Noreste a una velocidad de 0.55-2.10 m/s con un porcentaje del 55% del tiempo con una velocidad de 2.10 a 3.60 m/s, con una intensidad leve, sin embargo, supera la normativa vigente del  $PM_{2.5-10}$  en la mayoría del tiempo evaluado, mostrando una dispersión al Noreste de la estación evaluada, donde Valdivia (2016) realizó una investigación cuantitativa, mostrando que la parte norte, sur y este de Lima tienen los niveles más altos de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , los valores de la razón para el área metropolitana de Lima van desde 0,50 (Lima Norte) hasta 0,75 (Callao), con un promedio de ciudad de 0,65.

En el Anexo 05 en la estación de San Borja, nos muestra la intensidad de los vientos con una dirección de movilidad de Noroeste a Noreste, mostrando un nivel leve, con un 61% del tiempo los vientos oscilan entre 0.50 a 2.10 m/s, 14% entre 2.10 a 3.60, 2% entre vientos de 3.60 a 5.70 y

24.5% de vientos calmados para los años estudiados, sin embargo Gaitán (2019), afirmó que el año 2018 se observó los valores máximos de contaminantes atmosféricos, con fuertes vientos predominante provenientes del suroriente, deduciendo que para este año Bogotá presento un transporte de material particulado hacia zonas externas del perímetro urbano, la investigación realizada fue de tipo cualitativa.

En la Anexo 06 y Tabla 02, se mostró los gráficos de  $PM_{10}$  de las cinco estaciones evaluadas, exponiendo su dispersión de acuerdo a la distancia que esta recorre, la cual ocurre debido a las condiciones climáticas antes evaluadas y plasmadas mediante el software de dispersión Screen View. La estación de Santa Anita, mostro que su mayor concentración para material particulado  $PM_{10}$ , donde lo niveles de concentración fueron elevados en los años 2017, 2018, 2019 y 2020 con un valor aproximado de  $180 \mu g/m^3$  y un descenso de  $-25 \mu g/m^3$  cada 200m, mostrando la exposición de altas concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  en un rango de 400m en dirección Noreste de la estación meteorológica, sin embargo, esta se mantiene constante en una concentración de  $45 \mu g/m^3$  cada 650m, sin embargo, para la estación de Villa María del Triunfo mostró los niveles más altos en los años 2017 y 2018 presentando valores de hasta  $125 \mu g/m^3$ , con un descenso de  $-20 \mu g/m^3$  cada 100m, manteniéndose constante en  $18 \mu g/m^3$  a los 650m aproximadamente, la exposición se encuentra en dirección de Este hasta el Oeste en un rango aproximado de 220m, sin embargo Vidal (2018), estimó la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por la industria papelera, analizando ( $SO_2$ ,  $NO_2$  y partículas suspendidas totales o PST) generados por una caldera de una empresa productora de papel, ubicada en el departamento del Valle del Cauca, reconociendo su impacto potencial en pueblos dentro de los 5 Km de la fuente fija y determinando que la corriente de contaminación se extendía en la dirección del viento predominante y que su trayectoria dependía del terreno o topografía del lugar. Las concentraciones máximas de contaminantes encontradas son de ( $0,012 \mu g SO_2 /m^3$ ,  $1,42 \mu g NO_2 /m^3$  y  $0,109 \mu g TSP/m^3$ ).

En el Anexo 07 y Tabla 03 se mostró la dispersión del material particulado  $PM_{2.5}$  presentes en las cinco estaciones evaluadas, para la temporada de 2017-2021, mostrando la movilidad de las partículas en un rango de 2 Km, desde la estación de monitoreo.

La estación de San Martín de Porres mostró el nivel de concentración más alto en el año 2018, con un nivel de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una reducción de concentración de  $-24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  cada 200m, manteniéndose constante a  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los 500m, en otra instancia, Valeriano (2020) realizó una investigación mixta, donde evaluó variables meteorológicas de la dispersión espacio-temporal de contaminantes atmosféricos ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ) de la zona de Pacocha, Moquegua 2019-2020, en el cual determinó las variables meteorológicas en la dispersión espacio-temporal de estos contaminantes, obteniendo que para  $PM_{2.5}$ , los valores máximos se registraron en el año 2019,  $PM_{2.5} = 75.33 \text{ g}/\text{m}^3$ , lo que indica que la concentración está relacionada con las variables meteorológicas y emisiones provocadas por el tráfico vehicular.

En el Anexo 08 y Tabla 04, se observa la dispersión de  $SO_2$  donde Villa María del Triunfo muestra niveles bajos de concentración, sin embargo, un aumento significativo de la concentración del contaminante se ve reflejado cada año, mostrando su nivel más bajo en el año 2017 y aumentando su concentración en  $+5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  cada año. La estación de San Borja mostró los puntos más altos de concentración entre las estaciones evaluadas de  $SO_2$  con un rango promedio de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y manteniéndose constante a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en una distancia de 600m, para los años 2017-2018-2020 en dirección de Noroeste al Este, sin embargo Gaviria (2022) en su investigación cualitativa, describe la simulación de ocho escenarios diferentes para la dispersión de contaminantes  $SO_2$ , basadas en información técnica sobre la concentración de las chimeneas, de una de las estaciones de monitoreo atmosférico en la ciudad de Salamanca, mostrando una concentración promedio máxima de  $399 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a una distancia promedio de 1800m y la dispersión nocturna máxima se mostró a una velocidad del viento de 8,4 m/s, y una concentración de  $SO_2$  de  $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En el Anexo 09 y Tabla 05, observamos la dispersión del contaminante NO<sub>2</sub> en las estaciones evaluadas, donde la estación de San Borja presentó su valor más alto en el año 2018 con una concentración de 43µg/m<sup>3</sup> en la estación de muestreo, sin embargo, descendió considerablemente para los siguientes años evaluados, caracterizándose por su manera de dispersión del contaminante a unos -30 µg/m<sup>3</sup> en los primeros 450m y manteniendo una concentración de 20µg/m<sup>3</sup> en unos 350m, los vientos dispersan a estos contaminantes al Norte de la estación de San Borja.

Santa Anita presentó valores similares para los años evaluados, sin embargo, sus valores más altos se encuentran en los años 2017 y 2018, para luego tener un descenso no tan significativo con una diferencia de -7µg/m<sup>3</sup>, donde el contaminante se mantiene constante a 7µg/m<sup>3</sup> en unos 700m y en una dirección de dispersión de Norte al Este, sin embargo Valeriano (2020) determinó que la mayor contribución de NO<sub>2</sub>, proviene de la dirección noreste (NE), posiblemente relacionado con la actividad de la mina Tokepal, donde menciona que el uso de explosivos hechos de nitrato de amonio durante voladuras en tajos abiertos en áreas mineras, emite altas concentraciones de NO<sub>x</sub> (500 ppm), que es 3000 veces mayor que las normas internacionales pueden explicar las tasas de cotización más altas para los años 2019 – 2020, la investigación fue cualitativa.

