

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Ambiental**



TESIS

**Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5  
en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería, durante el  
periodo de pandemia por COVID-19**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Elaborado por

Luis Miguel Quispe Bernaola

 [0009 - 0004 - 1566 - 9425](https://orcid.org/0009-0004-1566-9425)

Asesor

MSc. Lidio Matos Caldas

 [0000-0003-0799-6640](https://orcid.org/0000-0003-0799-6640)

LIMA - PERÚ

2023

---

Citar/How to cite	Murriel Gonzales [1]
Referencia/Reference	[1] F. Murriel Gonzales, " <i>Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Murriel, 2017)
Referencia/Reference	Murriel, F. (2017). <i>Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional DSpace UNALM.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

## **Dedicatoria**

*A Dios, quien me apoya día a día para mejorar como persona y como profesional  
A mis padres Luis y Rosario quienes son mi principal motivo de crecimiento y que gracias  
a ellos he logrado todo lo que soy ahora.*

*A mis abuelitos Rufina, Ricardo y Esteban por su apoyo incondicional.  
A mis tios José, Edison, Ricardo, Roxana, Doris y William por apoyarme a lo largo de  
todo mi etapa universitaria.*

*A mi primo Cristhian por brindarme un espacio en su hogar durante mi etapa  
universitaria.*

## **Agradecimientos**

A mi profesor asesor Lidio Matos Caldas, por apoyarme y orientarme durante el desarrollo del proyecto de investigación.

A los encargados del área de seguridad de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por el apoyo en el cuidado del equipo de monitoreo.

Al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB) por su apoyo en el análisis de las muestras.

Al Centro de Energía Renovables y Uso Racional de la Energía (CER – UNI) por su apoyo en el envío de información meteorológica.

A todos mis profesores del pregrado por su contribución en el fortalecimiento de mi conocimiento.

A todos mis compañeros de clase por compartir sus experiencias académicas y laborales en temas ambientales.



## Resumen

En la presente investigación, se evaluó la concentración de PM2.5 durante el periodo (27 de octubre al 23 de noviembre del año 2021 en el campus de la UNI, para ello se recolectaron muestras de PM2.5 a través de un equipo de muestreo de partículas a bajo volumen marca TCR Tecora modelo Bravo Plus en 4 puntos ubicados dentro del campus. Las 20 muestras de PM2.5 no exceden el Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire (ECA). Sin embargo, 9 muestras de PM2.5 exceden el Valor Guía Actualizada de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se encontró también que las concentraciones de este contaminante están en el rango de 15.42 a 25.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual arroja valores de Índice de Calidad del Aire (ICA) que van de 41.83 a 79.87 y cuya calificación correspondiente es de calidad de aire moderada. Se observó también en las pruebas estadísticas, que las concentraciones de PM2.5 son similares durante los 5 días de la semana y son similares en los puntos de monitoreo (UNI-01 y UNI-04), lo cual indica que a nivel del campus la distribución de la concentración de PM2.5 es relativamente homogénea. De igual forma se observó en las pruebas estadísticas que la concentración de PM2.5 tiene tendencia inversa con la humedad relativa y velocidad del viento, y una tendencia directa con la temperatura y radiación solar. También se ha realizado una comparación al comportamiento que tuvo el PM2.5 durante el periodo de pandemia por COVID-19 (años 2020 y 2021) con respecto al año 2019, para lo cual se ha tomado como referencia el estudio del SENAMHI que se elaboró durante el año 2020. Por último, se determinó la distribución espacial, en donde se aprecia que la mayor concentración de PM2.5 se da en áreas colindantes al punto de monitoreo UNI-02 y una menor concentración de PM2.5 en áreas colindantes al punto de monitoreo UNI-03.

Palabras clave: PM2.5, distribución espacial, concentración, meteorología, aire, ambiental, monitoreo, pandemia, emergencia sanitaria.

## Abstract

In the present investigation, the concentration of PM<sub>2.5</sub> was evaluated during the period (October 27 to November 23, 2021) on the UNI campus, for which PM<sub>2.5</sub> samples were collected through sampling equipment of low volume particles TCR Tecora brand Bravo Plus model at 4 points located within the campus. The 20 samples of PM<sub>2.5</sub> do not exceed the National Environmental Air Quality (ECA) Standard. However, 9 PM<sub>2.5</sub> samples exceed the Updated Guide Value of the World Health Organization (WHO). It was also found that the concentrations of PM<sub>2.5</sub> this pollutant are in the range of 15.42 to 25.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , which yields Air Quality Index (ICA) values ranging from 41.83 to 79.87 and whose corresponding rating is moderate air quality. It was also observed in the tests statistics, that the concentrations of PM<sub>2.5</sub> are similar during the 5 days of the week and are similar at the monitoring points (UNI-01 and UNI-04), which indicates that at the campus level the distribution of the concentration of PM<sub>2.5</sub> is relatively homogeneous. In the same way, it was observed in the statistical tests that the concentration of PM<sub>2.5</sub> has an inverse trend with relative humidity and wind speed, and a direct trend with temperature and solar radiation. A comparison has also been made of the behavior of PM<sub>2.5</sub> during the COVID-19 pandemic period (years 2020 and 2021) with respect to the year 2019, for which the SENAMHI study that was prepared has been taken as a reference during the year 2020. Finally, the spatial distribution was determined, where it can be seen that the highest concentration of PM<sub>2.5</sub> occurs in areas adjacent to the UNI-02 monitoring point and a lower concentration of PM<sub>2.5</sub> in areas adjacent to the monitoring point UNI-03

Keywords: PM<sub>2.5</sub>, spatial distribution, concentration, meteorology, air, environmental monitoring, pandemic, health emergency.

## Tabla de Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vi</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>xiv</b>
<b>Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema de investigación .....	1
1.2. Antecedentes .....	1
1.3. Justificación e importancia .....	3
1.4. Objetivo general .....	4
1.5. Objetivos específicos .....	4
1.6. Hipótesis .....	4
<b>Capítulo II. Marco Teórico .....</b>	<b>5</b>
2.1. Bases teóricas .....	5
2.1.1. Contaminación atmosférica .....	5
2.1.2. Material particulado .....	5
2.1.2.1. PM10 .....	6
2.1.2.2. PM2.5 .....	6
2.1.2.3. PM0.1 .....	6
2.1.3. Composición del PM2.5 .....	7
2.1.4. Origen del PM2.5 .....	8
2.1.5. Efectos del PM2.5 en la salud .....	9
2.1.6. Estándares nacionales e internacionales .....	10
2.1.7. Índice de Calidad del Aire (ICA) .....	11
2.1.7.1. Anticiclón del pacífico sur .....	15
2.1.7.2. Viento de circulación local .....	16
2.1.7.3. Inversión térmica .....	16
2.1.7.4. Topografía .....	16
2.1.8. Emergencia Sanitaria por el coronavirus COVID-19 .....	16

2.1.9. Variación espacial de la concentración de PM2.5 .....	17
2.1.9.1. Geoestadística .....	17
2.1.10. Pruebas estadísticas .....	18
2.1.11. Prueba de normalidad de Shapiro Wilk.....	18
2.1.12. Prueba de Homegeneidad de Varianzas – Prueba de Levene .....	18
2.1.12.1. Pruebas estadísticas paramétricas .....	19
2.1.12.2. Pruebas estadísticas no paramétricas.....	19
<b>Capítulo III. Materiales y Método.....</b>	<b>21</b>
3.1. Materiales y equipos .....	21
3.2. Metodología .....	21
3.2.1. Red de monitoreo de calidad del aire en el campus de la UNI .....	21
3.2.1.1. Área de estudio.....	21
3.2.1.2. Puntos de monitoreo .....	26
3.2.1.3. Programa de monitoreo .....	28
3.2.1.4. Método de muestreo .....	28
3.2.2. Evaluación de la variación de PM2.5 .....	31
3.2.2.1. Variación diaria de la concentración de PM2.5.....	31
3.2.2.2. Índice de Calidad del Aire (ICA) .....	31
3.2.2.3. Comportamiento del PM2.5.....	32
3.2.2.4. Relación entre los valores de PM2.5 y las variables meteorológicas.....	34
3.2.3. Variación de valores de PM2.5 antes y durante la emergencia sanitaria por el coronavirus COVID-19.....	35
3.2.4. Variación espacial de valores de PM2.5.....	36
3.2.4.1. Comportamiento de los valores de PM2.5.....	36
3.2.4.2. Distribución espacial del PM2.5 .....	38
<b>Capítulo IV. Resultados y discusión.....</b>	<b>39</b>
4.1. Medición diaria de la concentración de PM2.5 .....	39
4.2. Índice de Calidad del Aire (ICA) .....	51
4.3. Comportamiento del PM2.5 relacionado con el día de la semana .....	55

4.4. Relación entre los valores de PM2.5 y las variables meteorológicas.....	61
4.5. Variación de valores de PM2.5 durante el estado de emergencia sanitaria por el coronavirus COVID-19.....	66
4.6. Variación espacial de valores de PM2.5 .....	73
4.6.1. Comportamiento de valores de PM2.5 en cada punto de monitoreo .....	73
4.6.2. Distribución espacial del PM2.5 .....	77
4.7. Comprobación de la hipótesis del trabajo.....	79
<b>Conclusiones.....</b>	<b>80</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>82</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>90</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1: Características de las partículas ambientales .....	7
Tabla 2: Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire para PM2.5 .....	11
Tabla 3: Valor referencial según la OMS.....	11
Tabla 4: Índice de calidad del aire para el PM2.5.....	12
Tabla 5: Estados de Calidad del Aire y su implicancia en las personas .....	13
Tabla 6: Ubicación de los puntos de monitoreo.....	28
Tabla 7: Etapas para la toma de muestra .....	29
Tabla 8: Pruebas estadísticas de Distribución Normal, Homogeneidad de Varianzas y ANOVA.....	33
Tabla 9: Estación Meteorológica automática CER-UNI .....	34
Tabla 10: Datos de Radiación Solar.....	34
Tabla 11: Prueba de Correlación de Spearman .....	35
Tabla 12: Prueba t en 2 muestras .....	36
Tabla 13: Prueba de Kruskal Wallis .....	37
Tabla 14: Porcentaje que excede el valor de PM2.5 al valor ECA y valor OMS durante el día monitoreado.....	50
Tabla 15: Valores diarios del Índice de Calidad del Aire para PM2.5 durante el periodo de monitoreo.....	51
Tabla 16: Concentración de PM2.5 según el día de la semana .....	55
Tabla 17: Prueba de Distribución Normal de valores de PM2.5 según el día de la semana .....	56
Tabla 18: Prueba ANOVA de un solo factor aplicado a los valores de PM2.5 obtenidos cada día de la semana .....	58
Tabla 19: Valores de las variables meteorológicas (T°, HR, V, Dirección de Viento y Rs) y PM2.5.....	62
Tabla 20: Prueba de Distribución Normal de las variables meteorológicas (T°, HR, V y Rs) y PM2.5 .....	63
Tabla 21: Coeficientes de correlación de Spearman y valor p.....	64

Tabla 22: Valores de PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenidos en la estación SJL en cada año.....	67
Tabla 23: Prueba de Distribución Normal de valores de PM2.5 en la estación SJL según el año.....	70
Tabla 24: Prueba t en dos muestras de valores de PM2.5 obtenidos los años 2019 y 2020 .....	70
Tabla 25: Prueba t en dos muestras de valores de PM2.5 obtenidos los años 2019 y 2021 .....	71
Tabla 26: Valores de PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenidos en cada punto de monitoreo .....	74
Tabla 27: Prueba de Distribución Normal de valores de PM2.5 según el punto de monitoreo.....	74
Tabla 28: Prueba de Kruskal Wallis de valores de PM2.5 en los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04.....	76

## Lista de Figuras

Figura 1: Efectos en la salud del PM2.5.....	10
Figura 2: Área de estudio.....	22
Figura 3: Zonas colindantes a la UNI .....	25
Figura 4: Ubicación de puntos de monitoreo dentro del campus de la UNI .....	27
Figura 5: Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-01 .....	39
Figura 6: Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-02 .....	40
Figura 7: Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-03 .....	41
Figura 8: Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-04 .....	42
Figura 9: Valores de concentración de PM2.5 en el campus de la UNI durante el periodo (27 de octubre – 23 de noviembre del año 2021).....	42
Figura 10: Gráfico de caja de valores de PM2.5 durante el periodo (27 de octubre – 23 de noviembre del año 2021) .....	43
Figura 11: Variación diaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Juan de Lurigancho.....	45
Figura 12: Variación horaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Juan de Lurigancho.....	46
Figura 13: Variación diaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Martín de Porres (27 de diciembre del 2021 al 23 de enero del 2022).....	47
Figura 14: Variación horaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Martín de Porres (27 de diciembre del 2021 al 23 de enero del 2022).....	48
Figura 15: Distancias de los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04 a las principales avenidas .....	49
Figura 16: Variación del Índice de Calidad del Aire para PM2.5 durante el periodo de monitoreo.....	52
Figura 17: Gráfico de caja de valores del Índice de Calidad del Aire para PM2.5 .....	53
Figura 18: Estados de Calidad del Aire para PM2.5 según el Boletín Mensual SENAMHI-octubre 2021.....	54



Figura 19: Estados de Calidad del Aire para PM2.5 según el Boletín Mensual SENAMHI-noviembre 2021 .....	54
Figura 20: Prueba de Homogeneidad de varianzas de valores de PM2.5 obtenidos durante los días de la semana .....	57
Figura 21: Intervalos de concentraciones de PM2.5 durante los días de la semana .....	58
Figura 22: Tendencia de valores de PM2.5 durante el día de la semana .....	59
Figura 23: Comportamiento de las concentraciones de PM2.5 durante los días de la semana en la estación SJL - octubre 2021 .....	60
Figura 24: Comportamiento de las concentraciones de PM2.5 durante los días de la semana en la estación SJL - noviembre 2021 .....	60
Figura 25: Rosa de Viento - Estación CER-UNI .....	65
Figura 26: Representación gráfica de la dirección del viento durante el periodo de monitoreo.....	66
Figura 27: Porcentaje de reducción de concentraciones de PM2.5 durante el año 2020 en comparación al 2019 en la estación SJL.....	68
Figura 28: Porcentaje de reducción de concentraciones de PM2.5 durante el año 2021 en comparación al 2019 en la estación SJL.....	69
Figura 29: Diagrama de dispersión de valores de PM2.5 en SJL vs UNI .....	71
Figura 30: Diagrama de dispersión de valores de velocidad de viento en SJL vs UNI .....	72
Figura 31: Efectos de las medidas establecidas durante el estado de emergencia en el transporte público .....	73
Figura 32: Prueba de Homogeneidad de varianzas de valores de PM2.5 en los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04. ....	75
Figura 33: Gráfico de caja de los valores de PM2.5 obtenidos en los puntos de monitoreo .....	77
Figura 34: Distribución espacial de PM2.5 en el campus de la UNI .....	78

## Introducción

La contaminación del aire representa un riesgo medioambiental para la salud humana (OMS, 2018). La Organización Mundial de la Salud estimó en 2016 que, “la contaminación atmosférica en áreas urbanas y rurales a nivel mundial causa 4.2 millones de muertes prematuras cada año”. Por otro lado, los eventos de sequías, inundaciones y nevadas sugieren que los cambios que está sufriendo el clima de la Tierra se debe a la presencia de contaminantes en la atmósfera (SEMARNAT, 2011). De la gran variedad de contaminantes atmosféricos, el material particulado adquiere importancia por su efecto a la salud como muertes prematuras en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, asma agravada, función pulmonar reducida, tos, entre otros. Además, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos menciona que el “material particulado tiene efectos en el medio ambiente trayendo consigo el deterioro a la visibilidad (bruma), daño ambiental a lagos, reducción de nutrientes del suelo y efecto invernadero” (U.S. EPA, 2021).

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas o líquidas en el aire que varían en tamaño, composición y origen. Estas incluyen partículas con un diámetro aerodinámico de menos de 2,5 micras, comúnmente conocidas como PM<sub>2.5</sub>, que requieren especial atención ya que pueden ingresar a los alvéolos y luego al torrente sanguíneo (Scapini, 2018). Este tipo de material particulado se genera a partir de Notas primarias como las emisiones y Notas secundarias que involucran reacciones químicas (Suárez, 2011). También las partículas PM<sub>2.5</sub> contribuyen con el calentamiento global al absorber la radiación solar entrante y convertirla en calor (MINAM, 2015).

En el mundo, se ha reportado que las elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos tienen un impacto negativo a la salud y al medio ambiente. Según una estimación en el año 2016 de la Organización Mundial de la Salud, “aproximadamente 235 millones de personas en todo el mundo sufren de asma, 64 millones sufren de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y millones más

sufren de rinitis alérgica y otras enfermedades crónicas a menudo no diagnosticadas” (OMS, 2016). Tal como manifiesta la Asociación Estadounidense del Pulmón (American Lung Association) “la contaminación del aire por partículas es la más extendida y entre las más peligrosas”. Es por ello que “tanto el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente como el Organismo Mundial de la Salud han resaltado la contaminación del aire ambiental como una de las áreas focales estratégicas para combatir las causas fundamentales de mortalidad y morbilidad a nivel mundial” (Nambu, 2010). La OMS en el año 2021, ha actualizado luego de 15 años, nuevas directrices sobre la calidad del aire. En estas directrices menciona que “el 80% de las muertes evitables relacionadas con PM2.5 podrían evitarse si el mundo cumpliera con estas nuevas pautas” (OMS, 2021).

En la capital peruana (Lima), con más de 10 millones de habitantes, “el 80% de la contaminación del aire proviene del parque automotor, y en los últimos 20 años esta cantidad de vehículos motorizados se ha incrementado” (Tapia, 2018). Otro problema es el proceso de urbanización el cual está asociado con el decrecimiento de la calidad del aire y ante ello el principal contaminante que proviene de las actividades industriales, quema de combustibles y parque automotor es el material particulado fino (PM2.5) el cual causa enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer (Duque, 2016). Estas enfermedades respiratorias se encuentran en el octavo puesto de las causas de mortalidad en el Perú (OMS, 2014).

# **CAPITULO I. Parte introductoria del trabajo**

## **1.1. Descripción del problema de investigación**

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), localizada en el distrito del Rímac, provincia de Lima, es un lugar donde no se han desarrollado estudios para determinar y evaluar la calidad del aire en relación al PM2.5. Por lo tanto, se desconoce si la comunidad universitaria está expuesta a elevados niveles de concentración de PM2.5, que sobrepasen el Estándar Nacional de Calidad de Aire (ECA), y por ende si su salud está siendo afectada. Es por ello que se consideró necesario realizar una investigación de determinación del nivel de concentración de PM2.5 y el análisis insitu de su distribución espacial en el aire del campus de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Asimismo, se evaluó la variación en las concentraciones de PM2.5 durante el estado de emergencia sanitaria por COVID-19 con respecto al año 2019 en el mismo periodo de estudio, con ello se busca entender el comportamiento del material particulado en fechas donde existió y no existió restricciones en la movilización vehicular. Para ello, se utilizó como referencia los valores diarios de PM2.5 y valores de viento que arrojó la Estación San Juan de Lurigancho y se realizó una correlación de valores obtenidos durante el periodo de estudio para evaluar la tendencia.

En la presente tesis, se busca encontrar el valor de concentración de PM2.5 que presentó la Universidad Nacional de Ingeniería, antes del inicio de las actividades de servicios y de producción de forma oficial, después de la suspensión por la pandemia. También se busca determinar su distribución espacial, a lo largo del Campus de la UNI relacionándolo con las variables meteorológicas que se tuvo en ese periodo.

## **1.2. Antecedentes**

Una investigación sobre la evaluación espacial y temporal del material particulado (PM2.5) en Lima Metropolitana para el periodo 2015-2017 arrojó que la mayor concentración de PM2.5 en Lima se obtuvo en la Zona Este, principalmente en la estación meteorológica Ate y menor concentración de PM2.5 en la Zona Centro,

principalmente en la estación meteorológica Campo de Marte. Se evidenció que, la mayor concentración de PM<sub>2.5</sub> se dio en los meses de abril, mayo y junio, especialmente en los días martes y sábados. En la distribución espacial se concluyó que el PM<sub>2.5</sub> es transportado desde las Zonas Sur hacia las Zonas Norte y Este. Las estaciones tales como San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres y Santa Anita tuvieron variaciones debido a la distancia que tuvieron entre estas. Por último, el autor fundamenta que existe una estabilidad atmosférica, la cual hace indicar que no hay una gran dispersión de este contaminante en la atmósfera (Espinoza ,2018).

Otra investigación que habla sobre la influencia del confinamiento social por COVID-19 en la calidad de aire del distrito de San Juan de Lurigancho, obtuvo que el principal contaminante con mayor reducción fue el PM<sub>2.5</sub>, teniendo valores entre 14.09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 30.89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante el confinamiento social en comparación de los valores de 30.69  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  entre 55.80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  antes del confinamiento (Medina et al., 2021).

La concentración de PM<sub>2.5</sub> en el aire no es constante, sino más bien dinámica, tal como lo demuestra un estudio realizado en un área urbana al suroeste de China, donde se encontraron concentraciones medias de PM<sub>2.5</sub> en primavera, verano, otoño e invierno de 102.7, 59.6, 81.5 y 150.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Además, se observó que la mayor concentración de PM<sub>2.5</sub> se obtuvo cuando la temperatura y humedad relativa fue mayor y cuando la velocidad del viento fue menor (Huang et al., 2015).

Un estudio donde se calcularon coeficientes de correlación entre la concentración de material particulado y las variables meteorológicas fue el que se realizó en el distrito de Puente Piedra , donde se obtuvo que “los coeficientes de correlación de la concentración de PM<sub>2.5</sub> con la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento fueron 0.329, - 0.252 , 0.132 respectivamente”, los cuales son similares en valor a los coeficientes obtenidos en la presente investigación y también denotan una tendencia baja entre el material particulado y las variables meteorológicas, también se tuvo un coeficiente positivo en relación a la variable velocidad de viento, esto quiere sugerir que

en la zona de Puente Piedra existe una menor disipación del material particulado y que existe una mayor acumulación de este contaminante (Huamán, 2018).

Actualmente existen pocos estudios sobre determinación de niveles de concentración de contaminantes atmosféricos en campus universitarios en el Perú. Uno de estas es el estudio realizado en el campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) donde el valor máximo de ICA fue de 317 (lo cual refiere una concentración de PM<sub>2.5</sub> de 79.16 µg/m<sup>3</sup>) teniendo así una calificación de calidad de aire mala (Murriel, 2017). Otro estudio, pero fuera de Perú, fue lo que se realizó en el campus de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) en Riobamba - Ecuador donde se tuvo como resultado un valor máximo de ICA de 113 (lo cual refiere una concentración de PM<sub>2.5</sub> de 74 µg/m<sup>3</sup>) teniendo también una calificación de calidad de aire mala (Santillán, 2021). Y por último, otro estudio realizado en el campus de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en España tuvo como resultado un valor máximo de ICA de 180 (lo cual refiere una concentración de PM<sub>2.5</sub> de 45 µg/m<sup>3</sup>) teniendo también una calificación de calidad de aire mala (Torres, 2021).