Sin embargo, en el Anexo 10 y Tabla 06, se observa la concentración del contaminante CO para las 5 estaciones evaluadas, siendo las estaciones de Santa Anita, San Borja y San Martín de Porres las que presentaron los mayores niveles. San Borja presentó su concentración máxima en el año 2020 con un valor de 1700µg/m<sup>3</sup> y una dispersión de 400µg/m<sup>3</sup> cada 200m, con una dirección de dispersión al Norte de la estación antes mencionada. San Martín de Porres y Santa Anita presentaron su valor máximo en el año 2021, con un aproximado de 2200µg/m<sup>3</sup> y una dispersión de -250µg/m<sup>3</sup> cada 200m, manteniéndose constante en los 800m a una concentración de 230µg/m<sup>3</sup> y una dirección de dispersión de Noroeste al Noreste.

## VI. CONCLUSIONES.

1. La movilidad de contaminantes sigue un patrón periódico en las estaciones de Santa Anita, San Borja y Campo de Marte, sin embargo, en las estaciones de San Martín de Porres y Villa María del Triunfo no existe un patrón único de movilidad, siendo las más afectadas por la dispersión de contaminantes atmosféricos en los años 2018-2019.
2. Los distritos más expuestos por la concentración de contaminantes atmosféricos fueron: Villa María del Triunfo en los años 2017 y 2018, con un rango de afectación de 200m a 300m tomado desde la estación de monitoreo y en dirección de Suroeste a Sureste para el año 2017 y de Oeste a Este para el año 2018, Santa Anita en el periodo 2017 al 2020 en dirección Noreste con un rango de afectación de 200m y San Martín de Porres para el año 2018, en un rango de 300m en dirección de Noroeste al Sureste, proponiendo al software de Screen View como modelo de dispersante para nuevos estudios de dispersión de contaminantes atmosféricos.
3. La proyección planteada para el material particulado PM<sub>10</sub>, afectaría al distrito de Santa Anita y Villa María del Triunfo para los próximos 5 años, sin embargo, se observaría un incremento en la mayoría de las estaciones evaluadas que podrían superar los 70µg/m<sup>3</sup> al día.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

1. Se debe tener una coordinación del Ministerio del Ambiente con el Ministerio de transportes, con el fin de tener un control estricto para las emisiones tóxicas del parque automotor, a fin de reducir y minimizar sus emisiones.
2. Realizar estudios comparativos con la temporada Covid- 19, para así medir el nivel de incremento por estaciones a través de las concentraciones de contaminantes atmosféricos.
3. Es necesario tener en cuenta un control del estudio a nivel progresivo y continuo, para notar los cambios progresivos de cada contaminante atmosférico.
4. Proponer alternativas de solución o equipos de protección personal para distritos con mayor concentración de contaminantes atmosféricos, con el fin de cuidar su salud si el incremento de contaminantes se mantiene o aumenta.

## IX. REFERENCIAS

- Akgül, Engin & YÜMÜN, Gündüz. Effect of air pollution, air pressure and air temperature on new onset pulmonary thromboembolism: A casecontrol study. *Journal of Surgery and Medicine*, 2020, vol 4(12), pp. 1201–1204. [fecha de consulta: 10 de Noviembre 2022] [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.28982/josam.822731>.
- ALBAN, Gladys; ARGUELLO, Alexis; MOLINA, Nelly. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 2020, vol. 4, no 3, p. 163-173. [fecha de consulta: 15 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Bello. Contaminación por ozono, estrés oxidativo, plasticidad sináptica y neurodegeneración, 2019, Mexico. [fecha de consulta: 15 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - Ozone Pollution, Oxidative Stress, Regulatory T Cells and Antioxidants | Signed in](#)
- Brickell, E., Whitford, A., Boettcher, A., Pereira, C. & Sawyer, R. J. A-1 the influence of base rate and sample size on performance of a random forest classifier for dementia prediction: Implications for recruitment. *Arch. Clin. Neuropsychol.* 36, 1040–1040.(2019). [fecha de consulta: 05 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/PfzsCwpL5zXBCvs3jTGsX8p/?lang=en>
- Alvarado. Xinia. Impacto en la salud ambiental por efecto de emisiones de dióxido de azufre del Volcán Arenal, en la población de la Fortuna de San Carlos. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 2016. [fecha de consulta: 13 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v15n29/3318.pdf>
- Cabral. Indoor concentrations of particulate matter 2.5 in a pediatric emergency service, 2021. [fecha de consulta: 10 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - Indoor concentrations of particulate matter 2.5 in a pediatric emergency service | Signed in](#)

- Camilo et al. Material particulado en suspensión en río de la plata, 2018. Argentina, Buenos Aires. [fecha de consulta: 11 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - Suspended particulate matter in the Río de la Plata: Importance in its spatial and temporal variability of the Bermejo river | Signed in](#)
- CASAPIA et. al. Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (PM2.5, PM10) para la gestión de la calidad del aire 2017, en la ciudad de Tacna. *Ingeniería Investiga*, 2019, vol. 1, no 1, p. 124-138. [fecha de consulta: 23 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.47796/ing.v1i1.128>
- Cowell. Environmental PM2.5 resolved spatially and temporally in relation to preterm, USA, 2021. [fecha de consulta: 8 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.17159/2410-972X/2016/v26n1>.
- Christidis. La influencia de la concentración de PM2.5 al aire libre en el lugar de trabajo sobre las estimaciones de mortalidad no accidental en una cohorte basada en el censo canadiense, 2020. [fecha de consulta: 2 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - The influence of outdoor PM2.5 concentration at workplace on nonaccidental mortality estimates in a Canadian census-based cohort | Signed in.](#)
- Crouse DL, Peters PA, Hystad P, Brook JR, van Donkelaar A, Martin RV, et al. Ambient PM2.5, O<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub> exposures and associations with mortality over 16 years of follow-up in the Canadian census health and environment cohort (CanCHEC). *Environ Health Perspect.* 2017;123:1180–6. [fecha de consulta: 6 de Noviembre 2022] [En línea] Disponible en: <https://www.scielo.br/ijb/a/tFJQGqyvZrmd6CnnFhQ3YFp/?lang=en>
- Delgado-Saborit, J. M. et al. A critical review of the epidemiological evidence of effects of air pollution on dementia, cognitive function and cognitive decline in adult population. *Sci. Total Environ.* 757, 143734 (2021). [fecha de consulta: 5 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: <https://www.scielo.br/ijrpp/a/ckygQHxGH3XNDx6zLb3yXdf/?lang=en>

- ENCALADA, Alexandra, et al. A Spatio-Temporal Visualization Approach of PM10 Concentration Data in Metropolitan Lima. *MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute)*. Perú, 2021. pp. 2. [fecha de consulta: 4 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en:  
<https://doi.org/10.3390/atmos12050609>
- Galvez. Material particulado y gases contaminantes en la comuna de El Bosque ¿cuánto influyen en la cantidad de consultas por enfermedades respiratorias? Chile, 2017. [fecha de consulta: 1 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31095233/>
- Henriquez. Material particulado y gases contaminantes en la comuna de El Bosque ¿cuánto influyen en la cantidad de consultas por enfermedades respiratorias? Chile, 2017. [fecha de consulta: 5 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
[Association between air pollution and emergency consultations for respiratory diseases \(scielo.cl\)](https://scielo.cl/Association-between-air-pollution-and-emergency-consultations-for-respiratory-diseases)
- He, F. et al. Impact of air pollution exposure on the risk of Alzheimer's disease in China: A community-based cohort study. *Environ. Res.* 205, 112318 (2020). [fecha de consulta: 11 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572022000300199&lang=es.](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572022000300199&lang=es)
- Instituto nacional de estadística e informática (INEI). Parque automotor en circulación a nivel nacional, según departamento, 2011-2019. INEI. Perú, 2019. Disponible en:  
<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/prueba-11103/>
- Instituto nacional de estadística e informática (INEI). Calidad del Aire, Informe técnico, 2018. INEI, 2018. Disponible en:  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1662/cap08.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1662/cap08.pdf)
- Kim. New analysis of the association between long-term reduction of PM 2.5 concentrations and improved life expectancy in the USA, 2021. [fecha de consulta: 2 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en:  
[Scopus - Document details - Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of ne particles |](#)

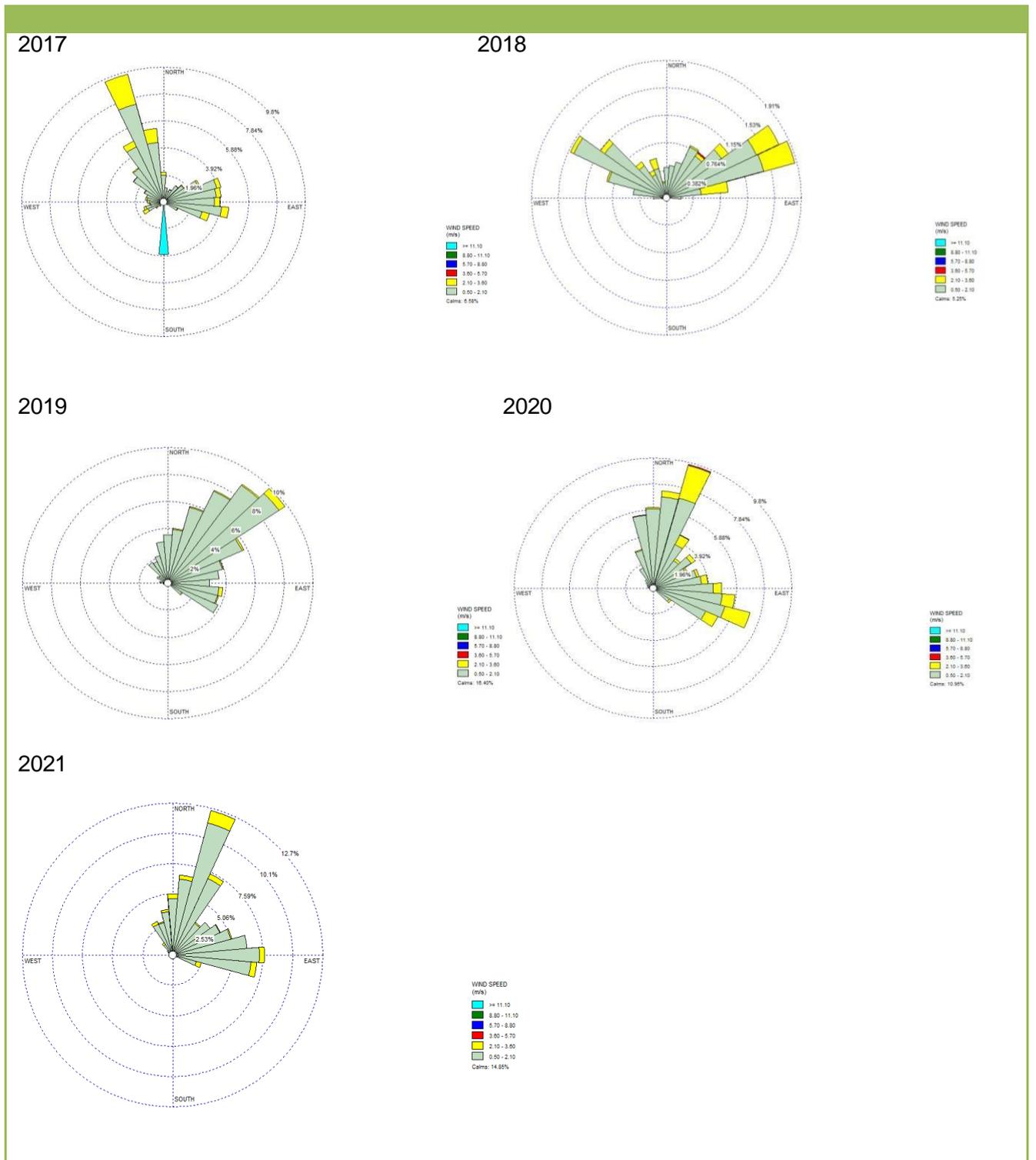
- Lugato, E., Lavalley, J.M., Haddix, M.L. et al. Author Correction: Different climate sensitivity of particulate and mineral-associated soil organic matter. Nat. Geosci. 15, 509 (2020). [fecha de consulta: 2 de Noviembre 2022] [En línea] Disponible en:  
<https://www.scielo.br/j/bjb/a/d9CCCrwkVtvBWvNv3TRJ86m/?lang=en>
- Matus. Impacto del Material Particulado (PM 2,5) y hospitalizaciones infantiles por enfermedades respiratorias. Un estudio transversal de casos, 2018, Chile. [fecha de consulta: 6 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
[Association between air pollution and emergency consultations for respiratory diseases \(scielo.cl\)](#)
- Mejía. Relación entre condición atmosférica y mortalidad humana asociada con material particulado grueso en Bogotá, Colombia, 2020. [fecha de consulta: 8 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
[The relationship between atmospheric condition and human mortality associated with coarse material particulate in Bogotá \(Colombia\) \(scielo.org.co\)](#)
- Mello. Evaluación de las concentraciones de material particulado y dióxido de azufre registradas en la ciudad de Río de Janeiro entre los años 2000 - 2006 y 2010 – 2014, Brasil. [fecha de consulta: 18 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
[Scopus - Document details - Evaluation of particulate matter concentrations and sulfur dioxide recorded in the city of Rio de Janeiro between the years 2000 - 2006 and 2010 - 2014 | Signed in](#)
- Mike. Short-term PM2.5 and cardiovascular admissions in New York State: assessment of sensitivity to exposure model choice, USA, 2021. [fecha de consulta: 17 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - The Hot Topics, Frontiers and Trends about Research on the Relationship between Air Pollution and Public Health—Visual Analysis Based on Knowledge Map | Signed in](#)
- Morales. Contaminación del aire en la zona urbana de Puerto Vallarta, México, 2021. [fecha de consulta: 6 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [Contaminación del aire en la zona urbana de Puerto Vallarta, México \(scielo.org.co\)](#)