### **1.3. Justificación e importancia**

La presente investigación se justifica por la necesidad de evaluar cuáles son los niveles de contaminación en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería, antes que se iniciara oficialmente el retorno del transporte, las actividades industriales productivas y comerciales. Estudios realizados años anteriores en Lima Metropolitana, muestran la elevada contaminación que superan los Estándares Nacionales de Calidad del Aire (ECA), y que no existen estudios en la Universidad Nacional de Ingeniería. En este periodo final de pandemia se ha presentado una disminución de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos a nivel mundial. La importancia es determinar la línea base referencial de la contaminación atmosférica en la Universidad Nacional de Ingeniería, en un espacio y tiempo oportuno durante la emergencia sanitaria por el Coronavirus COVID-19. Es preciso señalar que en ningún momento, se han tenido las condiciones apropiadas para medirlas. Posteriormente se podrá evaluar el incremento de

PM2.5, cuando retorne las actividades que ocasionen emisiones al medio atmosférico de la Universidad Nacional de Ingeniería.

#### **1.4. Objetivo general**

- a. Evaluar la concentración de PM2.5 en el aire del campus de la Universidad Nacional de Ingeniería durante la emergencia sanitaria por el COVID-19.

#### **1.5. Objetivos específicos**

- a. Realizar el monitoreo de PM2.5 en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería antes del inicio de las actividades de servicios y de producción de forma oficial, durante la emergencia sanitaria por el COVID-19.
- b. Relacionar los valores obtenidos en el monitoreo en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería con las concentraciones de PM2.5 en la red de vigilancia a nivel de Lima Metropolitana del Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología--SENAMHI.
- c. Evaluar los parámetros meteorológicos obtenidos con una estación meteorológica automática ubicada en el campus de la UNI y su relación con el PM2.5.

#### **1.6. Hipótesis**

Los niveles de concentración de PM2.5 en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería, decrecen y presentan valores menores del Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire (ECA) debido a la suspensión de actividades de servicio y productivas por la pandemia.

## **CAPITULO II. Marco Teórico**

### **2.1. Bases teóricas**

#### **2.1.1. Contaminación atmosférica**

“La contaminación del aire se refiere a la presencia de material particulado o gas, o una combinación de ambos, que en altas concentraciones puede afectar el funcionamiento de los procesos naturales y dañar a los seres humanos, los animales, la vegetación u otros materiales” (U.S EPA,2016). También puede definirse como la presencia de formas de materia o energía en el aire que impliquen riesgo, daño o malestar severo a personas y bienes de cualquier naturaleza (Arángarez et al., 1999).

En Perú, se considera como contaminantes criterios que afectan a la calidad del aire al material particulado (PM), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrógeno sulfurado (H<sub>2</sub>S) y ozono (O<sub>3</sub>) (MINAM, 2016).

#### **2.1.2. Material particulado**

Son partículas en suspensión las cuales están compuestas por partes orgánicas o elementos biológicos y partes inorgánicas tales como metales carbonosos, sales de metales, compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) (Billet et al., 2007, pp.212). También se puede definir como un grupo de partículas sólidas y líquidas que son emitidas al aire ambiental entre las cuales se tienen al hollín de diésel, polvo generado en vías terrestres, polvo de industrias agrícolas y partículas generadas durante la producción industrial (Gour Cheng et al., 2003, pp.157-158).

“Los materiales particulados (PM) tienen diferentes tamaños, formas y composiciones, y se han clasificado de acuerdo con su diámetro aerodinámico, que corresponde al diámetro de una esfera uniforme por unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de sedimentación que la partícula de interés, determinado por la forma y la densidad de las partículas” (García, 2002).



Las partículas atmosféricas suspendidas varían en diámetro desde nanómetros (nm) hasta decenas de micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). Existen mecanismos de formación de partículas clasificadas en Aitken, acumulación y moda gruesa las cuales fijan o estandarizan los rangos de tamaño de estas partículas (Viana, 2003). Estas partículas cambian de tamaño a través de procesos como la condensación de vapor, la evaporación y la coagulación (Fang et al. 2006).

#### **2.1.2.1. PM10**

“Son partículas gruesas menores a 10 micrómetros pero más grandes que 2.5 micrómetros de diámetro, se consideran como contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire” (Tzinntzun et al., 2015).

#### **2.1.2.2. PM2.5**

“Son partículas finas que tienen un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5  $\mu\text{m}$ . Se forman principalmente a partir quema de biomasa y combustión incompleta de combustibles fósiles” (Manzanares et al., 2011; Poshl, 2005). Una vez liberadas al ambiente pueden ser transportadas desde cientos a miles de kilómetros de la Nota de emisión y permanecer en la atmósfera durante días a semanas, hasta que sean removidas por deposición seca o húmeda.

#### **2.1.2.3. PM0.1**

“Son partículas ultrafinas, que tienen un diámetro aerodinámico menor o igual a 0,1  $\mu\text{m}$ , que se producen directamente por combustión y actividades fotoquímicas. Se depositan principalmente en la región alveolar, lo que aumenta la probabilidad de cruzar la membrana alveolar capilar hacia el torrente sanguíneo y migrar a otros órganos. La composición química de las partículas juega un papel importante en daños específicos a la salud y varía según la Nota de emisión y las condiciones geográficas y meteorológicas. En general, las partículas se forman a partir de núcleos de carbono y compuestos orgánicos e inorgánicos adheridos a sus superficies” (SEMARNAT, 2011, p.12).

A continuación, se presenta las principales características de las partículas ambientales:

**Tabla 1**

*Características de las partículas ambientales*

Características	Tipos de partículas		
	Ultrafinas	Finas	Gruesas
Proceso de formación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nucleación de gases atmosféricos, incluidos H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> y algunos compuestos orgánicos.</li> <li>• Condensación de gases.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensación de gases.</li> <li>• Coagulación de pequeñas partículas.</li> <li>• Interacción entre partículas y gases.</li> <li>• Evaporación de la neblina y las gotas de agua donde los gases se disolvieron.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesos mecánicos (prensado, molienda, abrasión)</li> <li>• Evaporación de aerosoles.</li> <li>• Suspensión de polvos</li> <li>• Reacción de gases sobre partículas.</li> </ul>
Solubilidad	No están bien caracterizadas.	Muy solubles higroscópicas y deliquescentes.	No disuelto y no retienen humedad
Vida media en la atmósfera	Minutos a horas.	Días a semanas	Minutos a horas.
Proceso de remoción	Se difunden en gotas de lluvia y otras superficies.	Mediante llluvias.	Precipitación seca Mediante gotas de lluvia.
Alcance o transporte	De menos a uno a decenas de kilómetros.	De cientos a miles de kilómetros.	De menos de un kilómetro a decenas de kilómetros.

*Nota:* EPA, 2009, Integrated Science Assessment For Particulate Matter.

**2.1.3. Composición del PM2.5**

Los aniones más abundantes y presentes en el PM2.5 son el sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), ión amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y carbono orgánico (OC) (Khan et al., 2010, pp.159). Los contaminantes peligrosos y que se absorben en la superficie del material particulado son los siguientes metales: manganeso (Mn), níquel (Ni), antimonio (Sb), berilio (Be), arsénico (As), mercurio (Hg) cobalto (Co), cromo (Cr), cadmio (Cd) y plomo (Pb) (Geiger et al., 2010).

Por otra parte, se considera al magnesio (Mg), aluminio (Al), potasio (K), silicio (Si), sodio (Na), calcio (Ca) y hierro (Fe) como elementos de corteza o traza, pero ello no exige que se pueda encontrar concentraciones altas de dichos elementos (Xuejun et al., 2015, pp. 300-301). Los principales metales emitidos por el parque automotor son el níquel (Ni), plomo (Pb), cromo (Cr) y cinc (Zn) (Machado et al., 2017).

“El aerosol marino se forma a partir de partículas que se originan en el océano y constituye el segundo tipo de partículas más importante en las emisiones a nivel mundial, representando el 38% de las emisiones totales desde la tierra. Las partículas consisten principalmente en NaCl. Los compuestos de carbono representan del 2 al 5 por ciento de las emisiones globales” (IPCC, 2001). Se puede encontrar como carbono elemental (EC), carbono orgánico (OC), y carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ).

Las partículas sulfurosas son principalmente sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que se forman por la oxidación de los óxidos de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Por lo general, este compuesto se libera durante la combustión del carbón. Los compuestos atmosféricos de N (principalmente  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ) son principalmente Notas secundarias y se derivan de los óxidos de nitrógeno, que se emiten durante la quema de combustibles fósiles, la quema de biomasa y las actividades agrícolas a altas temperaturas. Los compuestos de nitrato que se producen de forma natural normalmente se originan a partir de emisiones del suelo (nitrificación,  $\text{N}_2\text{O}$ ), incendios forestales ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ), descargas eléctricas ( $\text{NO}$ ) y emisiones biológicas ( $\text{NH}_3$ ).

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), “son más de cien sustancias químicas diferentes compuestas por dos o más anillos insaturados de carbono e hidrógeno, generalmente artificiales. Se producen por la combustión incompleta de materias orgánicas como el petróleo, la madera, el carbón, etc.” (Salinas, 2011, p.13).

#### **2.1.4. Origen del PM2.5**

Las Notas naturales son aquellas actividades, donde el ser humano no interviene, que emiten elementos contaminantes a la atmósfera (CEPA, 1998). Las Notas geogénicas incluyen todas las Notas geológicas, como los volcanes, así como las Notas relacionadas con los suelos, los incendios forestales y la erosión eólica. Las Notas biológicas incluyen todas las sustancias emitidas por la vegetación y la actividad microbiana en el suelo y los océanos. Aquí se consideran los óxidos de nitrógeno, los compuestos de nitrógeno y azufre, el monóxido de carbono y el metano. (SEMARNAT, 2011, p.29).

Las Notas antropogénicas cubren las emisiones de actividades humanas, fábricas, automóviles, construcciones, combustión agrícola y más. Dentro de ellas tenemos a las Notas fijas, que se refieren a toda instalación establecida en un mismo lugar con el objeto de desarrollar procesos industriales y comerciales. Las emisiones se producen por los siguientes mecanismos: molienda, molienda de las emisiones, evaporación de volátiles que se originan en el material calentado, arrastre de partículas finas en la corriente de aire, como secado por aspersion de compuestos químicos. También se tiene a las Notas de área como: gasolineras, tintorerías, actividades de construcción, incineración agrícola. Y por último se tienen a las Notas móviles que son motocicletas, vehículos, camiones, autobuses, locomotoras, barcos, etc. (SEMARNAT, 2011, p.27).

#### **2.1.5. Efectos del PM2.5 en la salud**

“La exposición a partículas ha sido identificada como la causa de muchos efectos en la salud humana, incluido el aumento de las hospitalizaciones, las visitas a la sala de emergencias, los síntomas respiratorios, el empeoramiento de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas, así como la disminución de la función pulmonar y la muerte prematura, entre otros” (Beelen et al., 2014).

Asimismo “las partículas PM2.5 ingresan fácilmente al espacio alveolar y permanecen más tiempo que las partículas más grandes. También son internalizados por las células alveolares, las células dendríticas y los macrófagos, lo que induce la producción de citocinas proinflamatorias y la migración de macrófagos y neutrófilos al tejido alveolar. Al mismo tiempo, su presencia en las vías respiratorias es irritante, por lo que favorecen la secreción de mocos y los ataques de asma” (Sánchez, 2012, pp.331).

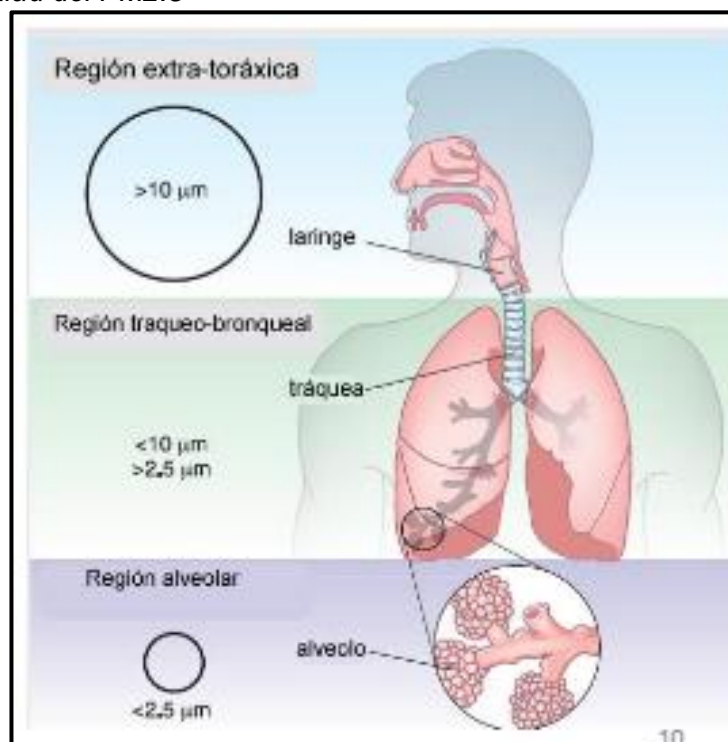
La contaminación del aire representa un riesgo ambiental significativo para la salud. Los países deben reducir los niveles de contaminación del aire para reducir la incidencia de enfermedades pulmonares como el asma y la rinitis (OMS, 2020).

“Un aumento en la concentración de PM2.5 por encima de 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  fue beneficioso para aumentar las consultas por neumonía en niños. Además, un aumento

de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la media diaria de  $\text{PM}_{2.5}$  se asoció con un aumento del 5 % en el riesgo de síndrome bronquial obstructivo en lactantes menores de 1 año. Los efectos a largo plazo incluyen una disminución del desarrollo en la estructura y función del sistema respiratorio y un mayor riesgo de cáncer en la edad adulta” (Oyarzun ,2010, pp.19-20).

### Figura 1

*Efectos en la salud del  $\text{PM}_{2.5}$*



Nota: Fernández, 2018, Impacto en salud de las emisiones de transporte

Las áreas alveolares, incluidos los alvéolos, se ven afectadas por partículas menores de  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) tal como se puede observar en la Figura 1.

#### 2.1.6. Estándares nacionales e internacionales

Perú cuenta actualmente con Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (ECA), los cuales han sido promulgados e implementados. Dichos estándares se desarrollan para proteger y mejorar la calidad del aire, protegiendo así la salud de las personas. El Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM establece la norma nacional de calidad del aire para  $\text{PM}_{2.5}$ . La Tabla 2 describe dichos estándares nacionales de calidad del aire para  $\text{PM}_{2.5}$

**Tabla 2***Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire para PM2.5*

Parámetro	Periodo	Valor	Criterios de Evaluación	Método de análisis
<b>Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM2.5)</b>	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Durante el año no superar más de 7 veces	Separación Inercial/ Filtración (gravimetría)

Nota: Decreto Supremo N° 003-2017 – MINAM.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), organismo internacional, ha establecido valores de concentración de referencia para uso de los países. El valor de referencia de la concentración de PM2.5 es el siguiente.

**Tabla 3***Valor referencial según la OMS*

Parámetro	Valor	Periodo
<b>Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM2.5)</b>	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual
	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 horas

Nota: OMS, 2021, Guía de Calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud.

**2.1.7. Índice de Calidad del Aire (ICA)**

El Índice de calidad de Aire (ICA) es el índice de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA) para informar sobre la calidad del aire a diario. Este Índice utiliza categorías por colores. Además, proporciona declaraciones para cada categoría que le informan sobre la calidad del aire en su área. También informa sobre los grupos de personas que pueden verse afectados y por último los pasos que puede tomar para reducir su exposición a la contaminación del aire. Existe un ICA para seis contaminantes principales: ozono, PM2.5, PM10, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.


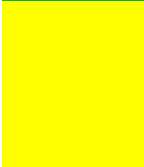




El ICA para el contaminante PM2.5 permite convertir su concentración (expresada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a un valor adimensional (valores que puede tomar el ICA) que puede ir de 0 a 500, esto es para facilitar la interpretación de un nivel de concentración dado. Cuanto más alto es el valor del ICA, más contaminado está el aire, en este caso por PM2.5, y por lo tanto más susceptible es la salud de las personas a los efectos adversos de este

contaminante. Asimismo, los valores utilizados por el ICA se dividen en seis rangos o intervalos, cada uno asociado a una clasificación de color y calidad del aire que va de bueno a peligroso.

Las tablas 4 y 5 muestran los valores de ICA y sus correspondientes clasificaciones de calidad del aire, asistencia sanitaria y recomendadas.

**Tabla 4**

*Índice de calidad del aire para el PM2.5*

Color diario de ICA	Niveles de preocupación	Valores de ICA	Descripción de la calidad del aire
	Buena	0 - 50	La calidad del aire es satisfactoria y la contaminación del aire presenta poco o ningún riesgo.
	Moderada	51 - 100	La calidad del aire es aceptable. Sin embargo, puede haber un riesgo para algunas personas, particularmente aquellas que son inusualmente sensibles a la contaminación del aire.
	Insalubre para grupos sensibles	101 -150	Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. El público en general es menos probable que se vea afectado.
	Insalubre	151 - 200	Algunos miembros del público en general pueden experimentar efectos en la salud; los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más graves.
	Muy poco saludable	201 - 300	Alerta de salud: El riesgo de efectos en la salud aumenta para todos.
	Peligroso	301 - 500	Advertencia sanitaria de condiciones de emergencia: todos tienen más probabilidades de verse afectados

Nota: U.S. EPA, 2018 (<https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>).

**Tabla 5**

*Estados de Calidad del Aire y su implicancia en las personas*

Índice de Calidad del Aire (I <sub>Lo</sub> - I <sub>Hi</sub> )	Estado	PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> ) (BP <sub>Lo</sub> - BP <sub>Hi</sub> )	¿Quién se debe preocupar?	Medidas a tomar por la población
0 - 50		0.0 – 12.0	Ninguno, no existe riesgo.	La calidad del aire es aceptable se puede realizar actividades al aire libre.
51 - 100		12.1 – 35.4	Personas que podrían ser excepcionalmente sensibles a la contaminación por partículas.	<p><b>Personas excepcionalmente sensibles:</b> Contemplar reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso al aire libre. Prestar atención a la aparición de síntomas como tos o dificultad para respirar. Esto indica que se debe reducir el esfuerzo.</p> <p><b>Para el resto de personas:</b> Es un buen día para realizar actividades al aire libre.</p> <p><b>Grupos sensibles:</b> Reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso. Está bien realizar actividades al aire libre, pero descanse a menudo y realice actividades menos intensas. Prestar atención a la aplicación de síntomas como tos o dificultad para respirar.</p>
101 - 150		35.5 – 55.4	Los grupos sensibles comprenden a personas con cardiopatías o enfermedades pulmonares, adultos mayores, niños y adolescentes.	<p><b>Las personas asmáticas</b> deben seguir sus planes de acción y tener a la mano medicamentos de acción rápida.</p> <p><b>Si padece de una cardiopatía:</b> Síntomas como palpitaciones, dificultad para respirar o fatiga inusual pueden indicar un problema grave. Si sufre cualquiera de estos síntomas, comuníquese con su proveedor médico.</p> <p><b>Grupos sensibles:</b> Evitar actividades que requieran esfuerzo prolongado a intenso. Tener en cuenta la posibilidad de realizar las actividades al interior de sus casas.</p>
151 - 200		55.5 – 150.4	Todos	<p><b>Para el resto de las personas:</b> Reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso. Descansar a menudo durante las actividades al aire libre.</p>
201 - 300		150.5 – 250.4	Todos	<p><b>Grupos sensibles:</b> Evitar toda actividad</p>



301 - 500	250.5 – 500.4	Todos	<p>física al aire libre. Traslade las actividades al interior de sus casas o re programe un horario en el que la calidad del aire es mejor.</p> <p><b>Para el resto de las personas:</b> Evite el esfuerzo prolongado o pesado. Considere trasladar las actividades al interior de sus casas o reprogramarlas para un momento en que la calidad del aire sea mejor.</p> <p><b>Todos:</b> Evitar toda actividad física al aire libre.</p> <p><b>Grupos sensibles:</b> Permanecer en el interior y mantener las actividades en niveles bajos. Siga los consejos para mantener bajos los niveles de partículas adentro.</p>
-----------	---------------	-------	--

Nota: U.S. EPA, 2015 ([https://www.airnow.gov/sites/default/files/2021-03/air-quality-guide\\_pm\\_2015\\_0.pdf](https://www.airnow.gov/sites/default/files/2021-03/air-quality-guide_pm_2015_0.pdf)).

### a) Temperatura

“La temperatura está relacionada con la energía térmica de los rayos del sol y es importante porque determina la formación de nubes, afecta el valor de la humedad atmosférica o la cantidad de vapor de agua en el aire y afecta la presión atmosférica” (López, 2006). La temperatura proporciona las condiciones para la reacción de los contaminantes primarios en la atmósfera para generar contaminantes secundarios.

### b) Humedad Relativa

La humedad relativa es “una relación entre la cantidad de vapor de agua realmente presente en la atmósfera y la cantidad de vapor de agua presente cuando el aire está saturado a la misma temperatura, expresado en porcentaje. Esta capacidad del aire para retener la humedad está relacionada con la temperatura, y si aumenta la capacidad del aire para absorber vapor de agua, la temperatura aumenta” (Ayllón, 1996, pp.121).

“La humedad reduce los ácidos formados por reacciones químicas, causando serios problemas para los bosques, la vida acuática y los edificios” (Chávez, 2009).

### **c) Viento**

El viento es una masa de aire que puede exhibir un movimiento vertical que sube o baja (convección) u horizontal (advección).

“El viento se produce por una diferencia de presión, de una zona de alta presión a una zona de baja presión, o temperatura, cuando una masa de aire más caliente que la ambiente aumenta su volumen y asciende” (Rodríguez et al., 2004).

“El transporte y la difusión de los contaminantes atmosféricos, como las partículas, se debe al efecto de la velocidad del viento, y la dirección del viento guía el transporte y la difusión de los contaminantes” (Cortés, 2013).

### **d) Radiación Solar**

La radiación solar es “la energía que el sol transmite a la Tierra, la cual viaja en todas direcciones en el espacio a través de ondas electromagnéticas. Esta energía es el motor que determina los procesos atmosféricos y la dinámica del clima, sin embargo, una mayor retención de gases de efecto invernadero puede provocar que esta variable meteorológica aumente la temperatura atmosférica y contribuya al cambio climático” (FECYT, 2004, p.28).

“La radiación solar afecta la concentración de PM2.5 porque facilita la oxidación de los COV atmosféricos (metano, etano, propano, benceno, tolueno, etc.) para formar partículas finas secundarias a partir de aerosoles orgánicos” (Khan et al., 2009). Asimismo, diversos estudios han confirmado que los materiales particulados son los encargados de absorber una parte de la radiación solar incidente, provocando el aumento de la temperatura.