- Mullen, C., Grineski, S. E., Collins, T. W. & Mendoza, D. L. Effects of PM2.5 on third grade students' proficiency in math and english language arts. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 17, 6931. (2018). [fecha de consulta: 9 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: <https://www.scielo.br/j/esa/a/8qCN8HMTXV77yK3Qjig36wK/?lang=pt>,
- Nazcimiento. Associação entre a concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. Brasil, 2017. [fecha de consulta: 15 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en:  
  
[Association between the concentration of fine particles in the atmosphere and acute respiratory diseases in children - PMC \(nih.gov\)](#)
- Organización mundial de la salud (OMS). Compendio de la OMS y otras orientaciones de las Naciones Unidas sobre salud y medio ambiente. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2021. [fecha de consulta: 22 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en:  
  
<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HEP-ECH-EHD-21.02>
- Okin, P. M. et al. Assessment of QT interval and QT dispersion for prediction of all-cause and cardiovascular mortality in American Indians: The Strong Heart Study. *Circulation* 101, 61–66. (2021). [fecha de consulta: 15 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
  
<https://www.scielo.br/j/esa/a/8qCN8HMTXV77yK3Qjig36wK/?lang=pt>
- Paz. Medición de la calidad del aire mediante una red IoT: un estudio de caso, 2019, Colombia. [fecha de consulta: 26 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en:  
  
[Air Quality Measurement Using an IoT Network: a Case Study \(scielo.org.co\)](#)
- Pomalaya. Dispersión de material particulado 2.5 emitido por restaurantes de pollo asado utilizando el modelo aermom en Huancayo metropolitano, Perú 2019. [fecha de consulta: 29 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en:  
  
[Scopus - Document details - Dispersion of particulate material 2.5 emitted by roasted chicken restaurants using the aermom model in huancayo metropolitano, peru | Signed in](#)

- Piracelli. Emisiones de contaminantes atmosféricos en condiciones reales de pavimentación asfáltica: Material Particulado (PM), Carbono Negro (BC) e Hidrocarburos Aromáticos, Brasil 2020. [fecha de consulta: 15 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - Air pollutants emissions in real conditions of asphalt paving: Particulate matter \(PM\), black carbon \(BC\) and polycyclic aromatic hydrocarbons \(PAHS\) | Signed in](#)
- Rees, Nicholas. Danger in the air: How air pollution can affect brain development in young children. United Nations Children's Fund, De2017. [fecha de consulta: 15 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [https://www.unicef.org/sites/default/files/pressreleases/glo-media-Danger\\_in\\_the\\_Air.pdf](https://www.unicef.org/sites/default/files/pressreleases/glo-media-Danger_in_the_Air.pdf)
- Requia. Asociación entre la incidencia de enfermedades respiratorias agudas en niños y las concentraciones ambientales de SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y elementos químicos en partículas finas, Brasil, 2021. [fecha de consulta: 5 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and chemical elements in fine particles | Signed in.](#)
- Santos. Evaluación de la influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de partículas finas (Pm<sub>2.5</sub>) en Belo Horizonte, MG, Brasil, 2020. [fecha de consulta: 15 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en: [Scopus - Document details - Evaluation of meteorological conditions influence on fine particulate matter \(Pm<sub>2.5</sub>\) concentration in Belo Horizonte, MG, Brazil | Signed in](#)
- Santillan. Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH – Riobamba, Ecuador, 2021. [fecha de consulta: 2 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en: [Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba \(senescyt.gob.ec\).](#)

- SAWLANI, the severe Delhi SMOG of 2016: a case of delayed crop residue burning, coincident firecracker emissions, and atypical meteorology. *Atmospheric Pollution Research*, vol. 10, no. 3, pp. 868-879, 2019. [fecha de consulta: 17 de Septiembre 2022] [En línea] Disponible en:  
<https://www.scielo.br/j/bjb/a/d9CCCrwkVtvBWvNv3TRJ86m/?lang=en>
- Valdivia, S. A. (2016). Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM10 y PM2, 5 en Lima Metropolitana. In *Anales Científicos*, 273-283. [fecha de consulta: 2 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
<https://www.scielo.br/j/bjb/a/d9CCCrwkVtvBWvNv3TRJ86m/?lang=en#>
- Wang, B. et al. The impact of long-term PM2. 5 exposure on specific causes of death: exposure-response curves and effect modification among 53 million US Medicare beneficiaries. *Environ. Health* 19, 1–12 (2020). [fecha de consulta: 2 de Octubre 2022] [En línea] Disponible en:  
<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/tjK5swwgk5fMcPGk9j774Gg/?lang=en>.

# ANEXOS



**Fig. 5.** Rosa de viento de la estación de Villa María del Triunfo, periodo 2017- 2021.

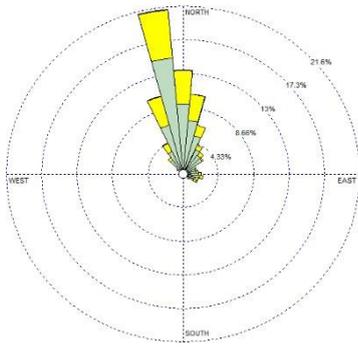
**Fuente:** WRPLOT View.



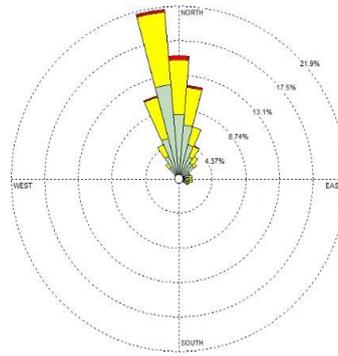
**Fig. 6.** Rosa de viento de la estación de Campo de Marte, periodo 2017-2021.