#### **2.1.7.1. Anticiclón del pacífico sur**

El anticiclón del pacífico sur es “una gran área de la atmósfera en la que el aire desciende y gira en sentido contrario a las agujas del reloj, lo que provoca vientos más fuertes y corrientes de Humboldt más frías frente a las costas de Perú” (Vivencio, 2018).

### **2.1.7.2. Viento de circulación local**

Los vientos locales son generados por la radiación solar recibida, la topografía y el calentamiento desigual durante el día y noche, siendo los más conocidos, los vientos marino terrestres.

“Los vientos marino terrestre son creados por diferencias de temperatura y presión entre continentes, continentes y océanos. Durante el día, el viento sopla desde el océano hacia el continente, y durante la noche, la brisa sopla desde el continente hacia el océano” (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

### **2.1.7.3. Inversión térmica**

“Es un fenómeno natural que se origina en las regiones media y baja de la tropósfera y es característico por la perturbación producida en el gradiente térmico vertical, en el cual, el valor de la temperatura contrario su tendencia normal, presenta aumento proporcional con la altitud. En pocas palabras generan que una capa de aire frío cercana a la superficie no pueda ascender impidiendo la circulación vertical del flujo de aire” (García, Ramírez, Ulloa, Arias, & Pérez, 2012).

### **2.1.7.4. Topografía**

“Las características topográficas determinan la componente dominante del viento. El terreno determina la velocidad, la dirección y el alcance de la dispersión de los contaminantes, y los patrones de viento locales pueden verse afectados por montañas, pendientes y otros” (Notas, 2016).

### **2.1.8. Emergencia Sanitaria por el coronavirus COVID-19**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha calificado con fecha 11 de marzo de 2020 el brote del Coronavirus (COVID-19) como una pandemia al haberse extendido en más de cien países del mundo. Al respecto el Gobierno Peruano dictó medidas sanitarias a partir de la fecha con distintos decretos como D.S. N°008-2020-SA, D.S. N°031-2020-SA hasta el D.S. N°015-2022-SA. Asimismo se dictaron restricciones en las movilizaciones de autos particulares y transporte interprovincial a partir de la fecha en mención.

### 2.1.9. Variación espacial de la concentración de PM2.5

Diversos estudios afirman que la concentración de PM2.5 varía según las condiciones topográficas, meteorológicas y Notas generadoras de una zona a otra. Se utiliza la geoestadística como técnica de pronóstico, la cual permite determinar la continuidad espacial de diferentes variables, posibilitando predicciones o estimaciones muy cercanas a la verdadera variable en puntos desconocidos (Rodríguez, 2014).

#### 2.1.9.1. Geoestadística

La geoestadística se define como una parte de la estadística que se relaciona con datos espaciales o espaciotemporales donde se utiliza técnicas y herramientas que permiten el análisis, simulación y predicción de variables que se encuentran distribuidas de forma continua en el espacio o tiempo. Existen métodos de interpolación deterministas como IDW, Spline, Polígonos de Thiessen, y métodos geoestadísticos como Kriging simple y ordinario. (Moreano, 2018).

En la presente investigación se utiliza el método Distancia Inversa Ponderada (IDW) por su simplicidad y la no necesidad de parámetros complejos como otros métodos.

##### a) IDW

“Es un método geoestadístico basado en la estimación por similitud del valor de la muestra más cercana, la estimación se genera ponderando el valor de la muestra de acuerdo a la distancia, además el método asigna un peso mayor a las muestras cercanas y asigna un peso menor a la más lejana, el peso es inversamente proporcional a la distancia” (Valero, 2014, pp.15-55). Este método utiliza Ecuación 1 y 2 detallado a continuación.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n (W_i \times Z(x)_i) \dots\dots\dots(1)$$

$$W_i = \frac{\frac{1}{d_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\beta}} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$Z^*(x)$ : Valor estimado de la temperatura

$Z(X)_i$ : Valor de la temperatura en el punto conocido  $i$ ;

$W_i$ : Peso de la estación  $i$ ;  $n$ : número de estaciones vecinas;

$D_{ij}$ : Distancia geométrica entre estación y el punto a interpolar;

$\beta$ : Coeficiente de ponderación cuyo valor predeterminado es 2.

### **2.1.10. Pruebas estadísticas**

En todos los estudios, cuando se analiza un conjunto de datos o se comparan dos o más de ellos, son necesarias pruebas estadísticas para que nuestra investigación sea confiable. Existen múltiples pruebas estadísticas, cada una con una funcionalidad específica. También existen pruebas que son variables aleatorias utilizadas para la prueba de hipótesis, que ayudan a rechazar o no la hipótesis nula y permiten comparar con valores  $p$  (Soporte Minitab, 2021).

La operatividad de las pruebas estadísticas y el tiempo que lleva resolverlas se pueden reducir significativamente mediante el uso de distintos softwares que permiten realizar pruebas simples y complejas.

Las diferentes pruebas estadísticas se dividen en dos grandes grupos: paramétricos y no paramétricos (Flores et al., 2017).

### **2.1.11. Prueba de normalidad de Shapiro Wilk**

Este test se emplea para contrastar normalidad cuando el tamaño de la muestra es menor a 30 observaciones. El método consiste en comenzar ordenando la muestra de menor a mayor valor, obteniendo el nuevo vector muestral, se puede contrastar la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, procediéndose a calcular la media y la varianza muestral. Se rechaza la hipótesis nula si el estadístico Shapiro-Wilk  $-W-$  es menor que el valor de significancia (Novales, 2010).

### **2.1.12. Prueba de Homogeneidad de Varianzas – Prueba de Levene**

“La prueba de homogeneidad o igualdad de varianzas verifica la homogeneidad de las varianzas en un mismo grupo grande, la prueba se obtiene de un análisis de

varianza (ANOVA) donde cada observación ha sido reemplazada por su desviación absoluta de la media” (Bisquerra, 1987).

#### **2.1.12.1. Pruebas estadísticas paramétricas**

Las pruebas paramétricas son aquellas donde existen dos supuestos. El primero es la distribución de la variable, la cual debe tener una distribución normal. Y otro supuesto fundamental es la igualdad u homogeneidad de varianza (Saucedo, 2019).

Entre las principales pruebas paramétricas se tiene:

##### **a) T Student**

“Se aplica cuando se comparan las medias de dos poblaciones independientes. Además de los intervalos de confianza del 95% para la diferencia de medias, esta prueba calcula estadísticos descriptivos para cada grupo” (Barlanga, 2012).

##### **b) ANOVA**

“El análisis de varianza de un factor nos sirve para comparar varios grupos una variable cuantitativa. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplica para contrastar la igualdad de medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal” (Portilla et al., 2006).

#### **2.1.12.2. Pruebas estadísticas no paramétricas**

Las pruebas no paramétricas son aquellas que no hacen suposiciones sobre la distribución paramétrica de la población. Estas se aplican con mayor frecuencia a datos nominales y ordinales. Entre las principales pruebas no paramétricas se tiene:

##### **a) Kruskal - Wallis**

“Evalúa la diferencia ( $k > 2$ ) entre las medianas de más de 2 muestras. La prueba de Kruskal-Wallis se aplica a las muestras que no proceden de una población normal y/o cuando sus varianzas son heterogéneas” (Bautista et al., 2020).

## **b) Correlación de Spearman**

“Es un método no paramétrico que mide la correlación de dos variables X e Y. En esta correlación de rango de Spearman, a los datos se les puede asignar un rango de 1 a N en orden de tamaño e importancia. Cuando se asigna un rango a X e Y, este coeficiente de correlación de rango de Spearman viene dado por  $r_s$ “(Badi et al., 2012). Para aplicar esta prueba, la distribución debe ser no normal.

## **c) U de Mann Whitney**

La prueba de U de Mann Whitney “es una prueba no paramétrica alternativa a la prueba t de muestras independientes. Esta prueba se utiliza para comparar si dos medias muestrales son iguales o no. Las conclusiones que se saca luego de esta prueba es afirmar si las dos poblaciones difieren hasta determinar si hay diferencia en las medianas de los grupos “(Question Pro, 2022). Para aplicar esta prueba, la distribución debe ser no normal.

## **CAPITULO III. Materiales y Método**

### **3.1. Materiales y equipos**

- Equipo de monitoreo de partículas a bajo volumen marca TCR Tecora modelo Bravo Plus
- Filtros de fibra de teflón de 47 mm de diámetro
- Balanza analítica
- Placas petri plásticas de 60 mm de diámetro
- Software ArcGis 10.3
- Software Minitab 19
- Software WRPLOT View
- Software Google Earth Pro
- GPS
- Guantes de vinilo
- Extensión de 20 metros
- Rotulador
- Libreta de campo

### **3.2. Metodología**

#### **3.2.1. Red de monitoreo de calidad del aire en el campus de la UNI**

##### **3.2.1.1. Área de estudio**

La presente investigación se realizó en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). El área se delimitó bordeando todos los elementos propios de la Universidad como facultades, áreas auxiliares, áreas de investigación, áreas verdes y demás componentes educativos.

El área de estudio abarcó también el área que genera la vía de servidumbre Calle Villa el Ángel con la Calle Las Violetas. Esta área colinda con la Huaca UNI-CISMID y la Puerta 6 de la UNI. No se consideró el área donde se encuentra la tienda de

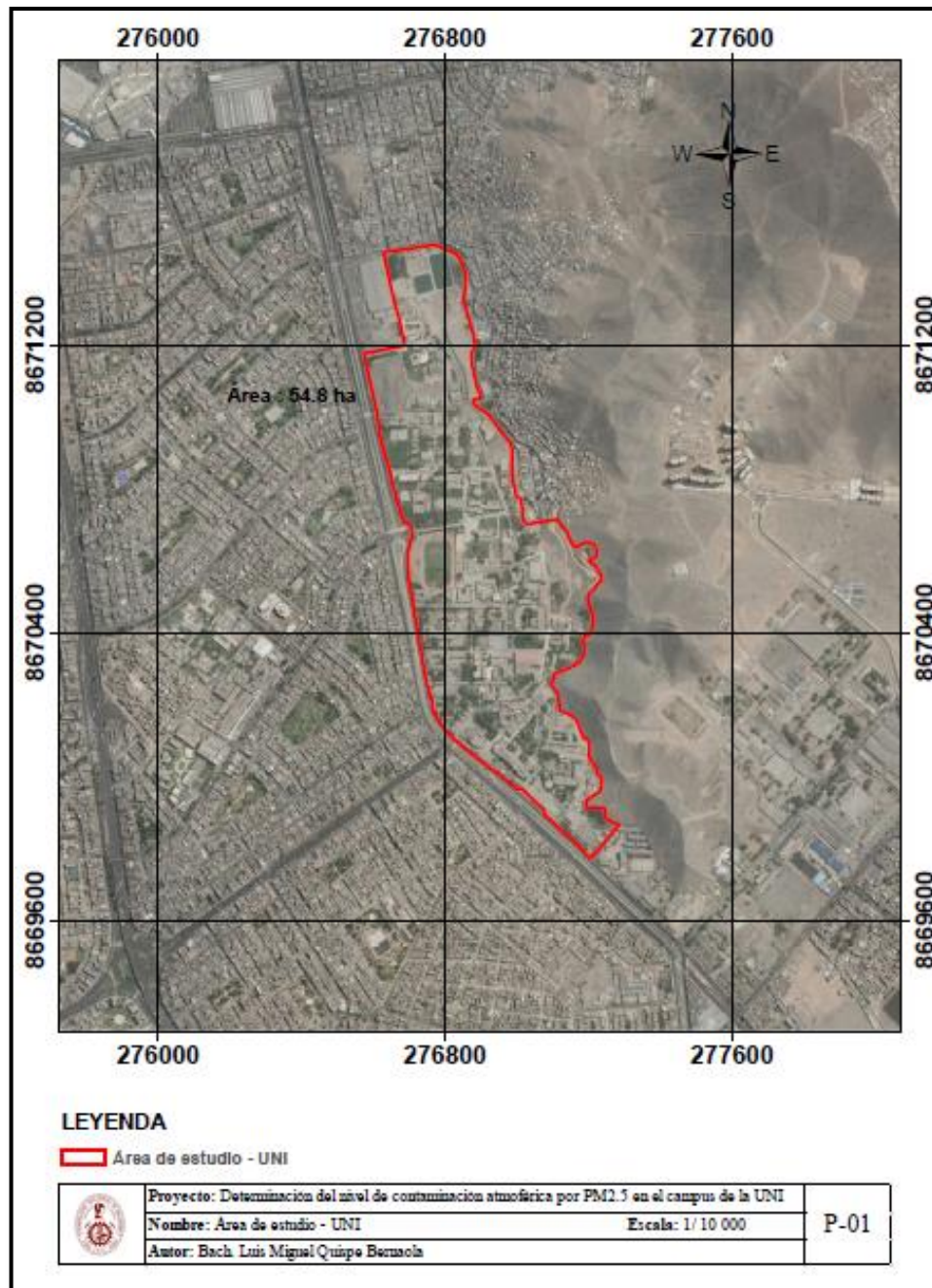


supermercados Metro, la sala de cine y el hospital móvil perteneciente al Sistema Metropolitano de la Solidaridad de la Municipalidad de Lima.

Para el presente estudio se consideró un área de 54.80 ha, tal como lo muestra la Figura 2.

### Figura 2

Área de estudio



Nota: Elaboración propia / Software Arcgis 10.3

La Universidad Nacional de Ingeniería se encuentra ubicada en la ciudad de Lima, distrito del Rímac en el límite con los distritos de San Martín de Porres e Independencia. El campus se extiende por casi dos kilómetros a lo largo de la Av. Túpac Amaru. Asimismo la UNI cuenta con las siguientes áreas : 11 facultades, biblioteca central , teatro UNI , coliseo universitario , estadio, Museo de Artes y Ciencias Eduardo de Habich, Museo de Mineralogía y Paleontología, comedor de estudiantes, residencias universitarias , laboratorio nacional de hidráulica , Centro de Tecnologías de Información y Comunicaciones, el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres , Centro de Proyección y Responsabilidad Social (CEPS - UNI) , el Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales (CITRAR), Huaca UNI-CISMID y Huaca UNI-MINAS.

Según la Oficina de Registro Central y Estadística (ORCE), al año 2021 la UNI cuenta con 11220 estudiantes de pregrado y 1149 estudiantes de posgrado; junto al personal docente, administrativo, servicios, limpieza y otros, suman un número relevante de personas, que en la presente investigación se le denominó comunidad universitaria. A continuación, se detallan los elementos que se encuentran en los límites próximos de la UNI:

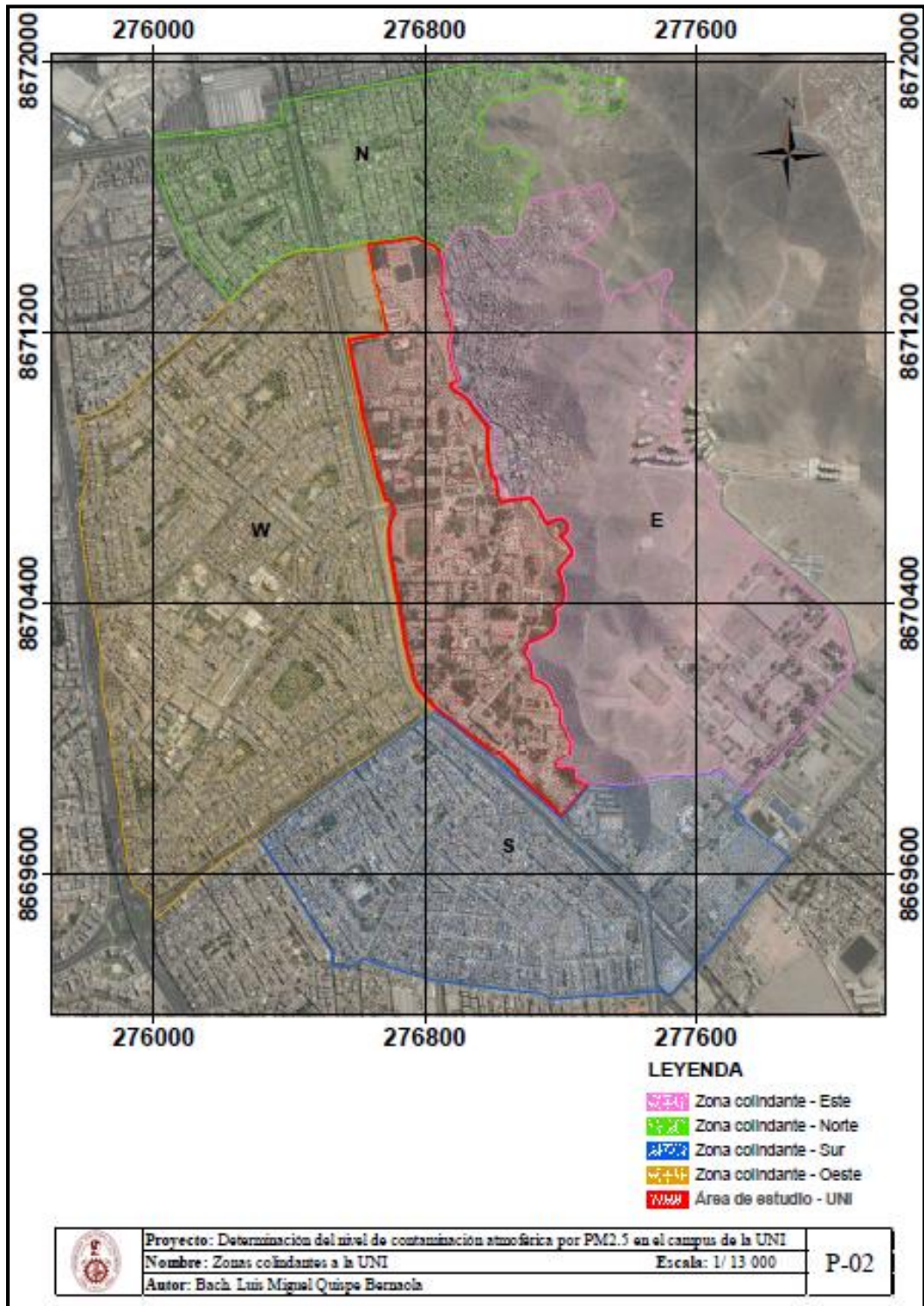
- Por el norte: la avenida 18 de enero, grifo Repsol, avenida Tomas Valle, Mercado Central Fevacel, Terminal Terrestre Plaza Norte, Institución Educativa 3051.
- Por el sur: las avenidas Túpac Amaru, Caquetá, calle Francisco Pizarro, Institución Educativa Mercedes Cabello de Carbonera, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del MTC, Estación del Metropolitano Honorio Delgado, Subestación UNI, Escuela Superior Privada de Tecnología SENATI.
- Por el oeste: las avenidas Túpac Amaru, Honorio Delgado, Juan Vicente Nicolini, Eduardo de Habich, calle Las Violetas, calle Gerardo Unger, tienda de supermercados Metro, la sala de cine, el hospital SISOL, Hospital Cayetano Heredia, Instituto Nacional Honorio Delgado Hideyo Noguchi, capilla Los Jardines,

capilla San Patricio, Estación del Metropolitano Honorio Delgado, Institución Educativa Martincito.

- Por el este: la calle Los Héroes, 27 de abril, el A.H. Villa el Ángel, Comisaria La Unificada, Fuerte Rafael Hoyos Rubio, prolongación Alcázar, Instituto de Educación Superior Tecnológico de las Fuerzas Armadas, Institución Educativa Virgen del Carmen y a más de 3 km Las Lomas Boca del Sapo Brisas.

**Figura 3**

*Zonas colindantes a la UNI*



Nota: Elaboración propia / Software Arcgis 10.3

### 3.2.1.2. Puntos de monitoreo

Se instalaron 4 puntos de monitoreo distribuidos en diferentes zonas de la UNI (ver Anexo 1. Fotografías de puntos de monitoreo). Los criterios para la ubicación de dichos puntos se basaron en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire del Ministerio del Ambiente (2019), que fueron las siguientes:

- Fácil acceso
- Disponibilidad de energía eléctrica
- Libre de obstáculos
- Ser representativas
- Recursos económicos
- Seguridad

Además, la cantidad de puntos de monitoreo dependió también del objetivo de la investigación en el área de estudio, disponibilidad de recursos económicos, humanos y tecnológicos.

Se detalla además las zonas o lugares donde se instalaron los puntos de monitoreo:

- UNI-01: Zona colindante a la Puerta N°3 , a 10 metros de la Facultad de Ingeniería Mecánica
- UNI-02: Zona colindante a la Puerta N° 4, a 10 metros del Centro de Proyección Social de la UNI (CEPS- UNI)
- UNI-03: Zona colindante a la Puerta N° 5, a 20 metros de la Facultad de Ciencias
- UNI-04: Frente al Centro de Investigación de Sismología y Destrucción (CISMID) y CEPRE-UNI

Los puntos UNI-01 y UNI-02 se establecieron con la finalidad de obtener información acerca de la calidad de aire en el área de la UNI cercana a las Av. Túpac Amaru y Av. Eduardo de Habich, las cuales son transitadas por vehículos particulares y de transporte colectivo. El punto UNI-03 se estableció con la finalidad de obtener información acerca de la calidad de aire en el área de la UNI cercana a las Av. Túpac

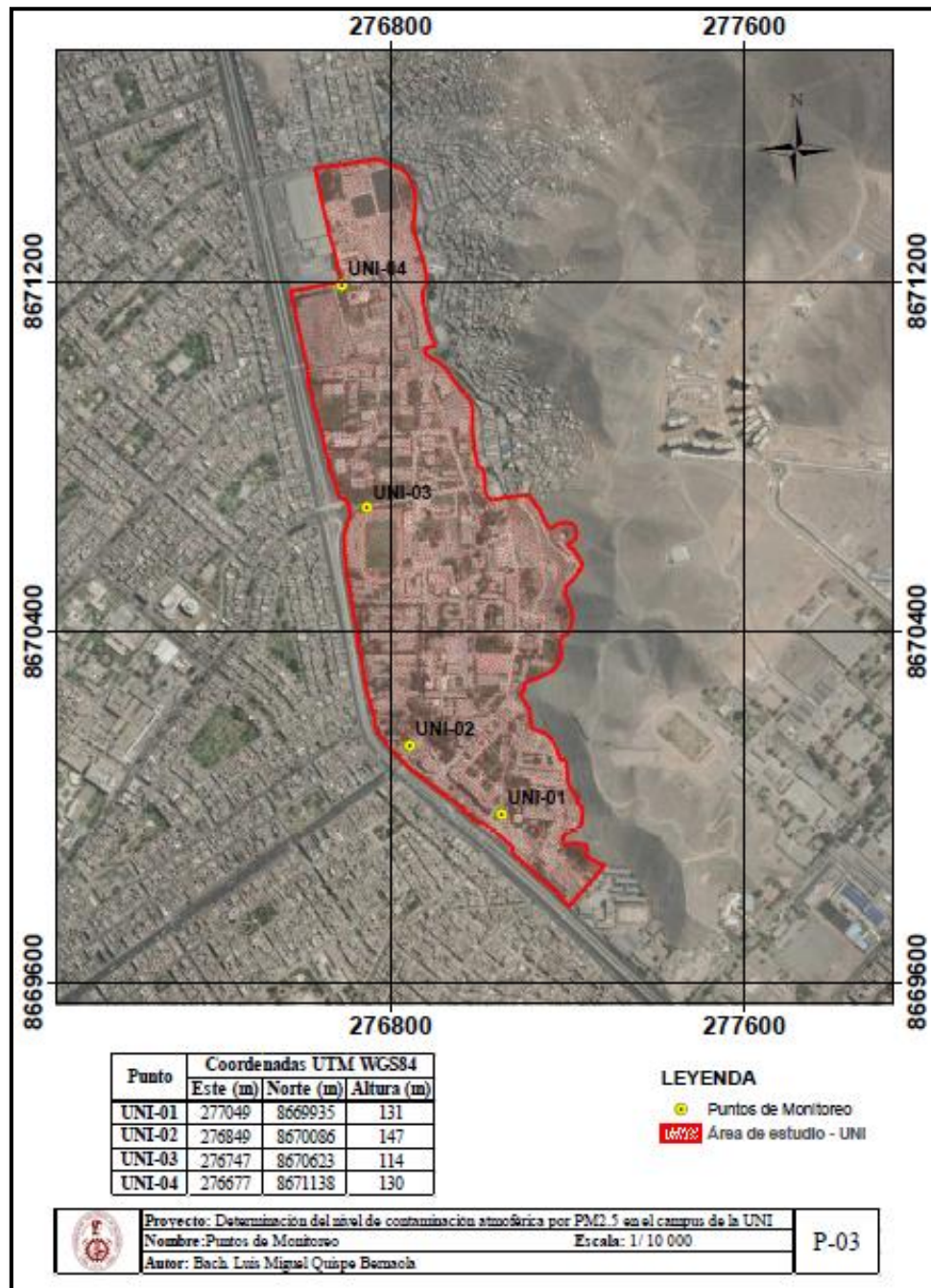


Amaru y Av. Honorio Delgado. Por último, el punto UNI-04 se estableció con la finalidad de obtener información acerca de la calidad de aire en la zona más próxima a la Huaca y menos concurrida por la comunidad universitaria.

Se presenta a continuación la Figura 4 donde se muestra la ubicación de los puntos de monitoreo.

**Figura 4**

*Ubicación de puntos de monitoreo dentro del campus de la UNI*



Nota: Elaboración propia / Software Arcgis 10.3

Se presenta la Tabla 6, donde se observan las ubicaciones de los 4 puntos de monitoreo, estos puntos se ubicaron con sus coordenadas geográficas UTM WGS84 con ayuda de GPS manual.

**Tabla 6**

*Ubicación de los puntos de monitoreo*

Punto de muestreo	Coordenadas Geográficas en UTM WGS84		Altura (m.s.n.m.)
	ESTE(m)	NORTE(m)	
<b>UNI-01</b>	277049	8669935	131
<b>UNI-02</b>	276849	8670086	147
<b>UNI-03</b>	276747	8670623	114
<b>UNI-04</b>	276677	8671138	130

Nota: Elaboración propia

**3.2.1.3. Programa de monitoreo**

**- Duración del monitoreo**

Las mediciones de concentración de PM2.5 iniciaron el 27 de octubre del 2021 y concluyeron el 23 de noviembre del 2021.

**- Frecuencia del monitoreo**

La toma de muestras se realiza de forma diaria semanal, sin considerar los días sábados y domingos. El equipo de bajo volumen se coloca en el punto UNI-01 y luego de monitorear los 5 días (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes) es desplazado al siguiente punto UNI-02. Este proceso se repite para cada punto hasta llegar al punto UNI-04. Al final del periodo de tiempo se logran obtener 20 filtros con muestra de PM2.5 que se llevarán al laboratorio para su pesaje.

**- Tiempo de toma de muestra**

El tiempo de muestreo del material particulado es de  $24 \pm 1$  horas. Este tiempo de muestreo es establecido tomando como guía y referencia el "Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Aire" (MINAM, 2019).

**3.2.1.4. Método de muestreo**

El método utilizado para la recolección de muestras de PM2.5 es el método activo del tipo separación/filtración por inercia (método gravimétrico). El método consiste en

ingresar aire ambiente a un caudal constante a través de un cabezal selectivo que se encarga de separar, mediante una fuerza inercial las partículas mayores que no son de interés del monitoreo. Luego, las partículas de PM2.5 se recogen en un filtro. Los filtros utilizados para el muestreo deben pesarse antes y después del muestreo.

La toma de muestras se realiza utilizando un equipo muestreador de bajo volumen marca TCR Tecora modelo Bravo Plus (**ver Anexo 2. Partes del Equipo Muestreador**), el cual es alquilado a la empresa RAULOAN & INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C. Asimismo los filtros de teflón de 47 mm son proporcionados por la empresa ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. (ALAB). Cabe mencionar que en los días muestreados, el equipo trabaja las 24 horas con un flujo volumétrico promedio de 16.7 litros/minuto o 1m<sup>3</sup>/hora (**ver Anexo 6. Certificado de Calibración**).

El procedimiento de muestreo se divide en dos etapas, (1) muestreo y (2) postmuestreo. Las actividades de muestreo se realizan donde se ubican los puntos de monitoreo (campo), y las actividades de la fase de post-muestreo se realizan en el laboratorio de la Empresa ALAB ubicado en el distrito del Callao (**ver Anexo 8. Informes de Ensayo**). En la Tabla 7 se detallan los procedimientos seguidos para ambas fases.

**Tabla 7**  
*Etapas para la toma de muestra*

Etapa de muestreo	
Paso	Procedimiento
1	Llevar el filtro desecado, contenido en la placa petri rotulada, al punto de monitoreo donde se encuentra el equipo.
2	Retirar el filtro desecado de la placa petri y colocar en el porta filtro del equipo.
3	Encender el equipo y anotar la hora en la cual se inicia la toma de muestra.
4	Retirar el filtro que contiene la muestra de PM2.5 y colocar en la placa petri rotulada, terminada la toma de muestra (pasado 24 horas).
5	Registrar datos de volumen (estandarizado) de aire muestreado, apagar el equipo y colocar un nuevo filtro.
6	Trasladar la placa petri, que contiene el filtro con muestra al laboratorio.
Etapa de Post muestreo	
Paso	Procedimiento
1	Colocar el filtro que contiene muestra de PM2.5 en el desecador por 24 horas.
2	Pasada las 24 horas, retirar el filtro del desecador.
3	Pesar el filtro en balanza analítica y registrar el valor.

Nota: MINAM, 2019, Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire



Ambas etapas (muestreo y post-muestreo) se utilizan guantes de vinilo durante el manejo del filtro de recolección de muestras para evitar la contaminación de la misma.

Para la identificación de cada muestra, es necesario rotular las placas Petri con el filtro detallando el nombre del punto de monitoreo, la fecha y hora del monitoreo. Asimismo, se realiza la cadena de custodia donde también se colocan las coordenadas UTM-WGS84 de cada muestra (**ver Anexo 7. Cadenas de custodia**)

Con los valores del peso del filtro y el volumen normalizado del aire muestreado, se calcula la concentración de PM2.5 correspondiente, para ello se utilizan las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$C = \frac{M}{V_{\text{aire}}} \dots\dots (1)$$

$$M = P_f - P_i \dots\dots (2)$$

$$V_{\text{aire}} = F_{\text{aire}} \times t \dots\dots(3)$$

Donde:

C: Concentración de PM2.5 expresado en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

M: Masa expresada de PM2.5 expresado en  $\mu\text{g}$

V aire: Volumen de aire expresado en  $\text{m}^3$

Pf: Peso final del filtro expresado en  $\mu\text{g}$

Pi: Peso inicial del filtro expresado en  $\mu\text{g}$

Faire: Flujo de aire expresado en  $\text{m}^3/\text{hora}$

t : Tiempo de monitoreo expresado en horas

También se menciona que no es necesario normalizar los datos del volumen de aire muestreado en función de las condiciones de temperatura y presión el día del muestreo. Esto se debe a que los dispositivos de muestreo de la marca TCR Tecora ya brindan datos volumétricos estandarizados en condiciones estándar.

Además de las concentraciones calculadas, durante el período de monitoreo se registraron datos diarios de las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa y viento medidos por la estación meteorológica ubicado en el Centro de Energías

Renovables y Uso Racional de la Energía de la UNI (CER-UNI). Los datos de radiación solar son obtenidos de la Plataforma NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources.

### **3.2.2. Evaluación de la variación de PM2.5**

#### **3.2.2.1. Variación diaria de la concentración de PM2.5**

Se determina la cantidad de veces en que los datos de concentración diaria de PM2.5 se encuentran por encima del Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire (ECA) para PM2.5 y el valor Guía de la OMS para PM2.5.

También se determina el porcentaje excedido a dichos valores referenciales, durante los días monitoreados. Asimismo, se utiliza la versión de prueba Minitab 19 Statistical Software para generar un gráfico de cajas, el cual permite determinar la distribución de los valores de concentración de PM2.5 obtenidas durante el periodo de monitoreo.

#### **3.2.2.2. Índice de Calidad del Aire (ICA)**

El método de cálculo del ICA se basó en una expresión matemática que fue obtenida del Documento de Asistencia Técnica para el Informe de la calidad del aire diario (ICA) de la U.S. EPA, la cual establece la metodología para el cálculo del ICA. La determinación matemática del ICA para PM2.5 se basa en la relación entre el valor registrado de la concentración del contaminante y el valor de referencia dado por la U.S. EPA (Air Now, 2018). A continuación, se presenta la ecuación matemática 1, con la cual se calcula el ICA.

$$ICA_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1)$$

Donde:

$ICA_p$ : Índice de calidad del aire para el contaminante p

$I_{Hi}$ : Valor del ICA correspondiente al punto de corte  $BP_{Hi}$

$I_{Lo}$ : Valor del ICA correspondiente al punto de corte  $BP_{Lo}$

$BP_{Hi}$ : Punto de corte mayor o igual a  $C_p$

$BP_{Lo}$ : Punto de corte menor o igual a  $C_p$

$C_p$ : Concentración del contaminante p

Cada valor calculado de ICA se asocia con una serie de valores y colores correspondientes y se presenta como un gráfico de barras. Asimismo, el valor calculado del ICA está relacionado con las inquietudes y recomendaciones emitidas por la U.S. EPA. Además, se genera un diagrama de caja y determina la distribución de los valores de ICA de PM2.5 obtenidos durante el período de monitoreo.

### **3.2.2.3. Comportamiento del PM2.5**

La concentración de PM2.5 se analizó en función del día de la semana. Primero, todos los datos de concentración obtenidos durante el período de monitoreo se agruparon por el día de la semana obtenido (sin considerar sábado ni domingo), por lo que se obtienen 5 grupos (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes) con 4 valores de concentración de PM2.5. Luego se realiza la prueba de distribución normal de Shapiro Wilk a cada grupo de datos para determinar si tienen una distribución normal. Luego, se utiliza la prueba estadística de homogeneidad de varianzas para verificar si los cinco grupos de datos tienen varianzas iguales. Para concluir, mediante una prueba estadística ANOVA de un factor, se determina si existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos de datos de concentración de PM2.5 agrupados según el día de la semana obtenida.

Para llevar a cabo todas estas pruebas estadísticas se utiliza la versión de prueba Minitab 19 Statistical Software. Además, para una mayor interpretación de estas, se muestra la Tabla 8, donde se detallan la hipótesis nula, hipótesis alterna, nivel de significancia y su interpretación respectiva.

**Tabla 8**

*Pruebas estadísticas de Distribución Normal, Homogeneidad de Varianzas y ANOVA*

Nombre	Función	Supuestos	Hipótesis	Nivel de Significancia o significancia	Interpretación
Prueba de Distribución Normal de Shapiro - Wilk	Prueba si un grupo de datos tiene distribución normal	Ninguno	H0: Los datos siguen una distribución normal. H1: Los datos no siguen una distribución normal.	$\alpha = 0.05$ (si el número de datos es menor o igual a 30)	Si Sig. (p valor) $\leq \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula (H0) Si Sig. (p valor) $> \alpha$ , no se rechaza la hipótesis nula (H0)
Prueba de Homogeneidad de Varianzas	Prueba si las varianzas de dos o más poblaciones son iguales	Ninguno	H0: Las varianzas no son diferentes. H1: Las varianzas son diferentes, por los menos una varianza es diferente.	$\alpha = 0.05$ (si el número de datos es menor o igual a 30) $\alpha = 0.01$ (si el número de datos es mayor a 30)	Si $p \leq \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula (H0) Si $p > \alpha$ , no se rechaza la hipótesis nula (H0)
ANOVA de un solo factor	Prueba si las medias de tres o más poblaciones son iguales	a) Todos los grupos de datos deben tener una distribución normal. b) Los datos deben tener muestras aleatorias independientes. c) Existe homogeneidad de varianzas.	H0: Las medias poblacionales no son diferentes. H1: Al menos una media poblacional es diferente	$\alpha = 0.05$	Si $p \leq \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula (H0) Si $p > \alpha$ , no se rechaza la hipótesis nula (H0)

Nota: Guía de ayuda de la versión de prueba / Minitab 19 Statistical Software

### 3.2.2.4. Relación entre los valores de PM2.5 y las variables meteorológicas

Para relacionar las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y velocidad) con los valores de PM2.5 obtenidos en la UNI, se utilizaron los valores diarios que arrojó la estación meteorológica automática ubicada en el Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI).

Para la elaboración de la rosa de vientos, en cambio, se utilizaron los valores horarios de velocidad y dirección de viento que arrojó dicha estación. Esta rosa se elaboró con el Software WRPLOT View.

Esta información se recolectó a través de la Facultad de Ciencias. A continuación, se muestran las características de dicha estación (**ver Anexo 3. Estación Meteorológica**)

**Tabla 9**

#### *Estación Meteorológica automática CER-UNI*

Estación	Departamento	Provincia	Distrito	COORDENADA UTM WGS84 18L		Altitud (msnm)
				ESTE (m)	NORTE(m)	
CER-UNI	Lima	Lima	Rímac	277247	8669806	8 m

Nota: CER UNI, 2022

Para el caso de la radiación solar se obtuvieron valores diarios en el mismo punto de la estación CER UNI. Esta información se recolectó a través del Portal NASA Prediction of Worldwide Energy Resources.

**Tabla 10**

#### *Datos de Radiación Solar*

Punto	Satélite	Ubicación	COORDENADA UTM WGS84 18L		Altitud (msnm)
			ESTE(m)	NORTE(m)	
E-01	MERRA - 2	Área de estudio	277247	8669806	1194

Nota: NASA Prediction of Worldwide Energy Resources, 2021 (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

Para verificar si existe una relación entre los valores de concentración de PM2.5 y los valores de las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar obtenidos durante el período de monitoreo, se realiza la prueba de distribución normal de Shapiro Wilk sobre los datos de concentración de PM2.5 y los

datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar obtenidos a lo largo del período de monitoreo (20 datos de concentración de PM2.5 y 20 datos por cada variable meteorológica). Segundo, se utiliza la prueba estadística no paramétrica de correlación de Spearman para calcular el coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de PM2.5 y cada variable meteorológica, como indicador del nivel de relación existente.

Para llevar a cabo la prueba de Correlación de Spearman se utiliza la versión de prueba Minitab 19 Statistical Software. Además, para una mayor interpretación de esta, se muestra la Tabla 11, donde se detalla la función de la prueba, los supuestos, la hipótesis nula, hipótesis alterna, nivel de significancia y su interpretación respectiva.

**Tabla 11**

*Prueba de Correlación de Spearman*

Nombre	Función	Supuestos	Hipótesis	Nivel de Significancia o significancia	Interpretación
Correlación de Spearman	Prueba si existe relación monótona entre dos grupos de datos.	a) Al menos uno de los dos grupos de datos no debe tener distribución normal	H0: $r = 0$ (el coeficiente no es significativo) H1: $r \neq 0$ (el coeficiente es significativo)	$\alpha = 0.05$ (si el número de datos es menor o igual a 30)	Si $p \leq \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula (H0)
				$\alpha = 0.01$ (si el número de datos es mayor a 30)	Si $p > \alpha$ , no se rechaza la hipótesis nula (H0) r indica el grado de relación monótona que hay entre los dos grupos de datos.

Nota: Guía de ayuda de la versión de prueba / Minitab 19 Statistical Software

**3.2.3. Variación de valores de PM2.5 antes y durante la emergencia sanitaria por el coronavirus COVID-19**

Se analizó la variación de los valores de concentración de PM2.5 antes de la emergencia sanitaria por el coronavirus COVID-19 (2019) y durante el estado de emergencia (2020 y 2021) en la Estación Meteorológica del SENAMHI más cercana y

con valores de registro durante el periodo de estudio (27 de octubre al 23 de noviembre) en los años 2019, 2020 y 2021. Para ello se procedió a realizar la prueba de distribución normal de Shapiro Wilk a los 3 grupos obtenidos. Luego se utilizó la prueba estadística t de 2 muestras para comparar los grupos 2019 – 2020 y 2019 – 2021, y ver si las medias de ambos grupos son distintos o no lo son y de acuerdo a ello determinar si existió una variación significativa.

Luego de ello se procedió a realizar un diagrama de dispersión entre los valores de PM2.5 de dicha estación meteorológica y los valores de PM2.5 obtenidos en campus de la UNI para determinar si existe una relación entre ambas. De esta forma se logra evaluar la variación que se tuvo en el año 2021 con respecto al año 2019.

Para llevar a cabo la prueba t en 2 muestras se utiliza la versión de prueba Minitab 19 Statistical Software. Además, para una mayor interpretación de esta, se muestra la Tabla 12, donde se detalla la función de la prueba, la hipótesis nula, hipótesis alterna, nivel de significancia y su interpretación respectiva.

**Tabla 12**

*Prueba t en 2 muestras*

Nombre	Función	Hipótesis	Nivel de Significancia o significancia	Interpretación
t en 2 muestras	Prueba si las medias de dos poblaciones son iguales	a) Los dos grupos de datos deben tener distribución normal.	H0: Las medias poblacionales no son diferentes.	$\alpha = 0.05$ (si el número de datos es menor o igual a 30)
		b) Existe homogeneidad de varianzas.	H1: Las medias poblacionales son diferentes.	$\alpha = 0.01$ (si el número de datos es mayor a 30)

Nota: Guía de ayuda de la versión de prueba / Minitab 19 Statistical Software

**3.2.4. Variación espacial de valores de PM2.5**

**3.2.4.1. Comportamiento de los valores de PM2.5**

Se determina si las concentraciones de PM2.5 registradas en cada punto de monitoreo son similares o diferentes. En primer lugar, se agrupan las concentraciones de

PM2.5 obtenidas durante el periodo de seguimiento según los puntos obtenidos. De esta manera, se obtienen 4 grupos de datos de concentración de PM2.5 (1 grupo para cada punto de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04). Luego se utiliza la prueba de distribución normal de Shapiro Wilk para determinar si cada conjunto de datos de concentración de PM2.5 tiene una distribución normal. Luego, se utiliza la prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis para determinar si existe diferencia significativa entre los grupos de datos de concentración de PM2.5 al comparar sus medianas de población. También se genera el diagrama de caja para comprender la distribución de los datos de concentración de PM2.5 en los puntos de monitoreo.

Para llevar a cabo la prueba de Kruskal Wallis se utiliza la versión de prueba Minitab 19 Statistical Software. Además, para una mayor interpretación de esta, se muestra la Tabla 13, donde se detalla la función de la prueba, la hipótesis nula, hipótesis alterna, nivel de significancia y su interpretación respectiva

**Tabla 13**

*Prueba de Kruskal Wallis*

Nombre	Función	Hipótesis	Nivel de Significancia o significancia	Interpretación
Kruskal Wallis	Prueba si las medianas de tres o más poblaciones son iguales	No Paramétrica	a) Al menos uno de todos los grupos de datos no debe tener distribución normal. b) Los datos deben ser muestras aleatorias independientes.	H0: Las medianas poblacionales no son diferentes. H1: Al menos una mediana poblacional es diferente

Nota: Guía de ayuda de la versión de prueba / Minitab 19 Statistical Software



#### **3.2.4.2. Distribución espacial del PM2.5**

La distribución de concentraciones de PM2.5 en el campus de la UNI se representa gráficamente mediante la visualización de un mapa de concentraciones de PM2.5. Para construir este mapa, se aplica la interpolación por el método de distancia inverso ponderada (IDW) utilizando el software ArcGis 10.3.

## CAPITULO IV. Resultados y discusión

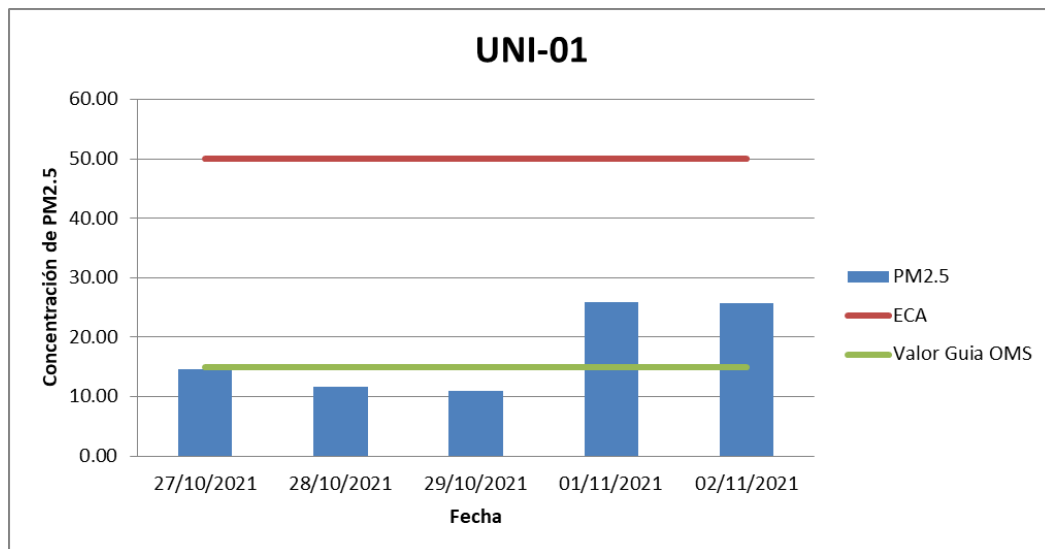
### 4.1. Medición diaria de la concentración de PM2.5

Las Figuras 5, 6,7 y 8 muestran las concentraciones de PM2.5 diarias obtenidas en los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04. Asimismo, se observa que los 20 días monitoreados presentan concentraciones de PM2.5 menores al Estándar Nacional de Calidad Ambiental ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y que 9 días monitoreados presentan concentraciones de PM2.5 mayores al Valor Guía Actualizada de la Organización Mundial de la Salud ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

El punto de monitoreo UNI-01, ubicado a 50 metros de la Avenida Túpac Amaru, cercano a la puerta N° 3 de la Universidad Nacional de Ingeniería, presenta concentraciones de PM2.5 menores al Estándar Nacional de Calidad Ambiental ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las fechas de monitoreo (27 de octubre al 02 de noviembre del 2021); sin embargo, estas concentraciones superan el Valor Guía Actualizada de la OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) los días 01 y 02 de noviembre. De la Figura 5 también se observa que, la mayor y menor concentración de PM2.5 se dieron los días 01 de noviembre y 29 de octubre respectivamente.