**Fuente:** WRPLOT View.

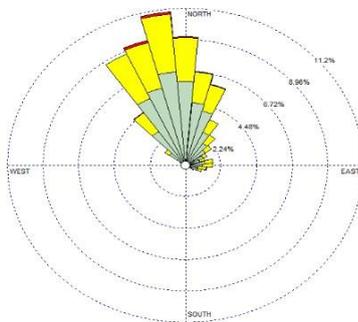
2017



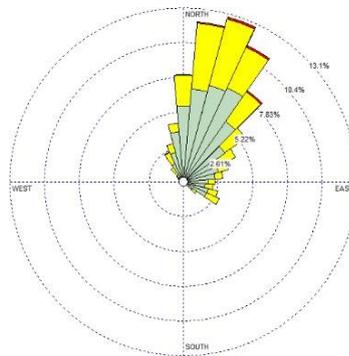
2018



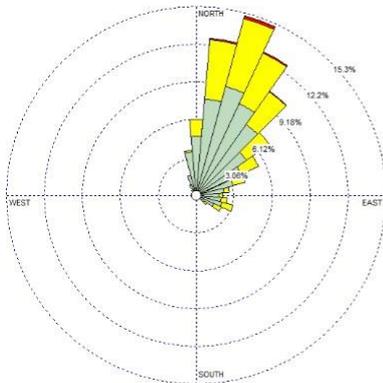
2019



2020



2021



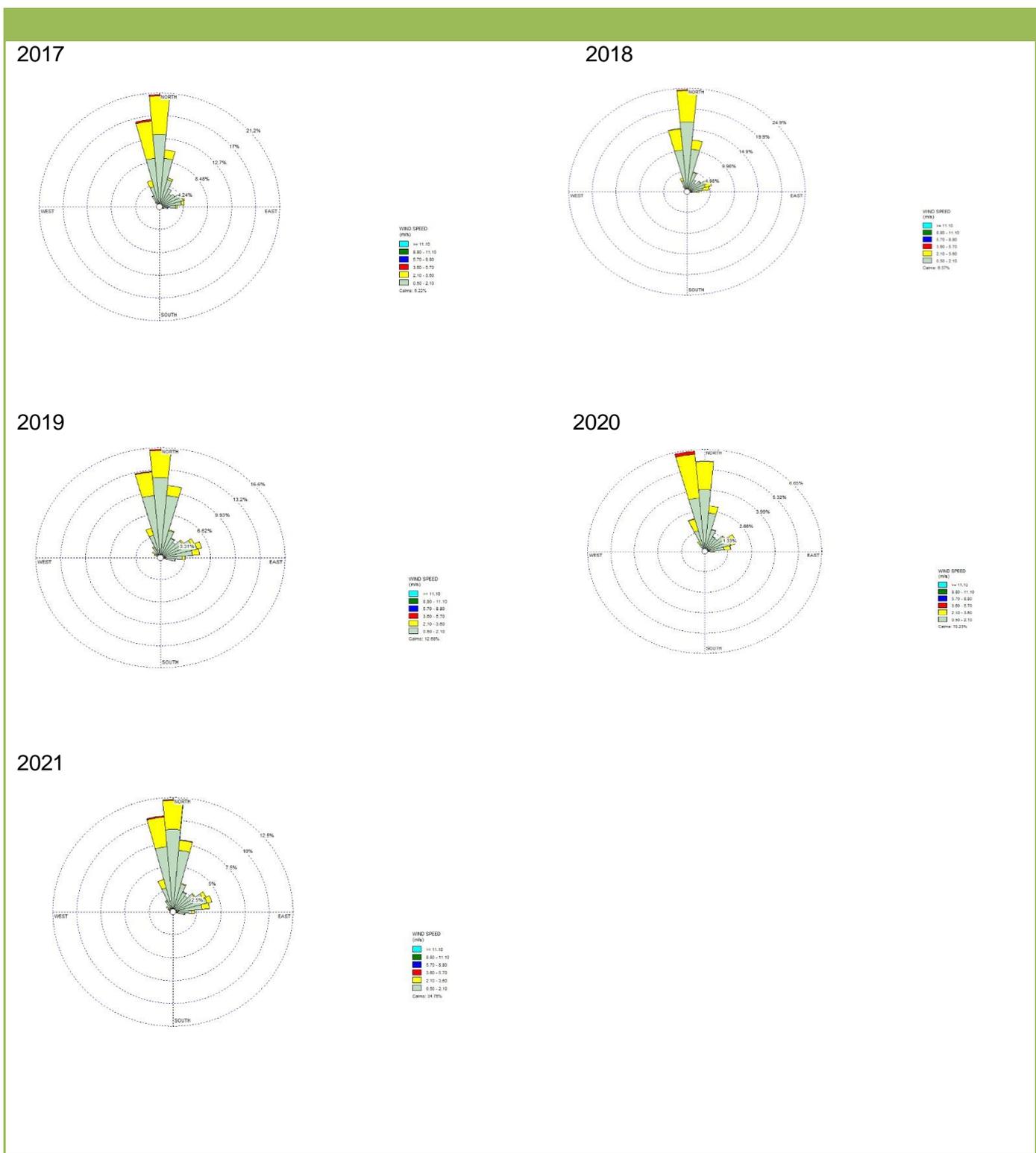
**Fig. 7.** Rosa de viento de la estación de San Martín de Porres, periodo 2017-2021.

**Fuente:** WRPLOT View.



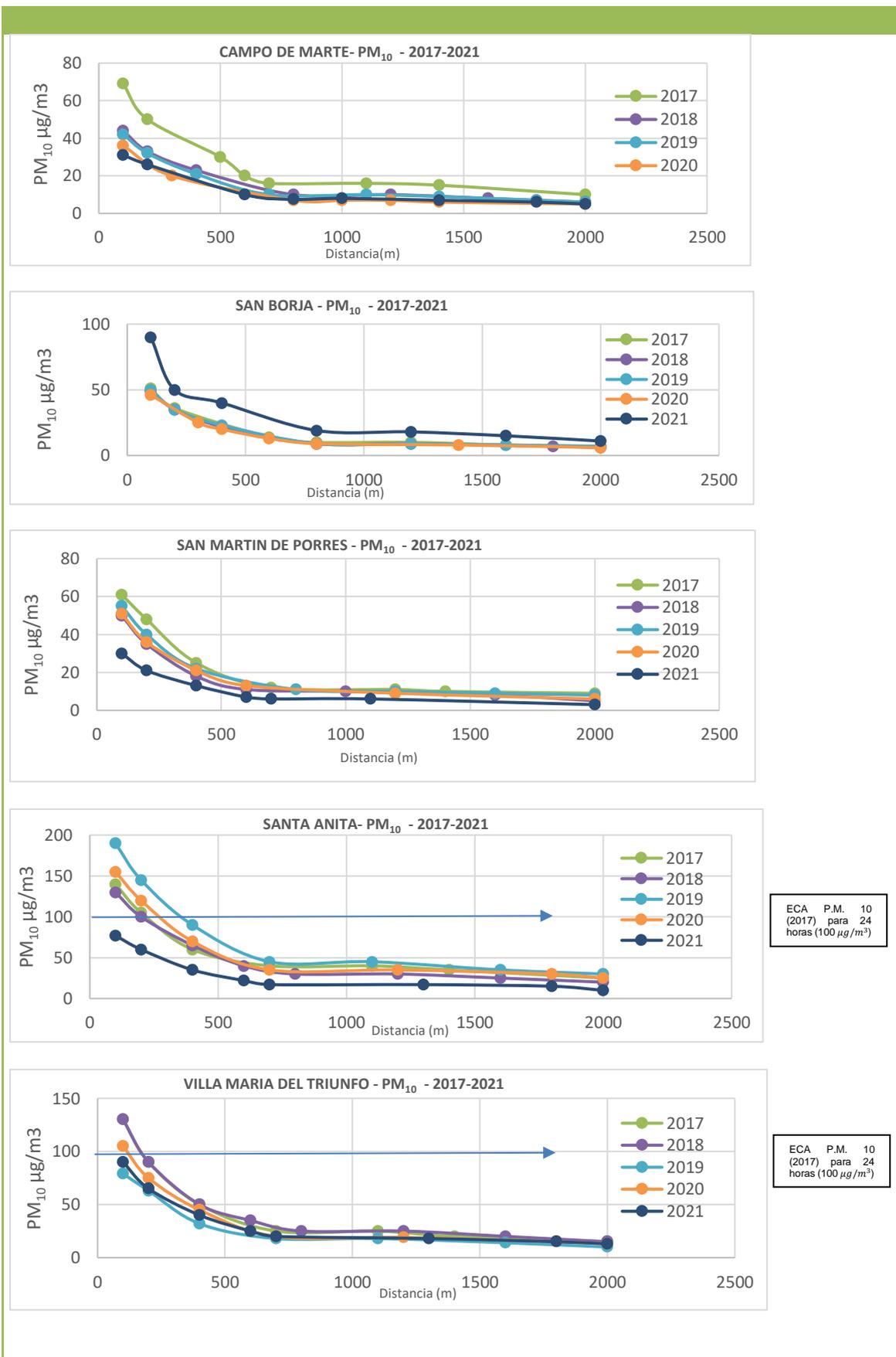
**Fig. 8.** Rosa de viento de la estación de Santa Anita periodo 2017- 2021.