#### Figura 5

Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-01

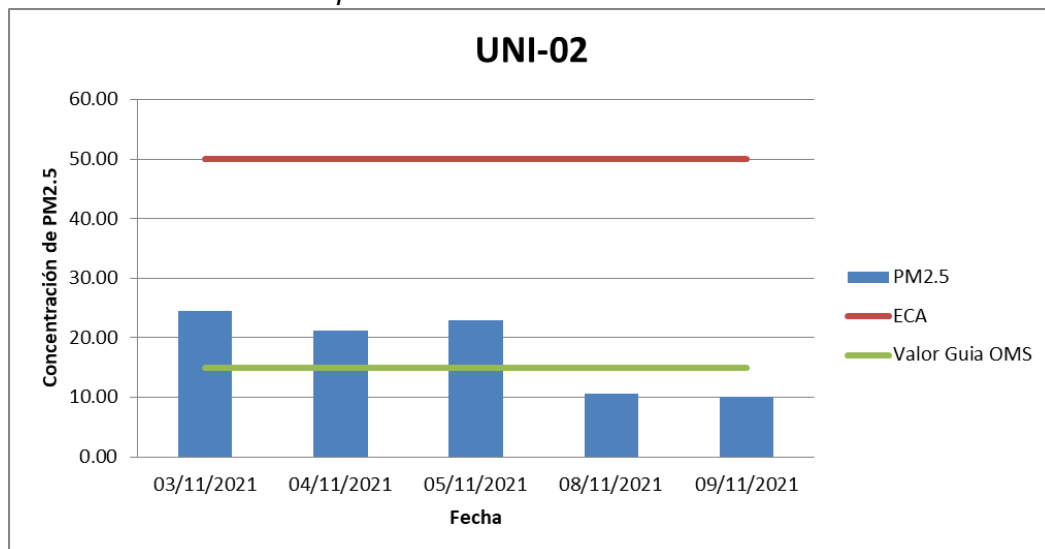


Nota: Elaboración propia

El punto de monitoreo UNI-02, ubicado a 40 metros de la Avenida Túpac Amaru, cercano a la puerta N° 4 de la Universidad Nacional de Ingeniería, presenta concentraciones de PM2.5 menores al Estándar Nacional de Calidad Ambiental (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las fechas de monitoreo (03 de noviembre al 09 de noviembre del 2021); sin embargo, estas concentraciones superan el Valor Guía Actualizada de la OMS (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) los días 03, 04 y 05 de noviembre. De la Figura 6 también se observa que, la mayor y menor concentración de PM2.5 se presentaron los días 03 y 09 de noviembre respectivamente.

**Figura 6**

*Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-02*

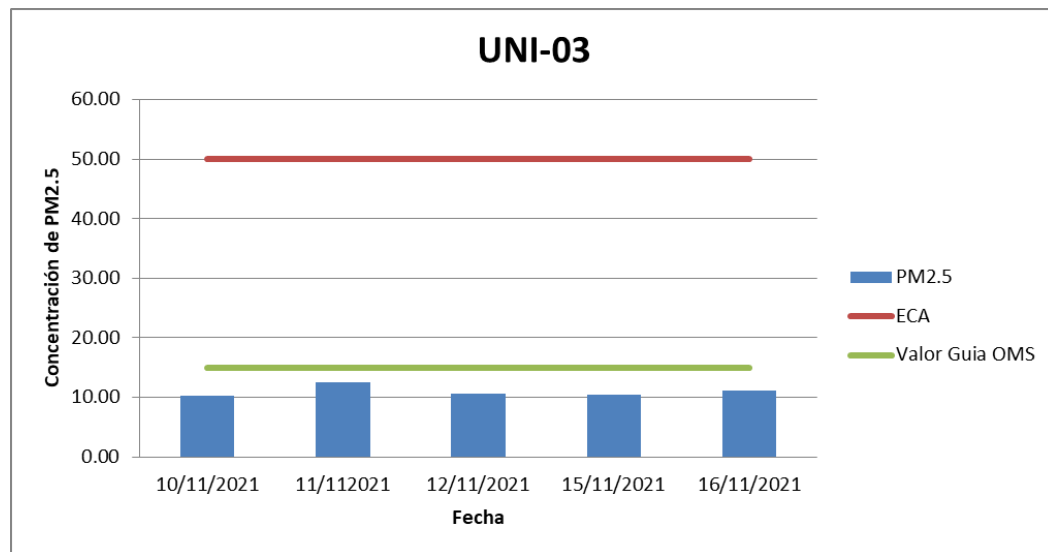


**Nota:** Elaboración propia

El punto de monitoreo UNI-03 ubicado a 55 metros de la Avenida Túpac Amaru, cercano a la puerta N° 5 de la Universidad Nacional de Ingeniería, presenta concentraciones de PM2.5 menores al Estándar Nacional de Calidad Ambiental (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Valor Guía Actualizada de la OMS (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las fechas de monitoreo (10 de noviembre al 16 de noviembre del 2021). De la Figura 7 también se observa que, la mayor y menor concentración de PM2.5 se dieron los días 11 y 10 de noviembre respectivamente.

## Figura 7

### Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-03

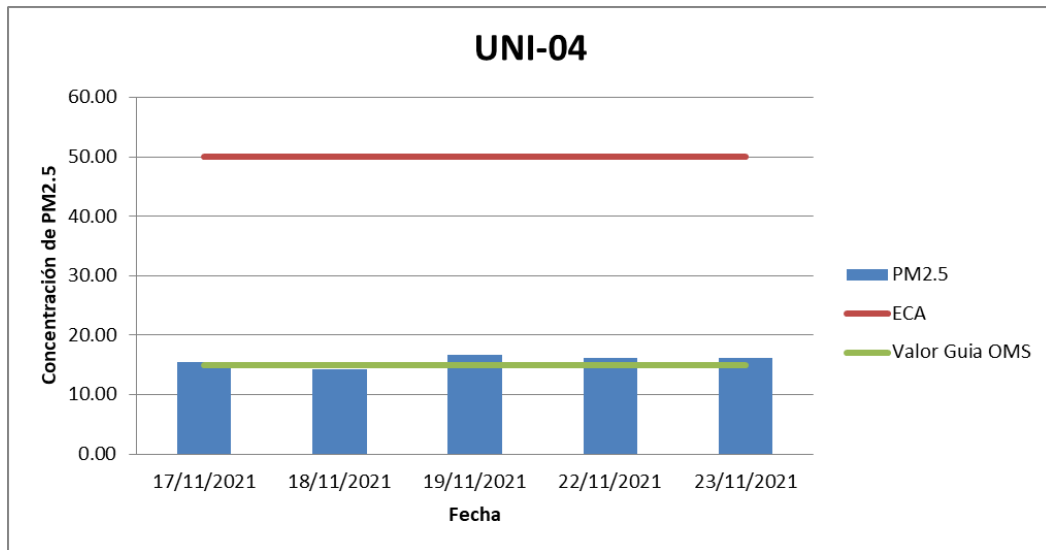


Nota: Elaboración propia

El punto de monitoreo UNI-04 ubicado a 125 metros de la Avenida Túpac Amaru, cercano a la puerta N° 7 de la Universidad Nacional de Ingeniería, presenta concentraciones de PM2.5 menores al Estándar Nacional de Calidad Ambiental ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las fechas de monitoreo (17 de noviembre al 23 de noviembre del 2021); sin embargo, estas concentraciones superan el Valor Guía Actualizada de la OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) los días 17, 19, 22 y 23 de noviembre. De la Figura 8 también se observa que, la mayor y menor concentración de PM2.5 se dieron los días 19 y 18 de noviembre respectivamente.

**Figura 8**

Concentración de PM2.5 en el punto de monitoreo UNI-04

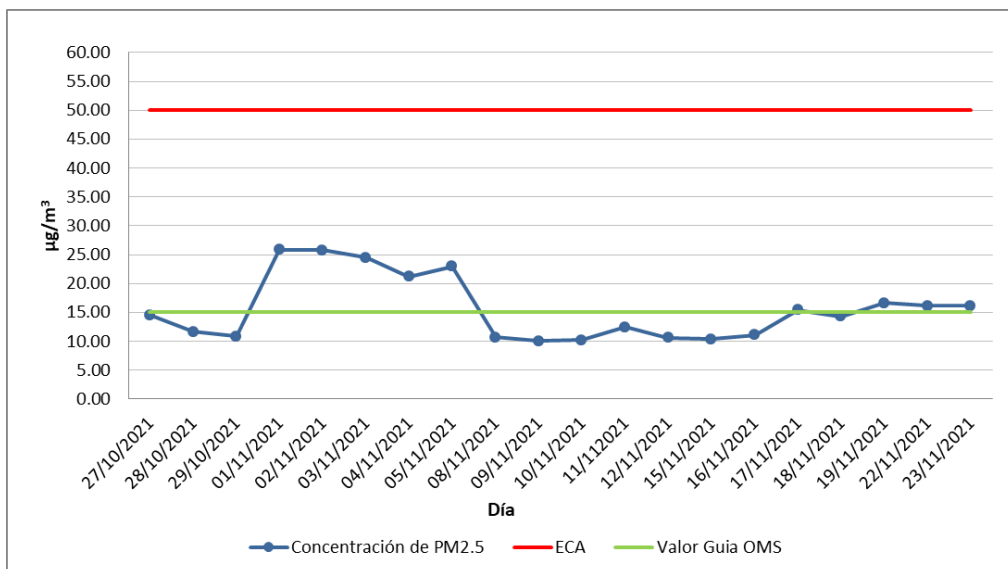


Nota: Elaboración propia

Asimismo, se graficó en la Figura 9 la variación diaria de PM2.5 durante todo el periodo de estudio, las concentraciones de PM2.5 obtenidas en los cuatro (04) puntos de monitoreo tienden a oscilar entre valores de 10.04 a 25.83 µg/m<sup>3</sup>, los cuales fueron obtenidos el 01 de noviembre y 09 de noviembre respectivamente.

**Figura 9**

Valores de concentración de PM2.5 en el campus de la UNI durante el periodo (27 de octubre – 23 de noviembre del año 2021)

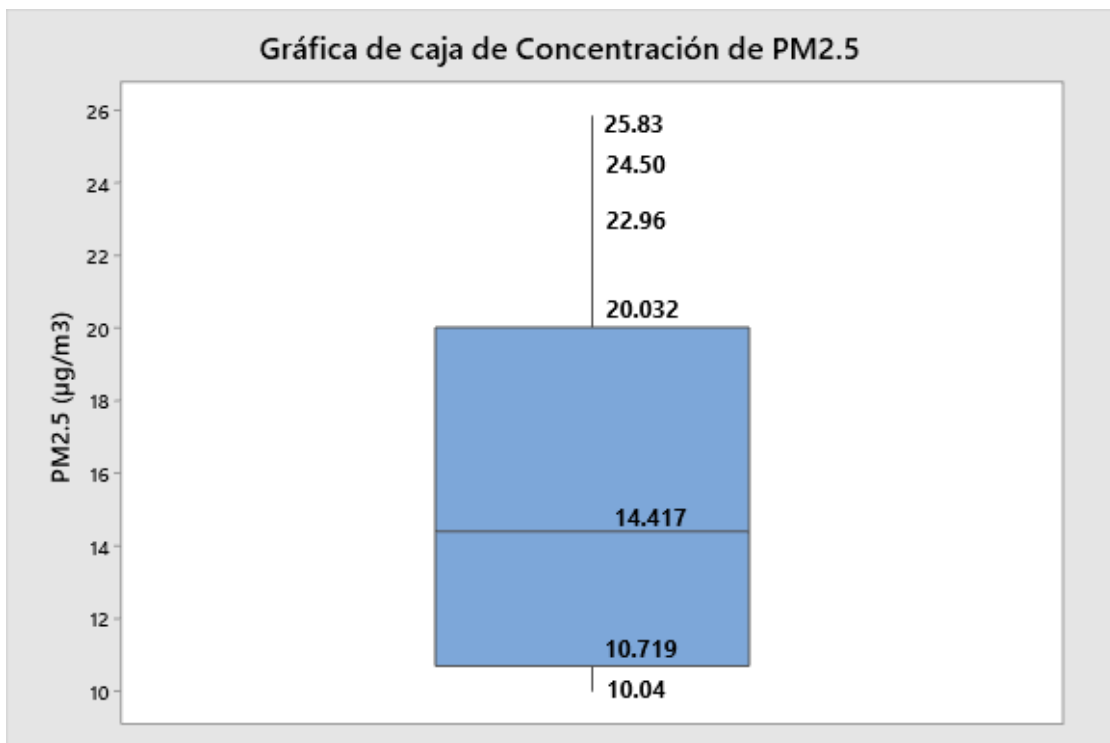


Nota: Elaboración propia

La Figura 10 muestra el diagrama de cajas o diagrama de bigotes, donde se observa que el mínimo valor de PM2.5 es  $10.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el valor máximo es  $25.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y mediana  $14.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . También se visualiza que el 50% de valores obtenidos de PM2.5 durante el monitoreo en campo, están en el rango del primer cuartil  $Q_1$  ( $10.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y tercer cuartil  $Q_2$  ( $20.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), esta zona se presenta en el gráfico con color azul. Se comprueba de la Figura 10 que, la concentración de PM2.5 es dinámica, es decir no se mantiene constante en el tiempo y espacio (no hay dos valores exactamente iguales).

### Figura 10

Gráfico de caja de valores de PM2.5 durante el periodo (27 de octubre – 23 de noviembre del año 2021)



Nota: Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

- **Discusión de resultados**

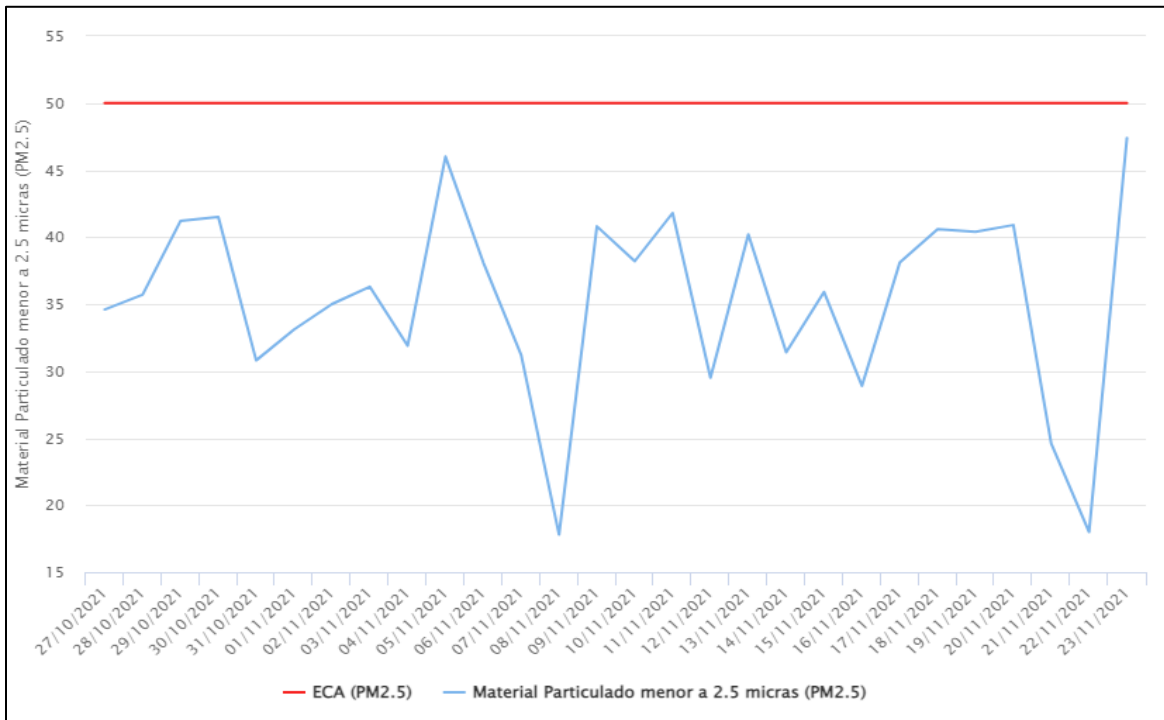
Estos resultados concuerdan con los obtenidos por SENAMHI, a través de los boletines mensuales sobre la evaluación de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima-Callao correspondientes a los meses de octubre y noviembre del año 2021 (SENAMHI, 2021; SENAMHI, 2021b) (**ver Anexo 4. Boletín Mensual SENAMHI**). Aquí se muestran que en dichos meses la zona de Lima Este presentó concentraciones de PM<sub>2.5</sub> que están por debajo del ECA, los cuales van de 18.04 a 47.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En este rango de valores también se encontraron los valores de PM<sub>2.5</sub> del campus de la UNI, lo cual hace indicar que puede existir una probabilidad de que ambos grupos (Estación SJL y Campus UNI), tengan una cierta relación en el PM<sub>2.5</sub>.

Se debe aclarar que para la presente investigación se consideró la estación San Juan de Lurigancho debido a que es la más cercana al campus de la UNI y porque es la única disponible en los boletines mensuales del SENAMHI, además que cuenta con valores registrados en el mismo periodo de estudio. Es preciso señalar que el SENAMHI utiliza equipos automáticos (Atenuación de Rayos Beta Monitor 5014i) para el registro de la concentración de PM<sub>2.5</sub>, lo cual podría ser una explicación de las concentraciones distintas registradas por un equipo de monitoreo de aire a bajo volumen. A continuación, se presenta la variación diaria y horaria de la concentración de PM<sub>2.5</sub> en la estación San Juan de Lurigancho durante el periodo de estudio.

En la Figura 11 se observa que los valores diarios de PM<sub>2.5</sub> registrados en la estación San Juan de Lurigancho durante el mismo periodo de estudio (27 de octubre a 23 de noviembre del 2021) están por debajo del ECA; asimismo, se tiene que la máxima y mínima concentración diaria de PM<sub>2.5</sub> registrada fue de 47.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 17.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Esto evidencia que en esta estación ubicada aproximadamente a 6.5 kilómetros del área de estudio se presentan valores poco similares a los registrados en la presente investigación.

**Figura 11**

*Variación diaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Juan de Lurigancho*



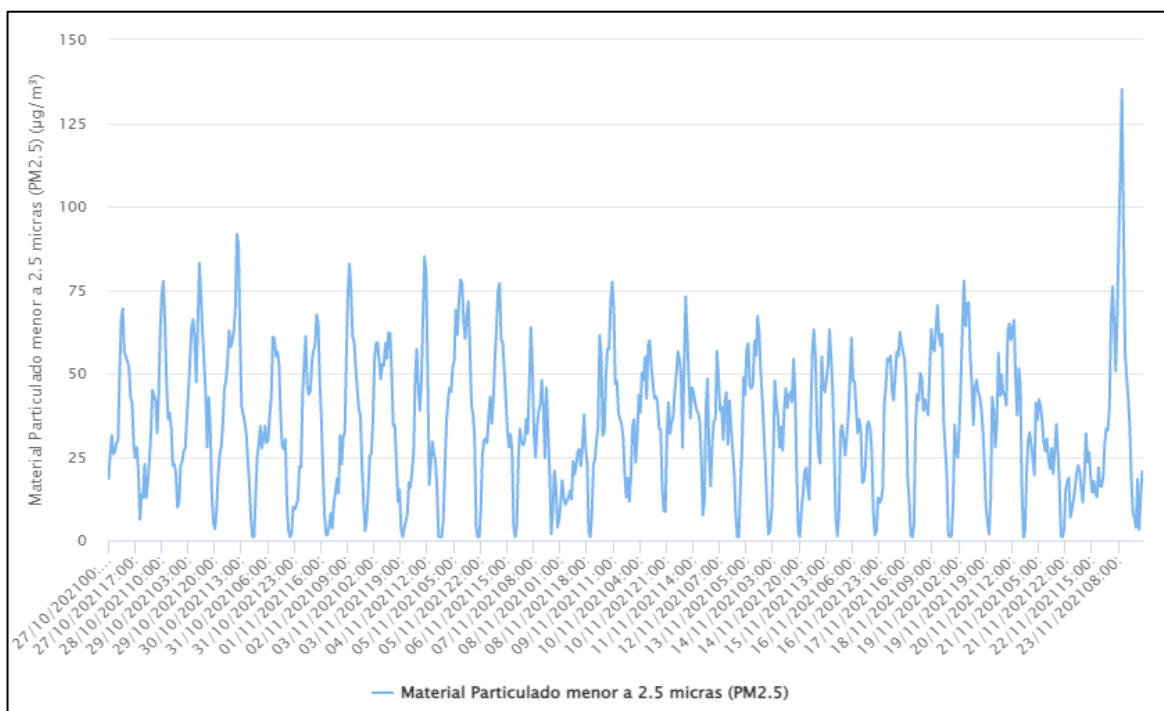
**Nota:** SENAMHI, 2021 ([https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad\\_del\\_aire-estadistica&e=112267](https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad_del_aire-estadistica&e=112267)).

De la Figura 12 se observa que, a nivel horario, se presentan valores atípicos, es decir valores que superan el nivel Estándar ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y valores muy pequeños (menores a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que se presentan en determinadas horas del día. Entonces se puede concluir que la concentración de PM2.5 a nivel horario es muy variable en la estación San Juan de Lurigancho presentando valores horarios que van desde 2 hasta  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero que en promedio diario la concentración de PM2.5 cumple con el ECA.



**Figura 12**

*Variación horaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Juan de Lurigancho*



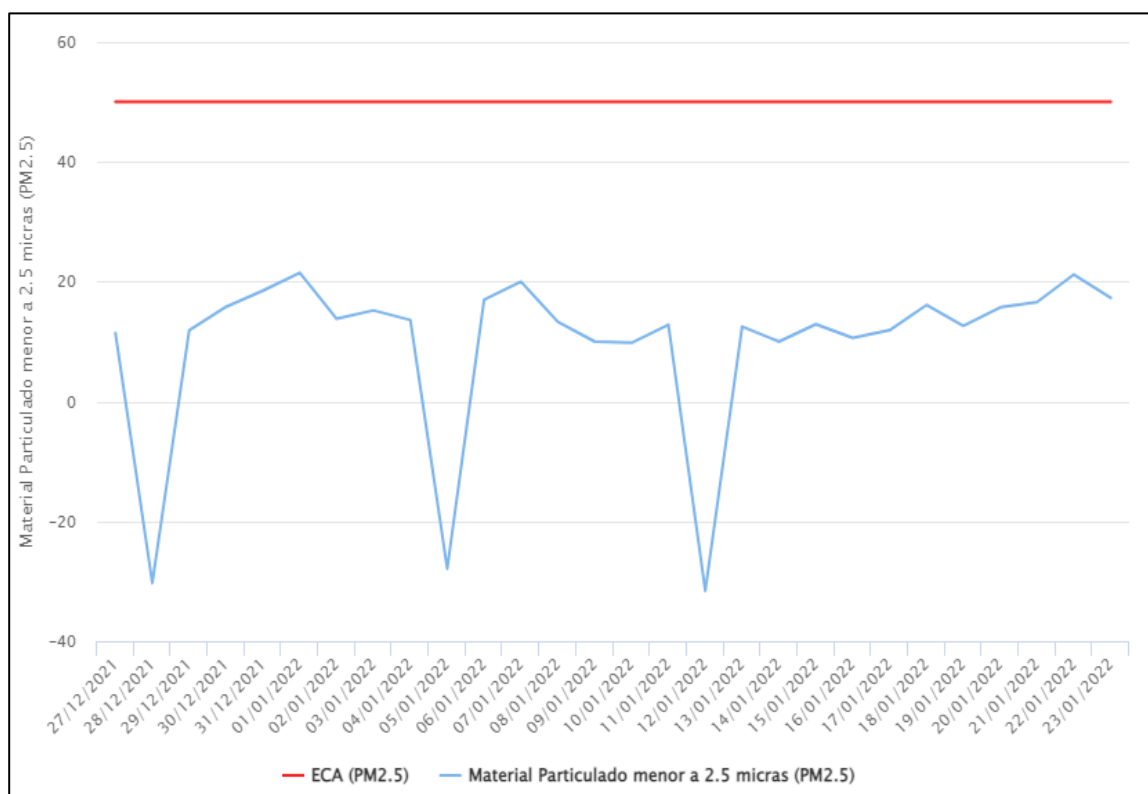
**Nota:** SENAMHI, 2021 ([https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad\\_del\\_aire-estadistica&e=112267](https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad_del_aire-estadistica&e=112267)).

Adicionalmente se presenta la variación diaria y horaria de la concentración de PM2.5 en la estación San Martín de Porres ya que se ubica a una menor distancia del área de estudio; sin embargo, el periodo presentado es distinto (27 de diciembre del 2021 al 23 de enero del 2022).

En la Figura 13 se observa que, todos los valores registrados diarios de PM2.5 en la estación San Martín de Porres durante el periodo (27 de diciembre a 23 de enero del 2022) están por debajo del ECA; asimismo, se tiene que la máxima y mínima concentración diaria de PM2.5 registrada fue de 21.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 9.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Esto evidencia que en dicha estación ubicada aproximadamente a 4 kilómetros del área de estudio se presentan valores similares a los registrados en la presente investigación (valor mínimo de 10.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y valor máximo de 25.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Figura 13**

Variación diaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Martín de Porres (27 de diciembre del 2021 al 23 de enero del 2022)

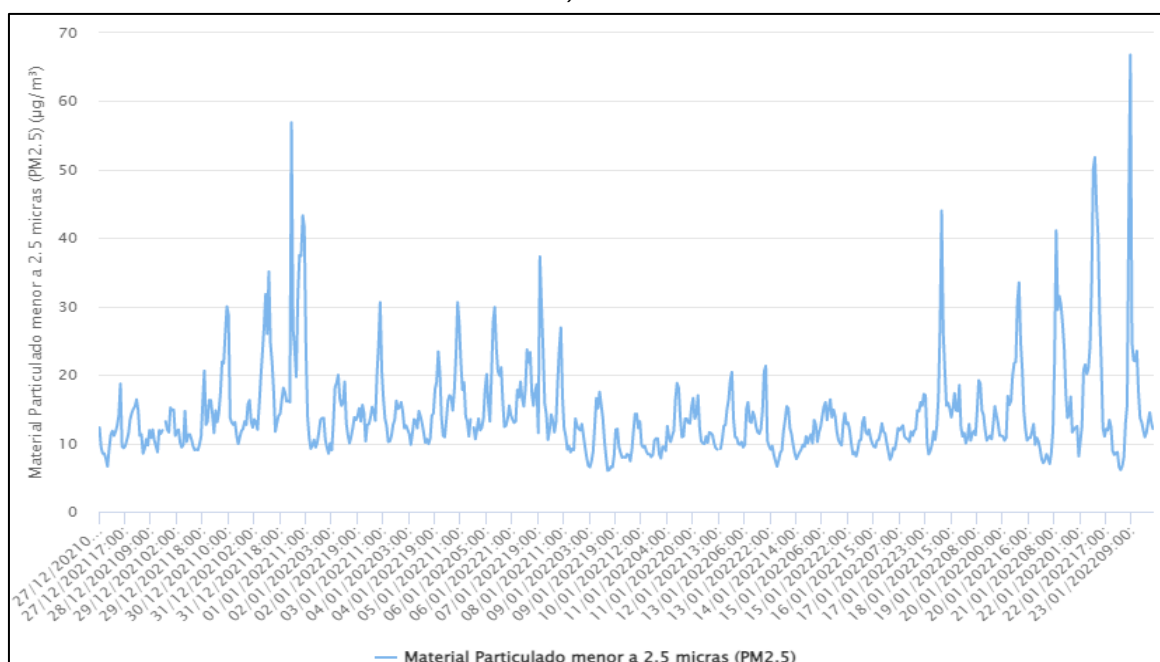


**Nota:** SENAMHI, 2021 ([https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad\\_del\\_aire-estadistica&e=112265](https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad_del_aire-estadistica&e=112265)).

De la Figura 14 se observa que, a nivel horario, se presentan valores atípicos, es decir valores que superan el nivel Estándar ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y valores pequeños (menores a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que se presentan en determinadas horas del día; sin embargo, en su mayoría los valores de PM2.5 se sitúan en el rango de 10 a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Entonces se puede concluir que la concentración de PM2.5 a nivel horario es menos variable que en la estación San Juan de Lurigancho presentando valores horarios que van desde 6 hasta  $66.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Figura 14**

*Variación horaria de concentración de PM2.5 en la Estación San Martín de Porres (27 de diciembre del 2021 al 23 de enero del 2022)*



**Nota:** SENAMHI, 2021 ([https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad\\_del\\_aire-estadistica&e=112265](https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad_del_aire-estadistica&e=112265)).

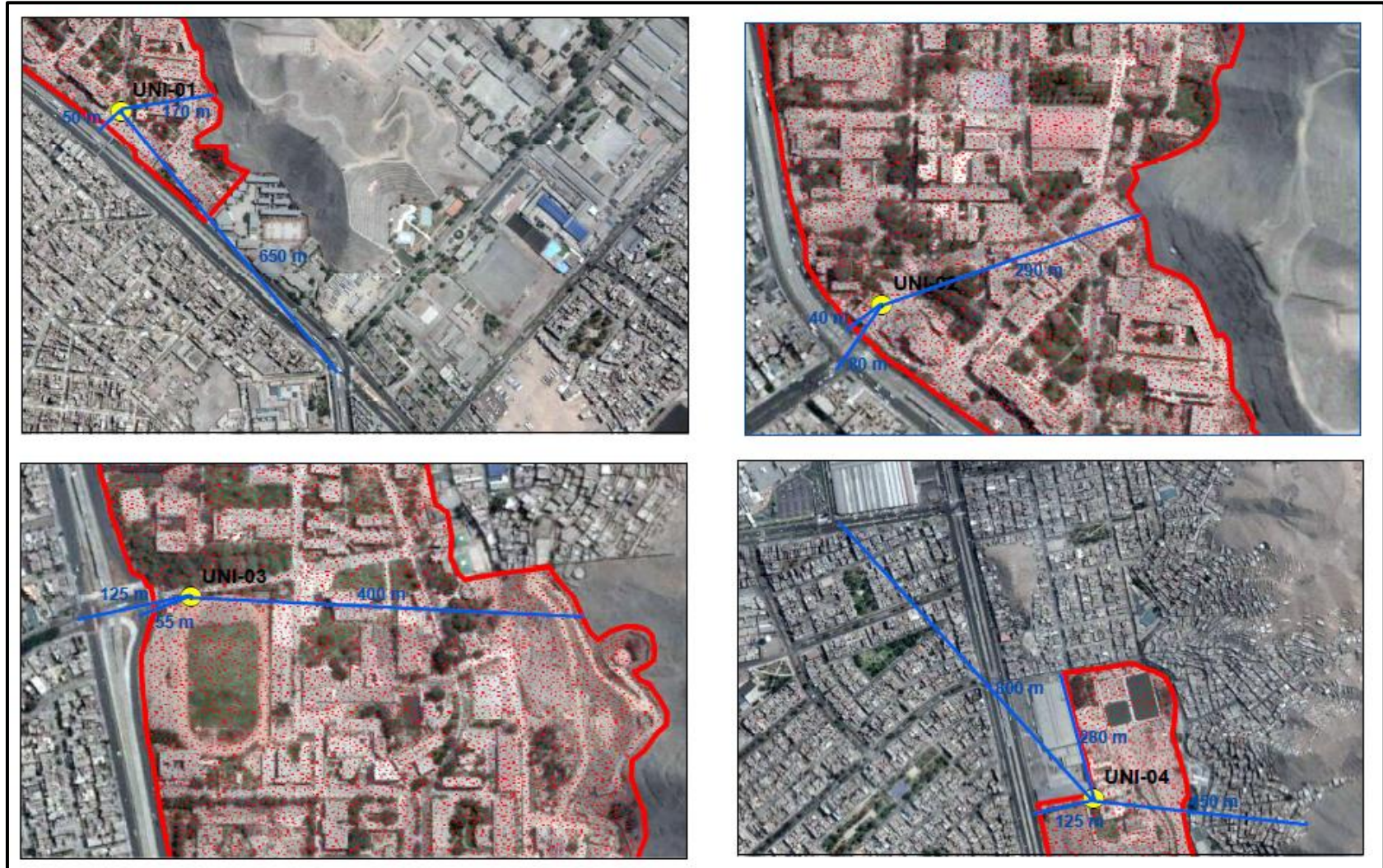
Estos resultados sirven como referencia para concluir que en la estación San Martín de Porres se presentan concentraciones diarias y horarias menores a la estación San Juan de Lurigancho y que estos valores son semejantes a los registrados en la investigación.

La Figura 15 muestra que el punto UNI-01 se ubica a 50m y 650m de la Av. Túpac Amaru y Av. Caquetá respectivamente, asimismo se ubica a 170m del Cerro UNI. El punto UNI-02 se ubica a 40m y 80m de la Av. Túpac Amaru y Av. Eduardo de Habich respectivamente, de igual forma se encuentra a 290m del Cerro UNI. El punto UNI-03 se ubica a 55m y 125m de la Av. Túpac Amaru y Av. Honorio Delgado respectivamente, asimismo se ubica a 400m del Cerro UNI. Finalmente, el punto UNI-04 se ubica a 125m, 280m y 800m de las Av. Túpac Amaru, Av. 18 de enero y Av. Tomas Valle, de igual forma se ubica a 450m del Cerro UNI. Las principales Notas de emisión de PM2.5 podrían ser la Av. Túpac Amaru y Av. Eduardo de Habich, debido a que se encuentran a una corta distancia (menor a 100m) del campus de la UNI y porque cerca a estas avenidas se presentaron mayores concentraciones de PM2.5 (UNI-01 y UNI-02).



**Figura 15**

*Distancias de los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04 a las principales avenidas*



**Nota:** Elaboración propia / Software ArcGIS 10.3

La Tabla 14 muestra los porcentajes diarios con que excedieron el valor del Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) y el valor guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para PM2.5. Se observa que ningún valor de PM2.5 excedió el ECA, sin embargo, existió un exceso máximo y mínimo al valor guía de la OMS de 72.22% y 2.78%, los cuales se registraron los días 01 de noviembre y 17 de noviembre del 2021, respectivamente.

**Tabla 14**

*Porcentaje que excede el valor de PM2.5 al valor ECA y valor OMS durante el día monitoreado*

Fecha	Punto de Monitoreo	Concentración de PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> )	Valor ECA (µg/m <sup>3</sup> )	Valor OMS (µg/m <sup>3</sup> )	%EXCEDIDO ECA	%EXCEDIDO OMS
27/10/2021	UNI-01	14.54	50	15	0.00	0.00
28/10/2021	UNI-01	11.67	50	15	0.00	0.00
29/10/2021	UNI-01	10.88	50	15	0.00	0.00
01/11/2021	UNI-01	25.83	50	15	0.00	72.22
02/11/2021	UNI-01	25.75	50	15	0.00	71.67
03/11/2021	UNI-02	24.50	50	15	0.00	63.33
04/11/2021	UNI-02	21.17	50	15	0.00	41.11
05/11/2021	UNI-02	22.96	50	15	0.00	53.05
08/11/2021	UNI-02	10.67	50	15	0.00	0.00
09/11/2021	UNI-02	10.04	50	15	0.00	0.00
10/11/2021	UNI-03	10.25	50	15	0.00	0.00
11/11/2021	UNI-03	12.46	50	15	0.00	0.00
12/11/2021	UNI-03	10.58	50	15	0.00	0.00
15/11/2021	UNI-03	10.38	50	15	0.00	0.00
16/11/2021	UNI-03	11.13	50	15	0.00	0.00
17/11/2021	UNI-04	15.42	50	15	0.00	2.78
18/11/2021	UNI-04	14.29	50	15	0.00	0.00
19/11/2021	UNI-04	16.63	50	15	0.00	10.83
22/11/2021	UNI-04	16.17	50	15	0.00	7.78
23/11/2021	UNI-04	16.13	50	15	0.00	7.50

**Nota:** Elaboración propia

El punto UNI-03 no excedió el valor ECA y el valor guía de la OMS, en ninguno de los días monitoreados. Por el contrario, en los puntos UNI-01 y UNI-02 fueron aquellos donde el valor guía de la OMS se excedieron en mayor porcentaje, mientras que en el punto UNI-04 se excedió en menor porcentaje.

SENAMHI, a través de sus boletines mencionados reportó que los porcentajes máximos con que se excedió el ECA y el Valor Guía de la OMS en la estación San Juan de Lurigancho son 0 y 210.07%, los cuales son mayores al porcentaje máximo que se obtuvo en la presente investigación 0 y 72.22%.

#### 4.2. Índice de Calidad del Aire (ICA)

La Tabla 15 muestra los valores del ICA para PM2.5 para cada uno de los días monitoreados. En ella se puede observar que la calidad de aire respecto al PM2.5, presentó una clasificación de “buena” (8 de cada 20 días) en el 40 % y “moderada” (12 de 20 días) en 60% de los días monitoreados, respectivamente.

**Tabla 15**

*Valores diarios del Índice de Calidad del Aire para PM2.5 durante el periodo de monitoreo*

Fecha	Concentración de PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ICA(PM2.5)	Calificación
27/10/2021	14.54	56.13	Moderada
28/10/2021	11.67	45.83	Buena
29/10/2021	10.88	45.33	Buena
01/11/2021	25.83	79.87	Moderada
02/11/2021	25.75	79.71	Moderada
03/11/2021	24.50	77.08	Moderada
04/11/2021	21.17	70.07	Moderada
05/11/2021	22.96	73.84	Moderada
08/11/2021	10.67	44.46	Buena
09/11/2021	10.04	41.83	Buena
10/11/2021	10.25	42.71	Buena
11/11/2021	12.46	51.76	Moderada
12/11/2021	10.58	44.08	Buena
15/11/2021	10.38	43.25	Buena
16/11/2021	11.13	46.38	Buena
17/11/2021	15.42	57.98	Moderada
18/11/2021	14.29	55.61	Moderada
19/11/2021	16.63	60.53	Moderada
22/11/2021	16.17	59.56	Moderada
23/11/2021	16.13	59.48	Moderada

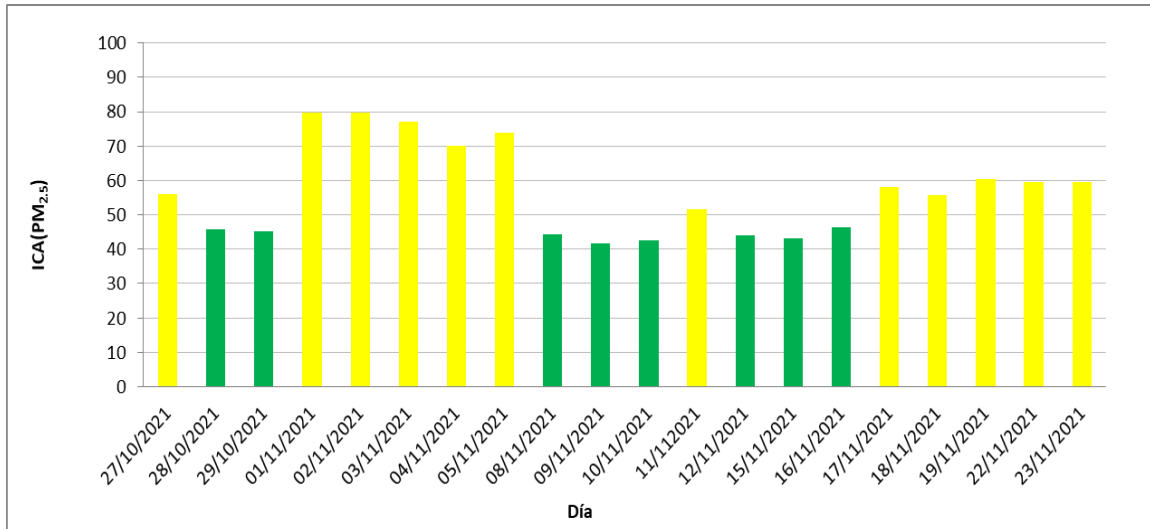
**Nota:** Elaboración propia

Asimismo, en la Figura 16 se observa que los valores del índice tienden a oscilar entre valores que van de 41.83 a 79.87, los cuales fueron obtenidos el 01 y 09 de

noviembre del 2021, respectivamente. Se observa también que la calidad del aire fue “moderada” en la mayoría de los puntos de monitoreo, esto se puede deber al nivel de tránsito vehicular en la Av. Túpac Amaru y Av. Eduardo de Habich y factores como viento y barreras físicas (Cerro UNI).

**Figura 16**

*Variación del Índice de Calidad del Aire para PM2.5 durante el periodo de monitoreo*



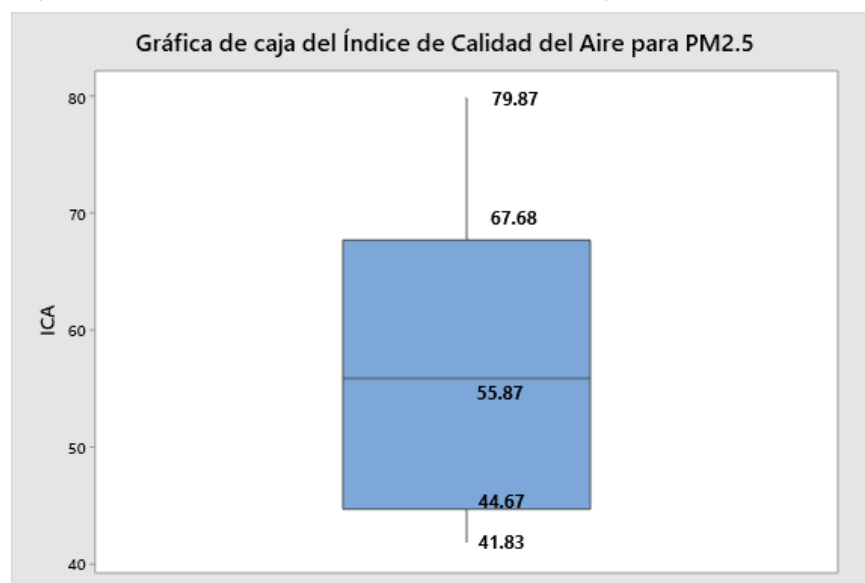
**Nota:** Elaboración propia

No hubo días con mala calidad del aire, por lo tanto la calidad de aire en el campus de la UNI es aceptable y la salud de la comunidad universitaria no está siendo afectada durante el periodo de estudio.

La Figura 17 muestra el diagrama de cajas o diagrama de bigotes, donde se observa que el mínimo valor de ICA es 41.83, el valor máximo es 79.87 y mediana 55.87. También se visualiza que el 50% de valores ICA obtenidos, están en el rango del primer cuartil  $Q_1$  (44.67) y tercer cuartil  $Q_2$  (67.68), esta zona se presenta en el gráfico con color azul. Se comprueba que está zona tiene una calificación de aire “moderada”.

**Figura 17**

*Gráfico de caja de valores del Índice de Calidad del Aire para PM2.5*



**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

- **Discusión de resultados**

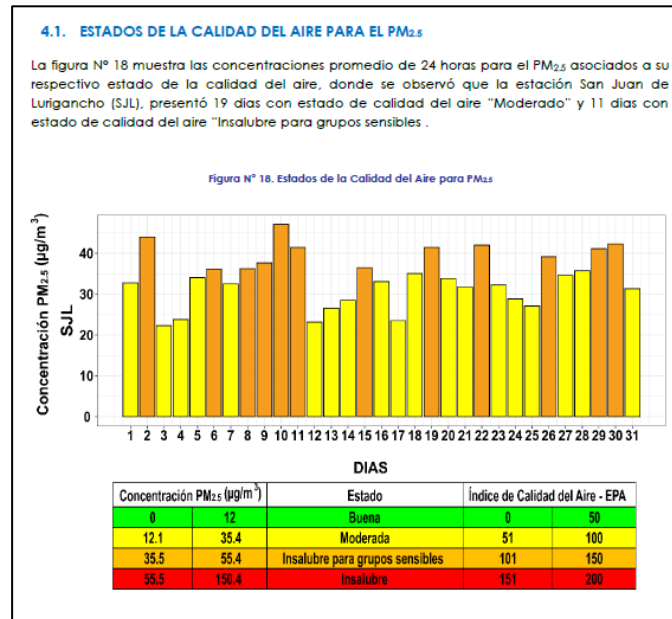
En la presente investigación se tiene como valor máximo de ICA de 79.87 (lo cual refiere una concentración de PM2.5 de 25.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) teniendo una calificación de calidad de aire “moderada”. Este valor es mucho menor al valor ICA de 317 (calidad “mala”) que se obtuvo como máximo valor durante el estudio de PM2.5 el campus la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) en el año 2017. Esto nos hace ver que puede que haya una mejora en la calidad de aire durante el periodo de estudio evaluado y uno de los factores probables puede ser la circulación limitada de los vehículos de cuatro ruedas y la reducción de adquisición de vehículos en Perú señaladas por la Asociación Automotriz del Perú (AAP).

Los valores ICA obtenidos guardan relación o concordancia con los resultados obtenidos en los boletines mensuales del SENAMHI durante los meses octubre (**Ver Figura 18**) y noviembre del año 2021 (**Ver Figura 19**). En ambos meses se puede apreciar que, la mayoría de valores ICA en la Estación SJL, tienen una calificación de calidad de aire “moderada”. Sin embargo, también, se puede apreciar que existen valores ICA que toman la calificación de “insalubre para grupos sensibles”.