**Fuente:** WRPLOT View.



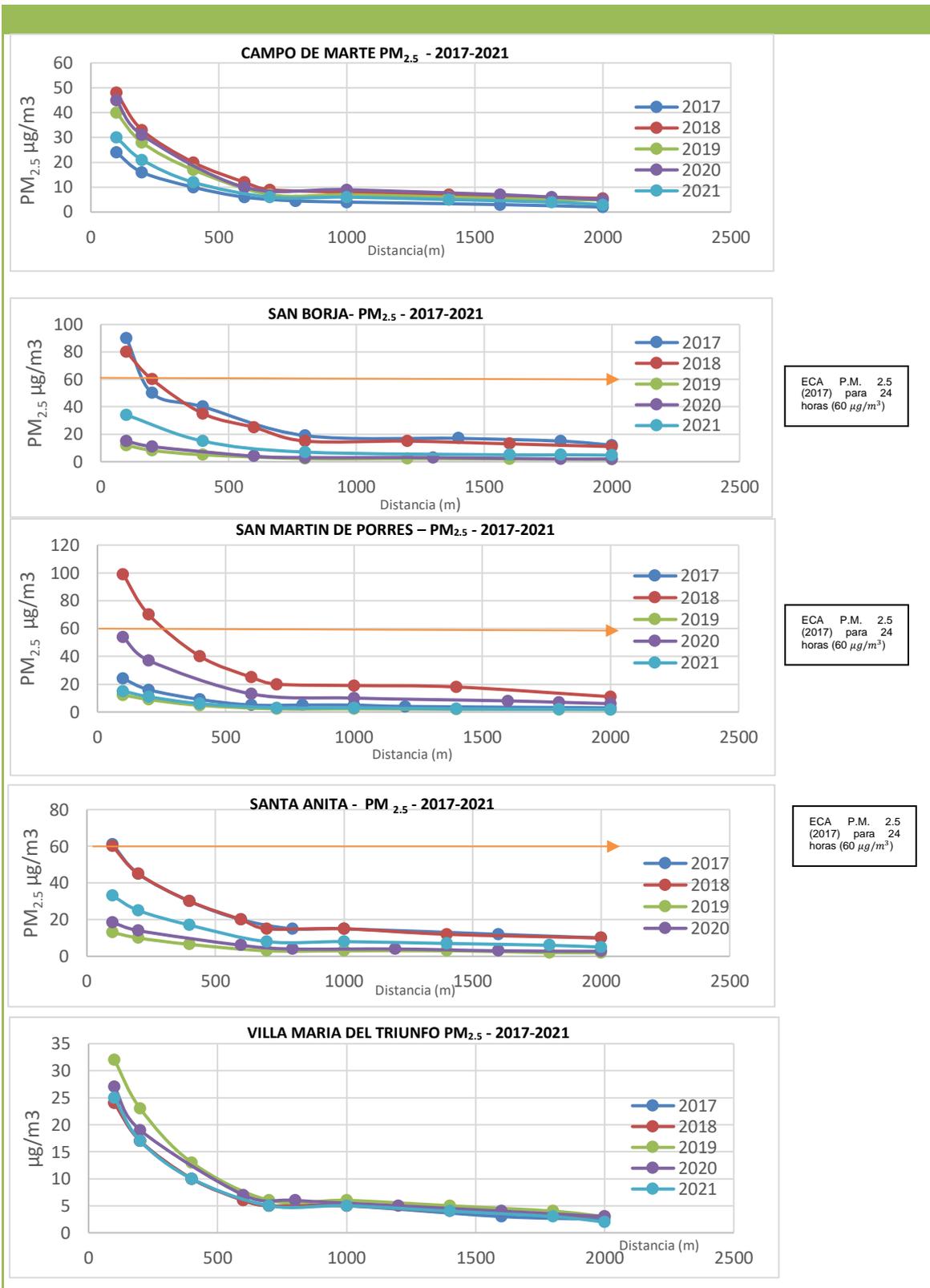
**Fig. 9.** Rosa de viento de la estación de San Borja, periodo 2017-2021.

**Fuente:** WRPLOT View.



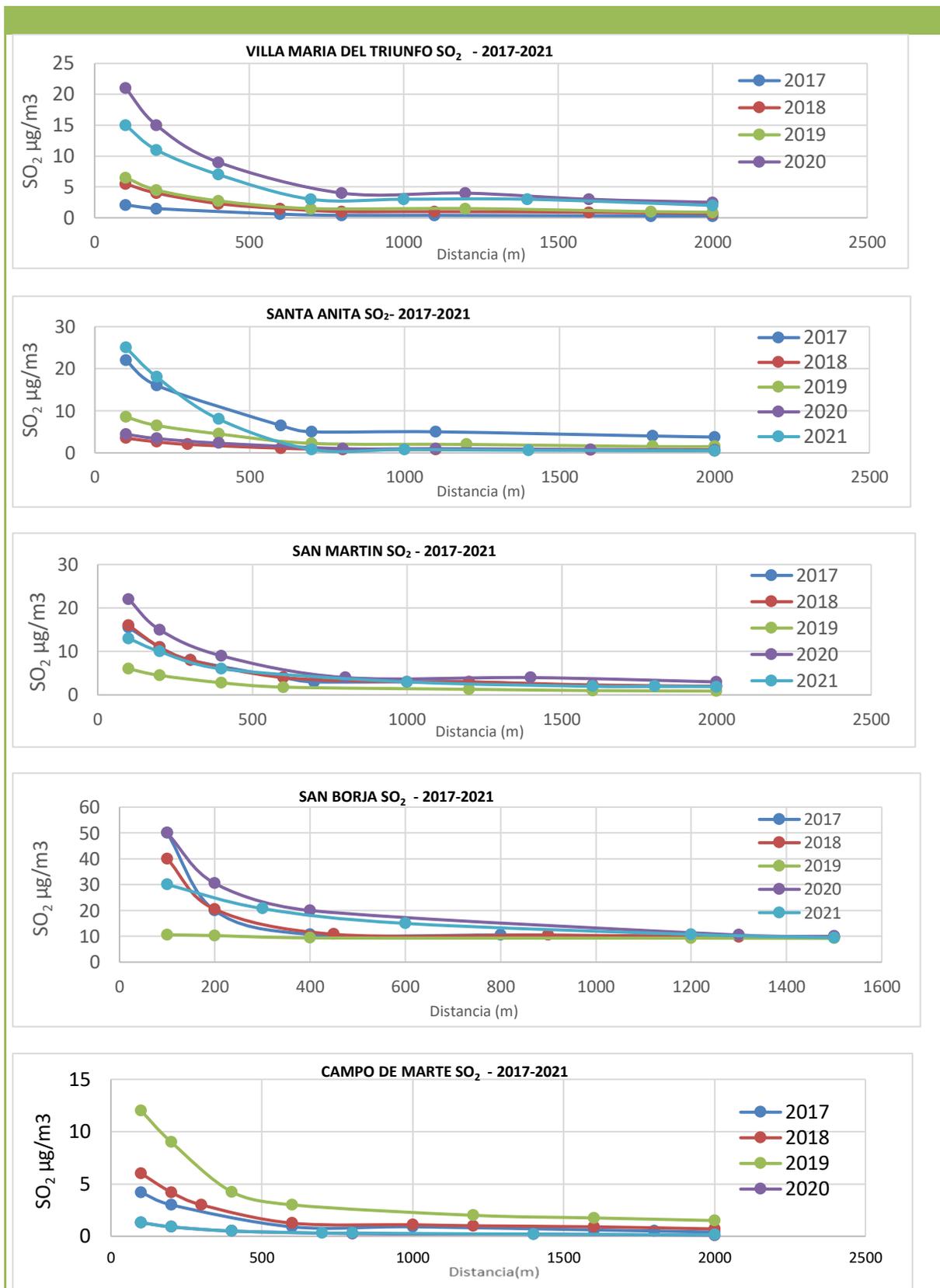
**Fig. 10.** Modelo de dispersante de material particulado PM<sub>10</sub> para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021.