## Figura 18

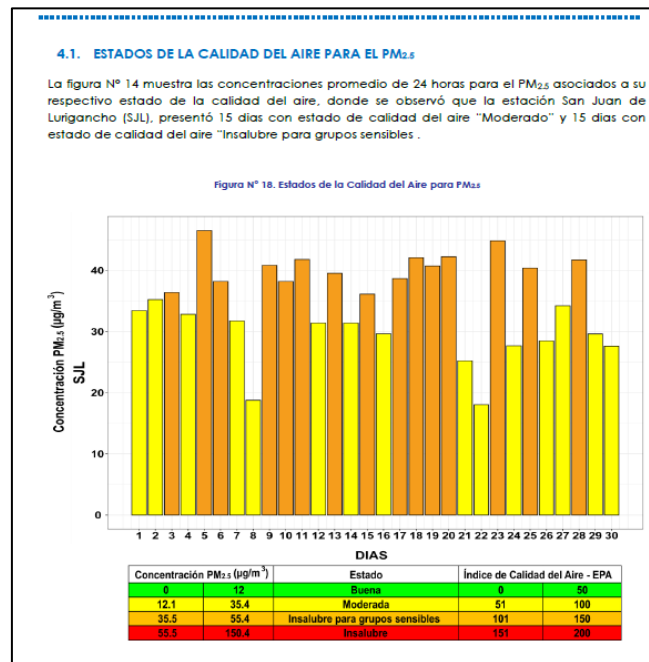
Estados de Calidad del Aire para PM<sub>2.5</sub> según el Boletín Mensual SENAMHI- octubre 2021



Nota: SENAMHI, octubre 2021, Boletín Mensual

## Figura 19

Estados de Calidad del Aire para PM<sub>2.5</sub> según el Boletín Mensual SENAMHI- noviembre 2021



Nota: SENAMHI, noviembre 2021, Boletín Mensual

#### 4.3. Comportamiento del PM2.5 relacionado con el día de la semana

La Tabla 16 muestra la forma en la que se agrupan las concentraciones de PM2.5 por día, con el objetivo de analizar el comportamiento de estas con los días de la semana (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes). En total se obtuvieron 4 valores de concentración de PM2.5 por cada día. La tabla nos muestra que, el mínimo valor se presentó el día martes con una concentración de 10.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que el máximo valor se obtuvo el día lunes con una concentración de 25.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . También se evidencia que, los valores del día jueves presentan menor desviación de la media, mientras que los valores del día jueves los valores obtenidos tienen mayor desviación de la media (**ver Anexo 5. Pruebas estadísticas**).

**Tabla 16**

*Concentración de PM2.5 según el día de la semana*

Variable	Lunes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Martes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Miércoles ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Jueves ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Viernes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	25.83	25.750	14.54	11.67	10.88
	10.67	10.042	24.50	21.17	22.96
<b>PM2.5</b>	10.38	11.125	10.25	12.46	10.58
	16.17	16.125	15.42	14.29	16.63
<b>Media</b>	15.76	15.76	16.18	14.90	15.26
<b>Mínimo</b>	10.38	10.04	10.25	11.67	10.58
<b>Máximo</b>	25.83	25.75	24.50	21.17	22.96
<b>Desviación estándar (S)</b>	7.22	7.16	5.99	4.32	5.83

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

La Tabla 17 muestra los resultados de la aplicación de las pruebas de Kolmogorov- Smirnov y Shapiro - Wilk. Dado que se obtuvieron 4 grados de libertad (gl) por cada día, se utiliza la Prueba de Shapiro – Wilk (para  $n < 30$ ). Los resultados muestran que los valores Sig. 0.227, 0.328, 0.524, 0.175 y 0.322, son mayores al nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). Entonces de esta prueba se concluye que, los valores obtenidos de PM2.5 durante los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes tienen una distribución normal.

**Tabla 17***Prueba de Distribución Normal de valores de PM2.5 según el día de la semana*

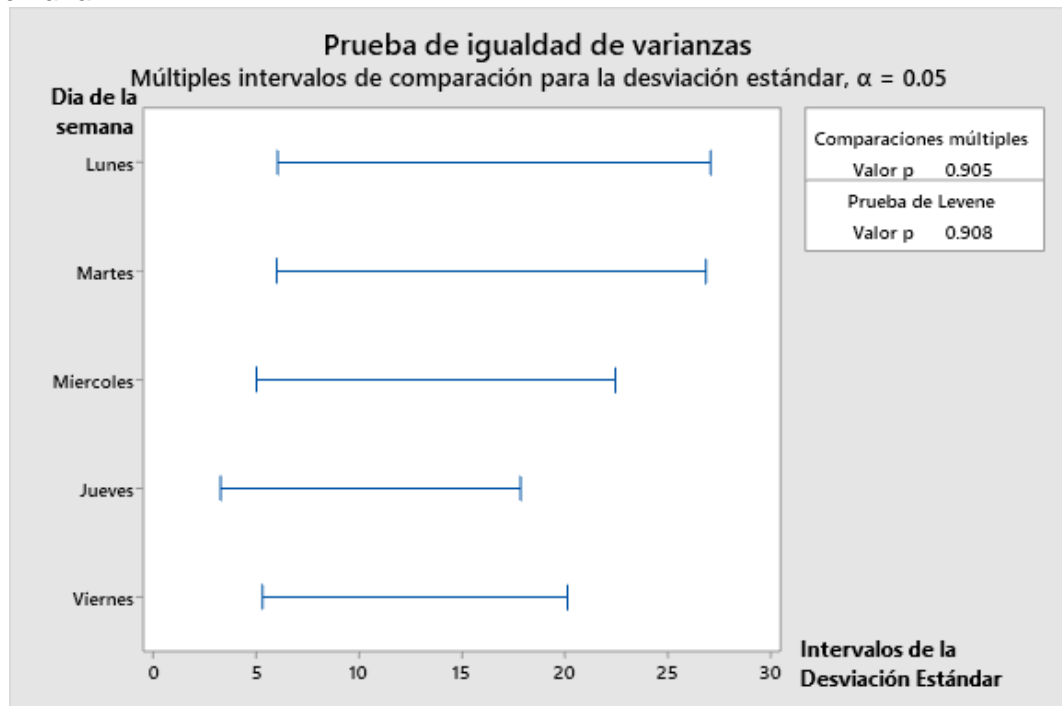
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de PM2.5 día lunes	.260	4	.	.850	4	.227
Concentración de PM2.5 día martes	.241	4	.	.878	4	.328
Concentración de PM2.5 día miércoles	.300	4	.	.918	4	.524
Concentración de PM2.5 día jueves	.306	4	.	.833	4	.175
Concentración de PM2.5 día viernes	.274	4	.	.876	4	.322

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

La Figura 20 muestra el resultado de la prueba de homogeneidad o igualdad de varianzas sobre los 5 grupos descritos anteriormente. La figura también nos muestra 5 líneas de tendencias (según día de la semana), donde es muy probable que se encuentre el valor de PM2.5. También indica que existe homogeneidad de varianzas (varianzas no distintas) entre los 5 grupos de concentración de PM2.5 con valores p iguales a (0.905 y 0.908) y mayores al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ). Se afirma entonces que las muestras de PM2.5 obtenidos los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes no son distintas y se comportan de la misma manera en cuanto a variabilidad o dispersión (**ver Anexo 5. Pruebas estadísticas**).

**Figura 20**

*Prueba de Homogeneidad de varianzas de valores de PM2.5 obtenidos durante los días de la semana*



Luego de ello se aplicó la prueba ANOVA de un solo factor, considerando estos 2 supuestos (distribución normal e igualdad de varianzas). La Tabla 18 muestra el resultado de la prueba ANOVA de un solo factor a los 5 grupos de PM2.5 con 19 grados de libertad (GL). Esta indica que estadísticamente los valores medios de PM2.5 en los 5 grupos no son distintos ya que el valor p es igual a (0.999) y mayor al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ) con un nivel de confianza del 95%. Por lo tanto, es muy probable que la concentración de PM2.5 sea parecida o similar durante los días de la semana (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes).

En la tabla se muestra los componentes del análisis estadístico, tales como las sumas ajustadas de los cuadrados, la media de los cuadrados ajustados, el valor F y el estadístico p-valor (**ver Anexo 5. Pruebas estadísticas**).

**Tabla 18**

*Prueba ANOVA de un solo factor aplicado a los valores de PM2.5 obtenidos cada día de la semana*

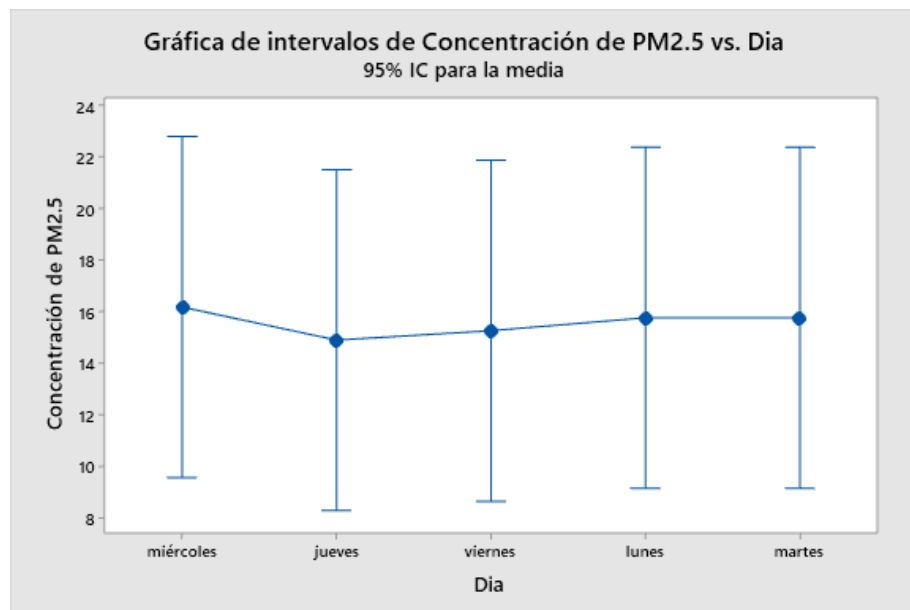
Nota	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Día	4	3.966	0.9916	0.03	0.999
Error	15	576.618	38.4412	-	-
Total	19	580.584	-	-	-

Nota: Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

En la Figura 21 se muestran que, los valores medios de concentración de PM2.5 durante los días de la semana no varían significativamente y que estos valores de PM2.5 están en el rango de 14 a 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . También de la Figura 21 se afirma que, en promedio se presentaron menor y mayor concentración de PM2.5 los días jueves y miércoles, respectivamente.

**Figura 21**

*Intervalos de concentraciones de PM2.5 durante los días de la semana*



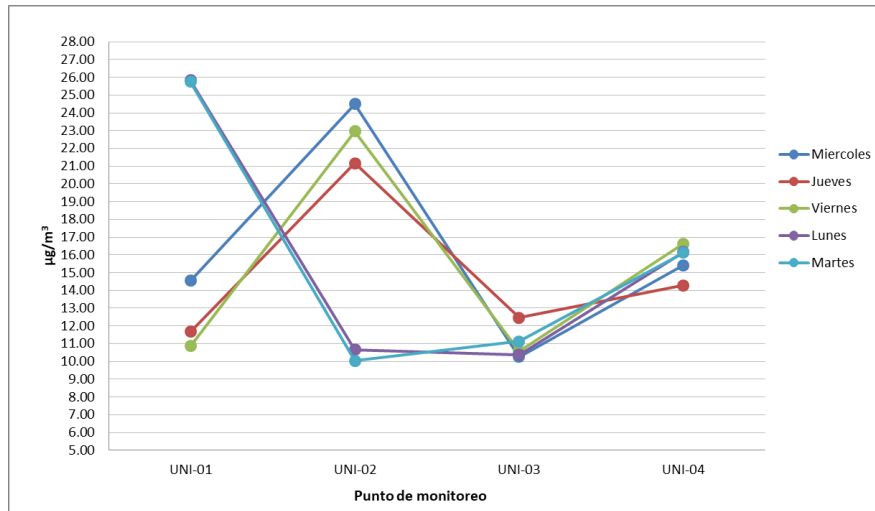
Nota: Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

En la Figura 22 se observa que existe un patrón similar en la tendencia de los valores de PM2.5 durante los días miércoles, jueves y viernes. Ello quiere decir que durante estos días los valores de PM2.5 se ajustan más y tienen una mayor relación que los otros días. Además estos resultados guardan relación con los resultados obtenidos en

la prueba ANOVA ya que nos muestra que la mayoría de valores de concentración de PM2.5 no difieren significativamente durante los días de la semana.

**Figura 22**

*Tendencia de valores de PM2.5 durante el día de la semana*



Nota: Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

- **Discusión de resultados**

Una diferencia que existe con respecto a los resultados obtenidos en los boletines del SENAMHI, es que las concentraciones promedio de PM2.5 en los días de la semana de la Estación SJL están por encima de los 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo, en el presente estudio la concentración promedio de PM2.5 en los días de la semana no superaron los 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

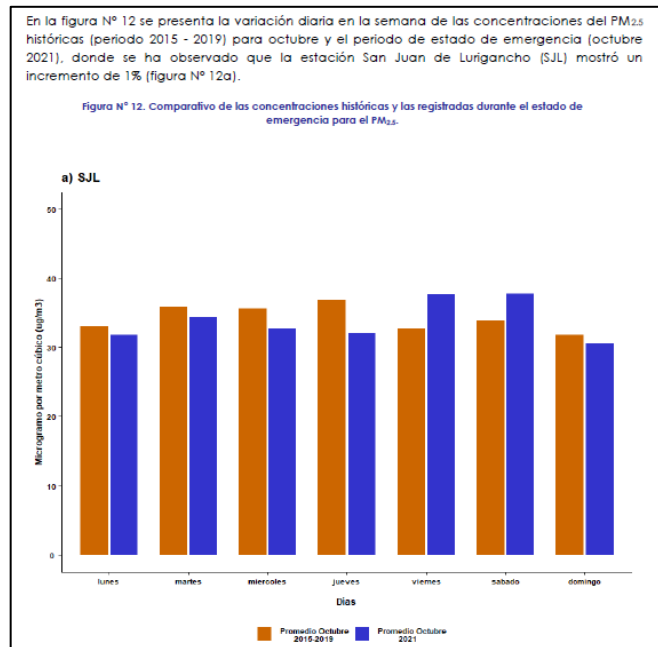
La Figura 23 muestra que no existe una variación significativa en las concentraciones promedio de PM2.5 durante los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes en la estación SJL durante el mes de octubre, ya que las concentraciones están en el rango de 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto coincide con los resultados obtenidos ya que en la UNI tampoco se observan diferencias significativas entre las medias durante el día de monitoreo. Y en ambos casos todos los valores también están por debajo del ECA.

La Figura 24 evidencia que el día lunes y jueves presentó una menor y mayor concentración promedio de PM2.5 en la estación SJL durante el mes de noviembre. Esto difiere al resultado obtenido en la UNI, donde se encontró que los días con menor y

mayor concentración promedio de PM<sub>2.5</sub> fueron los días jueves y miércoles, respectivamente.

### Figura 23

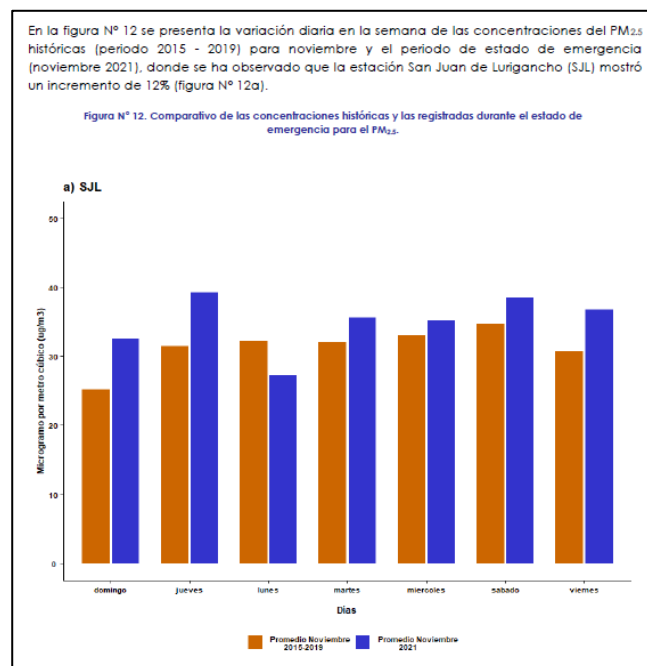
*Comportamiento de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> durante los días de la semana en la estación SJL - octubre 2021*



**Nota:** SENAMHI, octubre 2021, Boletín Mensual

### Figura 24

*Comportamiento de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> durante los días de la semana en la estación SJL - noviembre 2021*



**Nota:** SENAMHI, noviembre 2021, Boletín Mensual

#### **4.4. Relación entre los valores de PM2.5 y las variables meteorológicas**

La Tabla 19 muestra los valores resultantes que se obtuvieron luego de realizar la búsqueda de información y cálculos respectivos. La tabla nos muestra que la humedad relativa, tuvo una tendencia de disminución los días 27, 03, 11, 15 y 23, mientras que los días 28, 05, 12, 16 y 22 mostraron una tendencia de incremento. La humedad presentó mínimo valor de 79.56% y máximo valor de 87.27%. La temperatura mostró un comportamiento opuesto a la humedad relativa, presentando tendencias de incremento los días de menor humedad y tendencias de disminución los días de mayor humedad. La temperatura presentó mínimo valor de 17.61°C y máximo valor de 19.54°C. La radiación solar presentó disminuciones los días 27, 04, 09,15 y 23 mientras que los días 28, 05, 10,16 y 22 mostraron un incremento. La radiación solar presentó mínimo valor de 343.96 W/m<sup>2</sup> y máximo valor de 402.62 W/m<sup>2</sup>.

También se evidencia que, los valores de velocidad de viento presentan menor desviación de la media, mientras que los valores de la radiación solar obtenidos tienen mayor desviación de la media **(ver Anexo 5. Pruebas estadísticas)**.



**Tabla 19***Valores de las variables meteorológicas (T°, HR, V, Dirección de Viento y Rs) y PM2.5*

Fecha	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de viento (m/s)	Dirección del viento (°C)	Radiación Solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
27/10/2021	14.54	18.68	79.56	2.88	157.5	343.96
28/10/2021	11.67	17.91	82.96	3.02	292.5	389.98
29/10/2021	10.88	17.96	83.99	3.27	225	393.02
01/11/2021	25.83	17.61	84.83	2.83	202.5	376.52
02/11/2021	25.75	18.55	83.08	2.77	157.5	394.34
03/11/2021	24.50	18.44	82.06	2.48	247.5	386.25
04/11/2021	21.17	19.18	80.70	3.20	180	359.32
05/11/2021	22.96	18.92	83.06	2.97	225	362.69
08/11/2021	10.67	18.24	84.98	2.27	225	395.13
09/11/2021	10.04	18.79	83.09	3.11	202.5	374.28
10/11/2021	10.25	18.05	85.30	2.55	157.5	365.45
11/11/2021	12.46	18.82	82.85	2.95	157.5	371.38
12/11/2021	10.58	18.08	85.28	3.02	157.5	382.96
15/11/2021	10.38	18.20	84.15	2.63	180	357.60
16/11/2021	11.13	17.92	85.52	2.16	157.5	380.41
17/11/2021	15.42	18.07	85.78	2.76	157.5	373.02
18/11/2021	14.29	17.84	85.86	2.86	225	378.38
19/11/2021	16.63	18.52	84.77	2.46	157.5	396.23
22/11/2021	16.17	18.16	87.27	2.01	180	402.62
23/11/2021	16.13	19.54	82.28	2.96	157.5	384.55
Media	15.57	18.37	83.86	2.75	190.13	378.40
Mínimo	10.04	17.61	79.56	2.01	157.5	343.96
Máximo	25.83	19.54	87.27	3.27	292.5	402.62
Desviación estándar (S)	5.52	0.49	1.88	0.34	38.95	15.23

Nota: CER UNI, 2022 / Minitab 19 Statistical Software

La Tabla 20 muestra los resultados de la aplicación de las pruebas de Kolmogorov- Smirnov y Shapiro - Wilk. Dado que se obtuvieron 20 grados de libertad (gl) por cada parámetro, se utiliza la Prueba de Shapiro – Wilk (para  $n < 30$ ). Los resultados muestran que los valores Sig. 0.380, 0.653, 0.344 y 0.801, son mayores al nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). Sin embargo, el valor Sig. 0.004 es menor a este valor (0.05). Entonces de esta prueba se concluye que, los valores de los parámetros meteorológicos (Temperatura, Humedad Relativa, Velocidad del viento y Radiación solar), presentan una

distribución normal. Mientras que los valores obtenidos de PM2.5 en todos los días de monitoreo en campo no tiene distribución normal.

**Tabla 20**

*Prueba de Distribución Normal de las variables meteorológicas (T°, HR, V y Rs) y PM2.5*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
PM2.5	.174	20	.114	.845	20	.004
Temperatura	.157	20	.200 <sup>*</sup>	.951	20	.380
Humedad relativa	.134	20	.200 <sup>*</sup>	.965	20	.653
Velocidad de viento	.152	20	.200 <sup>*</sup>	.948	20	.344
Radiacion solar	.081	20	.200 <sup>*</sup>	.972	20	.801

Nota: Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

Dado que los valores de concentración de PM2.5 tienen una distribución no normal, sino otro tipo de distribución (Chi cuadrado, exponencial, etc.), se calcularon los coeficientes de correlación entre la concentración de PM2.5 y las variables meteorológicas de temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y radiación solar con ayuda de la prueba Correlación de Spearman.

La Tabla 21 muestra los resultados obtenidos durante la aplicación de la prueba de Correlación de Spearman entre los valores de concentración de PM2.5 y las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar). Se observa que los valores p iguales a (0.384, 0.240, 0.631 y 0.510) son mayores al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ), lo cual indica que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los coeficientes de correlación (r) sean significativas y diferentes de 0.

También se muestra que no existe una correlación entre el PM2.5 con la temperatura y radiación solar, sin embargo, se aprecia una tendencia directa, dado que sus valores de coeficientes de correlación son 0.206 y 0.156 respectivamente. Tampoco existe correlación entre el PM2.5 con la humedad relativa y velocidad del viento, sin embargo, se aprecia una tendencia inversa, dado que sus valores de coeficientes de correlación son -0.275 y -0.114 respectivamente.

**Tabla 21***Coefficientes de correlación de Spearman y valor p*

Variable Meteorológica	R	Valor p
Temperatura	0.206	0.384
Humedad Relativa	-0.275	0.240
Velocidad del viento	-0.114	0.631
Radiación Solar	0.156	0.510

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

- **Discusión de resultados**

Ante ello se puede decir que, durante el periodo más cálido, menos húmedo, con menos viento y mayor radiación solar, las concentraciones de PM2.5 podrían tender a aumentar en el campus de la UNI.