**Fuente:** SCREEN View



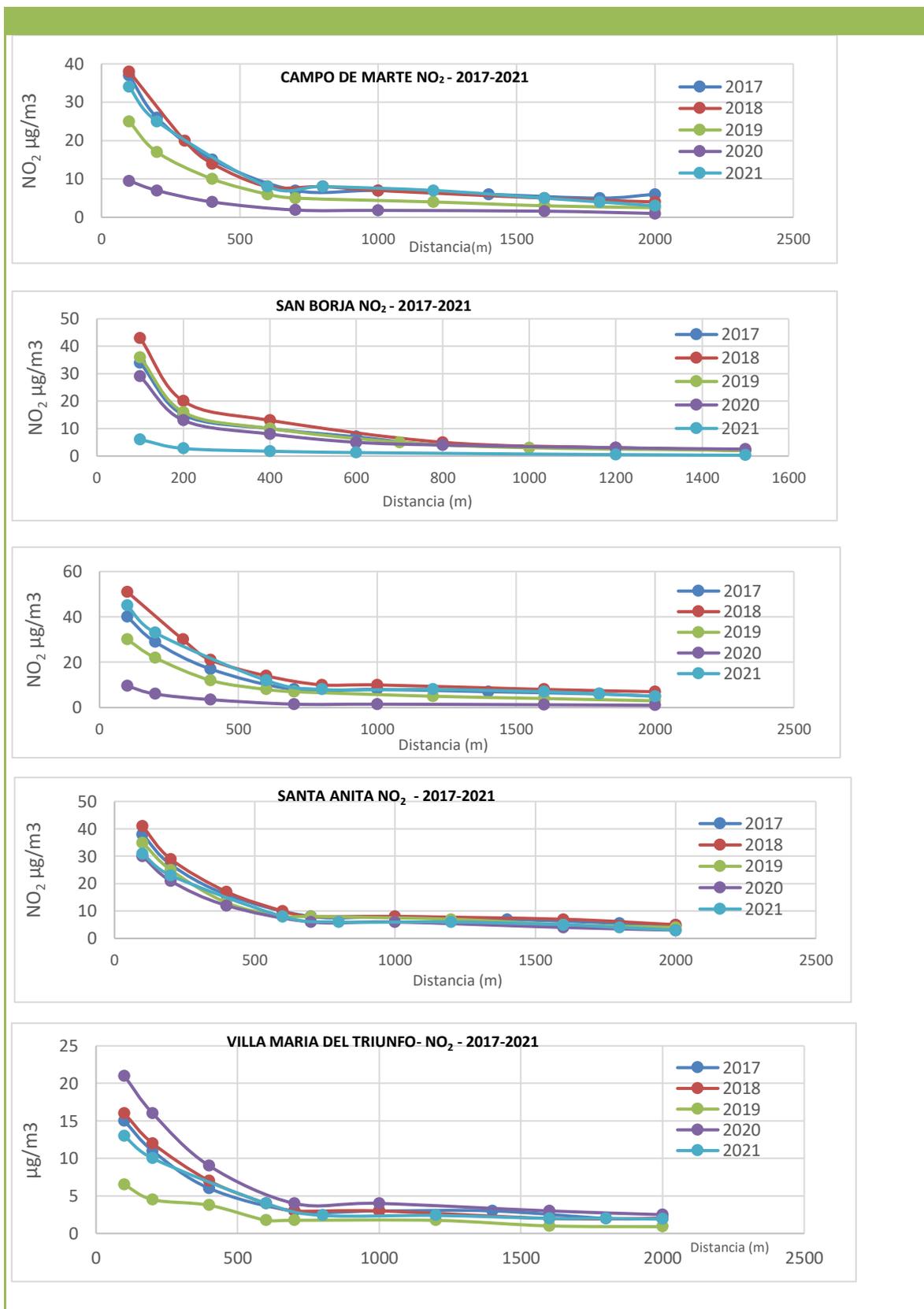
**Fig. 11.** Modelo de dispersante de material particulado PM<sub>2.5</sub> para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021.

**Fuente:** SCREEN View.



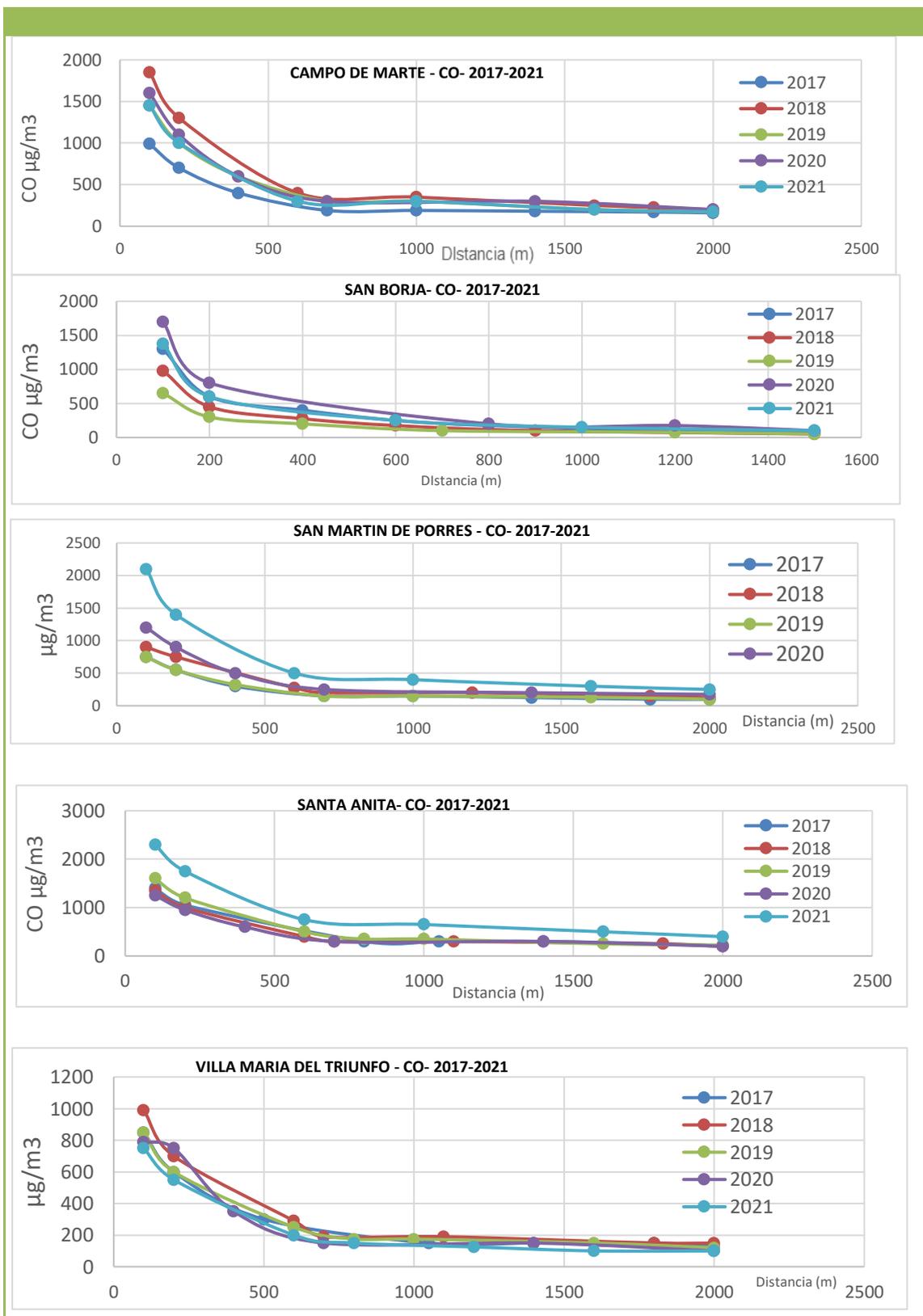
**Fig. 12.** Modelo de dispersante de material particulado SO<sub>2</sub>, para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021.

**Fuente:** SCREEN View.



**Fig. 13.** Modelo de dispersante de material particulado NO<sub>2</sub>, para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021.

**Fuente:** SCREEN View.



**Fig. 14.** Modelo de dispersante de material particulado CO, para las estaciones evaluadas, periodo 2017-2021.

**Fuente:** SCREEN View.

**Tabla 07.** Variables y operacionalización.

Variables		Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Escala de Medición
Independiente	Movilidad de contaminantes en el aire.	Se refiere al traslado de partículas y contaminantes de un lugar a otro en un entorno físico. (López, 2019)	Analizar la movilidad de contaminantes de las estaciones predeterminadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura.</li> <li>• Humedad.</li> <li>• Velocidad del viento.</li> <li>• Presión atmosférica.</li> <li>• Dirección del viento.</li> </ul>	Intervalo
Dependiente	Calidad del aire en Lima Metropolitana.	Se define como la concentración que llega al receptor desde el emisor (Guzmán, 2019).	Evaluar el índice de calidad del aire para saber si esta es óptima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P.M 10</li> <li>• P.M 2.5</li> <li>• SO<sub>2</sub></li> <li>• NO<sub>2</sub></li> <li>• (CO)</li> </ul>	Razón

**Fuente:** Elaboración propia

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE SCREEN VIEW

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres : RIBERA GUTIERREZ ALEXANDRA
- 1.2. Cargo e institución donde labora : ING. DE SEGURIDAD / CONSTRUCTORA GBT
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación : VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE SCREEN VIEW
- 1.4. Autor del instrumento : Raul Jeanpool Infantes Jara

II. ASPECTO DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE				ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Esta formulada con lenguaje comprensible.													X	
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X		
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y a 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 se adecua 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.

51

IV. Promedio de valoración

%

CORREO: jhamely.10@hotmail.com

TELEFONO: 937110517

FECHA: 26/06/2023

Alexandra Ribera Gutierrez  
 INGENIERA AMBIENTAL  
 CIP 280462

Escaneado con CamScanner

**Fig. 15.** Validación del instrumento N°1 por el especialista del software de Screen View.



SOLICITUD:

Validación de instrumento de  
Recojo de Información.

Sr. Mg: RIVERA GUTIERREZ ALEXANDRA SHAMELY

Yo INFANTES JARA, Raul Jeanpool identificado con DNI N° 73082344 alumno de la UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO de la carrera de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisitos indispensables el recojo de datos necesarios para el proyecto de investigación que vengo elaborando que tiene como título "Evaluación de la movilidad de contaminantes de la calidad del aire en Lima Metropolitana período 2017-2021" solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumentos
- Fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Trujillo 26 de junio del 2023

  
Alexandra Rivera Gutierrez  
INGENIERA AMBIENTAL  
CIP 280462

Escaneado con CamScanner

**Fig. 16.** Validación del Instrumento N°2 por el especialista del software de Screen View.

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE WRPLOT

I DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres : RIBERA GUTIERREZ, ALEXANDRA
- 1.2. Cargo e institución donde labora : ING. DE SEGURIDAD/CONSTRUCTORA G&T.
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación : VALIDACION DE INSTRUMENTO DE WRPLOT.
- 1.4. Autor del instrumento : Raul Jeanpool Infantes Jara

II. ASPECTO DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MÍNIMAMENTE ACEPTABLE					ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Esta formulada con lenguaje comprensible.													X	
2. Objetividad	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X		
3. Actualidad	Esta adecuado a los objetivos y a 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 se adecua 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.

51

IV. Promedio de valoración

CORREO: jhamely.10@hotmail.com

TELEFONO: 937110517

FECHA: 26/06/2023

  
 Alexandra Rivera Gutierrez  
 INGENIERA AMBIENTAL  
 CIP 280462

**Fig. 17.** Validación del instrumento N°3 por el especialista del software de Wrplot View.



SOLICITUD:

Validación de instrumento de

Recojo de Información.

Sr. Mg: RIVERA GUTIERREZ ALEXANDRA SHAMELY

Yo INFANTES JARA, Raul Jeanpool Identificado con DNI N° 73082344 alumno de la UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO de la carrera de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisitos indispensables el recojo de datos necesarios para el proyecto de investigación que vengo elaborando que tiene como título "Evaluación de la movilidad de contaminantes de la calidad del aire en Lima Metropolitana periodo 2017-2021" solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Instrumentos
- Fichas de evaluación
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Trujillo 26 de junio del 2023

  
FIRMA  
Alexandra Rivera Gutierrez  
INGENIERA AMBIENTAL  
CIP 280462

Escaneado con CamScanner

**Fig. 18.** Validación del instrumento N°4 por el especialista del software de Wplot View.