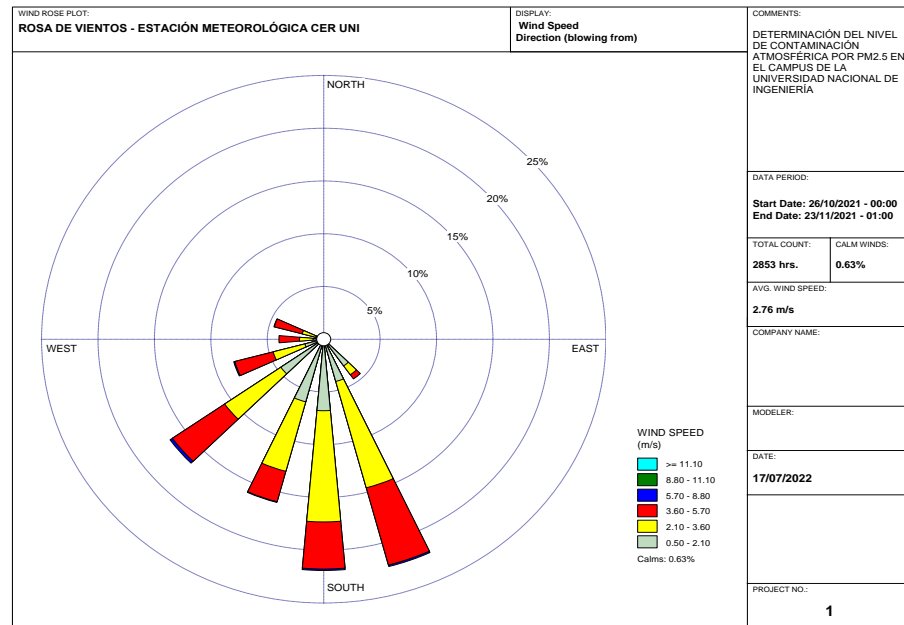
Al existir una tendencia directa, entre la variable temperatura y concentración de PM2.5 la atmósfera, existe una probabilidad que el medio ambiente de la UNI favorezca las reacciones químicas entre gases contaminantes precursores (SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>) para formar PM2.5; sin embargo, para poder afirmar dicha preposición del todo, se tendría que tener mayores datos de monitoreo tanto para valores de PM2.5 y sus variables meteorológicas, todas estas de manera insitu. Los compuestos volátiles (COVs) puede que sean también uno de los principales generadores de PM2.5, dada la tendencia directa entre la radiación solar y el PM2.5, sin embargo, al igual que la temperatura, se necesitarían mayores datos para concluir ello.

Con respecto a la tendencia inversa entre la Humedad Relativa y la concentración de PM2.5, existe una probabilidad que cuanto más húmedo sea la zona del campus, menor PM2.5 se tenga. También existe la probabilidad que, el viento disipe el material particulado, mientras más velocidad tiene, en lugar de acumularlo.

En la Figura 25 se observa que en la Estación meteorológica CER-UNI el 22.5% de los vientos están soplando desde el Sur-sudeste (SSE) a Norte - noroeste (NNW) con una velocidad de viento predominante de 2.10 m/s a 3.60 m/s. Esto indica que el PM2.5 es transportado y disipado desde la zona centro de Lima hacia la zona Norte y Oeste de Lima.

**Figura 25**

*Rosa de Viento - Estación CER-UNI*

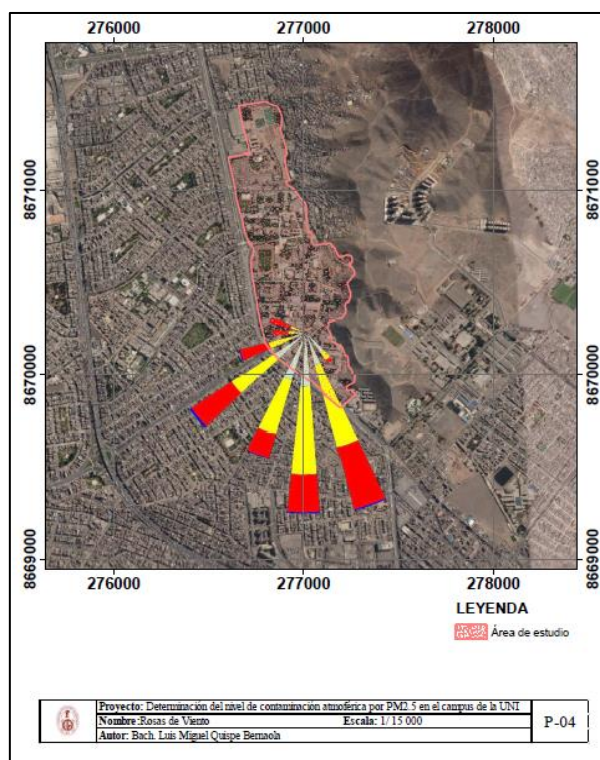


**Nota:** Elaboración propia / Software WRPLOT View

Además de la Figura 26 se puede decir que, existe una probabilidad que el campus de la UNI sea una zona de acumulación ya que allí el cerro cercano a la UNI ejerce su efecto de barrera al paso del viento. En la figura también se observa que los distritos colindantes al campus como La Victoria y Cercado de Lima, serían probablemente las principales Nota de emisión de PM2.5 dada la dirección predominante. Y por último la Av. Túpac Amaru sería probablemente una de las principales avenidas que emite este contaminante.

**Figura 26**

Representación gráfica de la dirección del viento durante el periodo de monitoreo



**Nota:** Elaboración propia / Software ArcGIS 10.3

- **Discusión de resultados**

Es posible que durante el periodo de monitoreo una parte significativa del PM2.5 secundario provino principalmente de reacciones químicas de partículas de azufre (los cuales fueron emitidos probablemente por vehículos que transitan por la avenida Túpac Amaru, cloruros (emitidos probablemente por emisiones marinas y combustión incompleta) y hierro (principalmente generados en industrias metal mecánica)

#### **4.5. Variación de valores de PM2.5 durante el estado de emergencia sanitaria por el coronavirus COVID-19**

La Tabla 22 muestra los valores de concentraciones diarias de PM2.5 obtenidos en la estación meteorológica San Juan de Lurigancho (S JL) durante el periodo de estudio en los años 2019, 2020 y 2021. Los datos se agruparon con el objetivo de ver la variación que se tuvo en esta estación, durante el estado de emergencia sanitaria en los años 2020 y 2021 con respecto al año 2019 (antes del estado de emergencia sanitaria). Esta tabla nos muestra que las concentraciones medias de PM2.5 para el año 2019 es de

36.03 ug/m<sup>3</sup>, para el año 2020 de 28.39 ug/m<sup>3</sup> y para el año 2021 de 35.56 ug/m<sup>3</sup>. También el mínimo valor se presentó el año 2020 con una concentración de 15.01 µg/m<sup>3</sup>, mientras que el máximo valor se obtuvo el año 2019 con una concentración de 50.00 µg/m<sup>3</sup>. También se evidencia que, los valores del año 2020 presentan menor desviación de la media, mientras que los valores del año 2021 tienen mayor desviación de la media (ver Anexo 5. Pruebas estadísticas).

**Tabla 22**

*Valores de PM2.5 (µg/m<sup>3</sup>) obtenidos en la estación SJL en cada año*

Variable	2019 (µg/m <sup>3</sup> )	2020 (µg/m <sup>3</sup> )	2021 (µg/m <sup>3</sup> )
	29.50	24.60	34.60
	40.90	30.10	35.70
	31.30	34.74	41.20
	43.60	27.91	33.10
	35.30	29.51	35.00
	48.50	30.61	36.30
	35.60	26.90	31.90
	33.50	38.78	46.00
	25.50	15.01	17.80
	31.30	34.40	40.80
	39.60	32.21	38.20
	31.90	35.24	41.80
	33.20	24.87	29.50
	26.80	30.27	35.90
	37.80	24.37	28.90
<b>PM2.5</b>	50.00	23.80	38.10
	25.10	24.20	40.60
	41.50	34.00	40.40
	35.10	21.10	18.00
	44.60	25.10	47.40
<b>Media</b>	36.03	28.39	35.56
<b>Mínimo</b>	25.10	15.01	17.80
<b>Máximo</b>	50.00	38.78	47.40
<b>Desviación Estándar (S)</b>	7.21	5.70	7.73
<b>Variación (%)</b>	0%	-21.20%	-1.30%

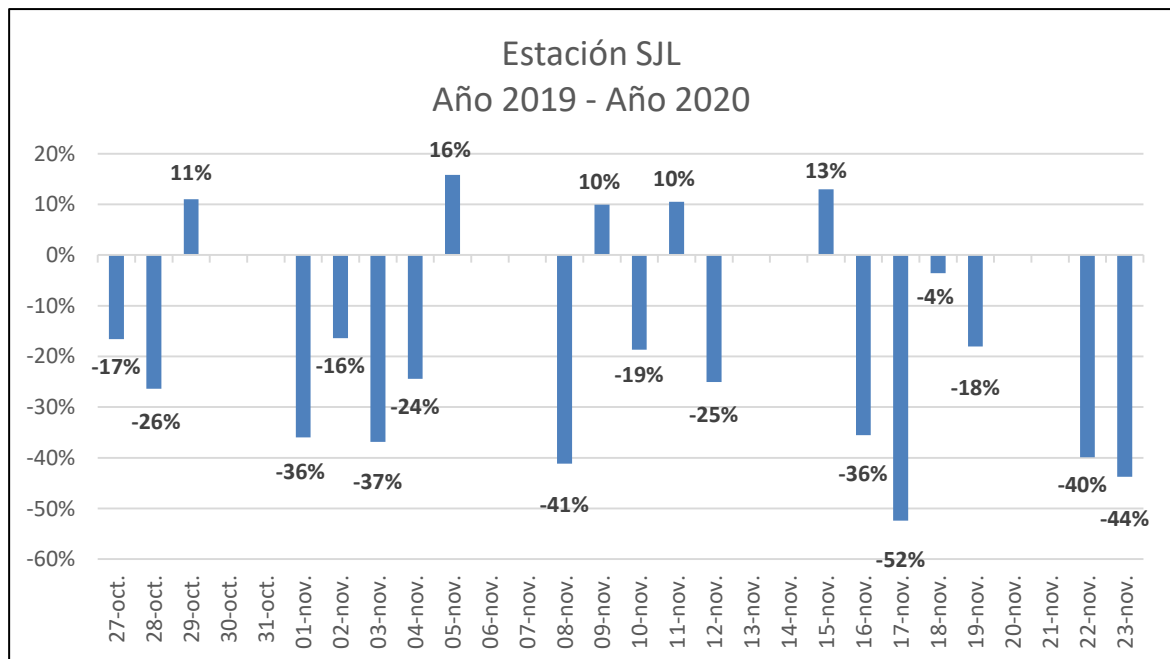
Nota: SENAMHI, 2022, ([https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad\\_del\\_aire-estadistica&e=112267](https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad_del_aire-estadistica&e=112267)) / Minitab 19 Statistical Software

Luego se realizó una comparación diaria de concentración de material particulado en SJL, durante los años 2020 y 2021 con respecto al año 2019. Con ello se pudo verificar si existió una disminución o aumento en las concentraciones durante el periodo de estudio.

En la Figura 27 se observa que existió disminución de concentraciones de PM2.5 en 15 días del año 2020 con respecto al año 2019, con un porcentaje mínimo de reducción de 4 % que se presentó el 04 de noviembre y un porcentaje máximo de 52% que se tuvo el 17 de noviembre. De igual forma se observa un aumento de concentraciones de PM2.5 en sólo 5 días, las cuales fueron el 29 de octubre, 05, 09, 11 y 15 de noviembre con porcentajes que van desde 10% a 16%. Estos resultados nos indican entonces que, el 75% de los días del periodo de estudio tienden a disminuir durante estos 2 años (2019 y 2020). Sin embargo, se realizará para mejor precisión una prueba estadística más adelante.

**Figura 27**

*Porcentaje de reducción de concentraciones de PM2.5 durante el año 2020 en comparación al 2019 en la estación SJL*



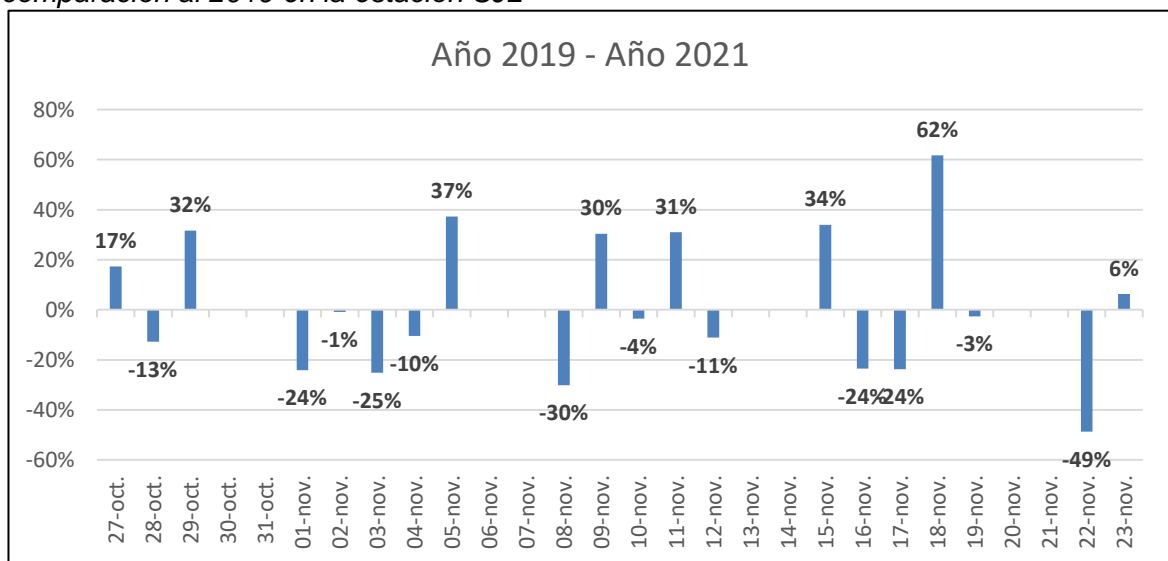
**Nota:** Elaboración propia

La Figura 28 nos muestra que, existió disminución de concentraciones de PM2.5 en 12 días del año 2021 con respecto al año 2019, con un porcentaje mínimo de

reducción de 1 % que se presentó el 02 de noviembre y un porcentaje máximo de 49% que se obtuvo el 22 de noviembre. También se observó un aumento de concentraciones de PM2.5 en 8 días las cuales fueron el 27 y 29 de octubre y 05, 09, 11, 15, 18 y 23 de noviembre con porcentajes que van desde 6% a 62%. Estos resultados nos indican entonces que, el 60% de los días del periodo de estudio tienden a disminuir durante estos 2 años (2019 y 2021).

**Figura 28**

*Porcentaje de reducción de concentraciones de PM2.5 durante el año 2021 en comparación al 2019 en la estación SJL*



**Nota:** Elaboración propia

De las dos gráficas descritas anteriormente se concluye que, en el año 2020 se presentó una mayor disminución en las concentraciones de PM2.5 con respecto al año 2019 durante el periodo de comparación o estudio. También se concluye que en el año 2021 hubo reducción en las concentraciones de PM2.5, pero fueron menos días que en el año anterior. De igual forma para tener un mejor panorama se comparó estadísticamente los datos obtenidos durante los 3 años, para lo cual se realizó la prueba de distribución normal.

La Tabla 23 muestra los resultados de la aplicación de las pruebas de Kolmogorov- Smirnov y Shapiro - Wilk. Dado que se obtuvieron 20 grados de libertad (gl) por cada punto, se utiliza la Prueba de Shapiro – Wilk (para  $n < 30$ ). Los resultados



muestran que los valores Sig. 0.672, 0.769 y 0.069, son mayores al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ). Entonces de esta prueba se concluye que, los valores obtenidos de PM2.5 en los años 2019, 2020 y 2021 tienen una distribución normal.

**Tabla 23**

*Prueba de Distribución Normal de valores de PM2.5 en la estación SJL según el año*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Año 2019	.124	20	.200 <sup>*</sup>	.966	20	.672
Año 2020	.118	20	.200 <sup>*</sup>	.971	20	.769
Año 2021	.151	20	.200 <sup>*</sup>	.912	20	.069

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

Luego de ello se aplicó la prueba t en dos muestras, con la finalidad de comparar las medias poblacionales del grupo de concentraciones de PM2.5 del año 2019 con el año 2020 y para determinar si existe diferencia significativa entre ambos. La Tabla 24 muestra que el valor p obtenido de la prueba paramétrica (0.001), es menor al nivel de significancia utilizado en dicha prueba ( $\alpha=0.05$ ), lo cual indica que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que las medias poblacionales del grupo de concentraciones de PM2.5 durante los años 2019 y 2020 son diferentes. Por lo tanto se puede decir que, es posible que las concentraciones de PM2.5 cambiaran significativamente durante los años 2020 con respecto al año 2019 (**ver Anexo 5.**

**Pruebas estadísticas).**

**Tabla 24**

*Prueba t en dos muestras de valores de PM2.5 obtenidos los años 2019 y 2020*

Muestra	N	Media	Valor T	GL	Valor p
PM2.5 (2019)	20	36.03	3.72	36	0.001
PM2.5 (2020)	20	28.39			

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

De igual forma se aplicó la prueba t en dos muestras, con valores del grupo de concentraciones de PM2.5 del año 2019 y año 2021. La Tabla 25 muestra que el valor p obtenido de la prueba paramétrica (0.843), es mayor al nivel de significancia utilizado en dicha prueba ( $\alpha=0.05$ ), lo cual indica que no existe evidencia estadística suficiente para

decir que las medias poblacionales del grupo de concentraciones de PM2.5 durante los años 2019 y 2021 son diferentes. Por lo tanto, se puede decir que, tal vez las concentraciones de PM2.5 no cambiaron significativamente durante los años 2021 con respecto al año 2019. Sin embargo, las medias nos hacen indicar que puede que exista una probabilidad de disminución (**ver Anexo 5. Pruebas estadísticas**).

**Tabla 25**

*Prueba t en dos muestras de valores de PM2.5 obtenidos los años 2019 y 2021*

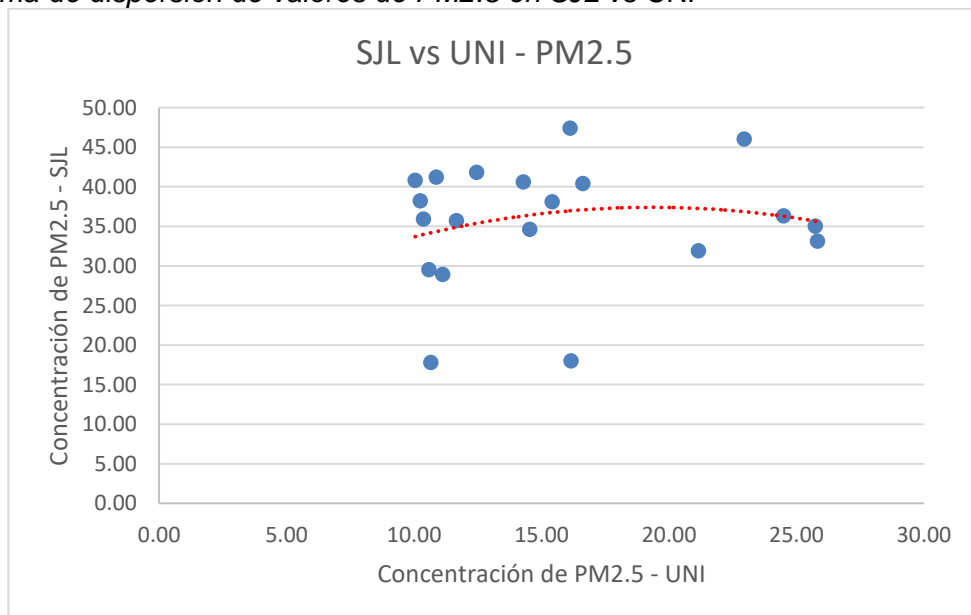
Muestra	N	Media	Valor T	GL	Valor p
PM2.5 (2019)	20	36.03	0.20	37	0.843
PM2.5 (2021)	20	35.56			

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

Luego de ello se procedió a graficar el diagrama de dispersión, entre valores de PM2.5 obtenidos en la estación SJL y los valores recolectados en campo de la UNI. La Figura 29 muestra una línea de tendencia a través de una ecuación cuadrática  $y = -0.0426x^2 + 1.6501x + 21.438$  y un valor  $R = 0.162$ . Estos valores nos indican que no existe una relación, sin embargo, tienen una tendencia directa.

**Figura 29**

*Diagrama de dispersión de valores de PM2.5 en SJL vs UNI*

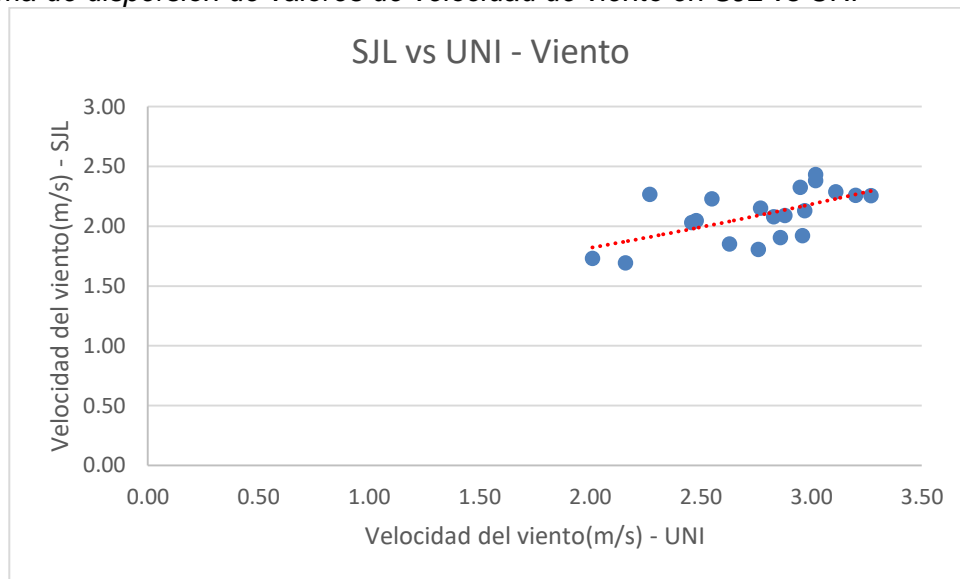


**Nota:** Elaboración propia

En la Figura 30, se graficó el diagrama de dispersión, entre valores de viento obtenidos en la estación SJL y estación CER-UNI. Esta gráfica muestra una línea de tendencia a través de una ecuación lineal  $y = 0.0349x^2 + 0.1912x + 1.296$  y un valor  $R = 0.594$ . Estos valores nos indican que no existe una relación, sin embargo, tienen una tendencia directa.

### Figura 30

Diagrama de dispersión de valores de velocidad de viento en SJL vs UNI



Nota: Elaboración propia

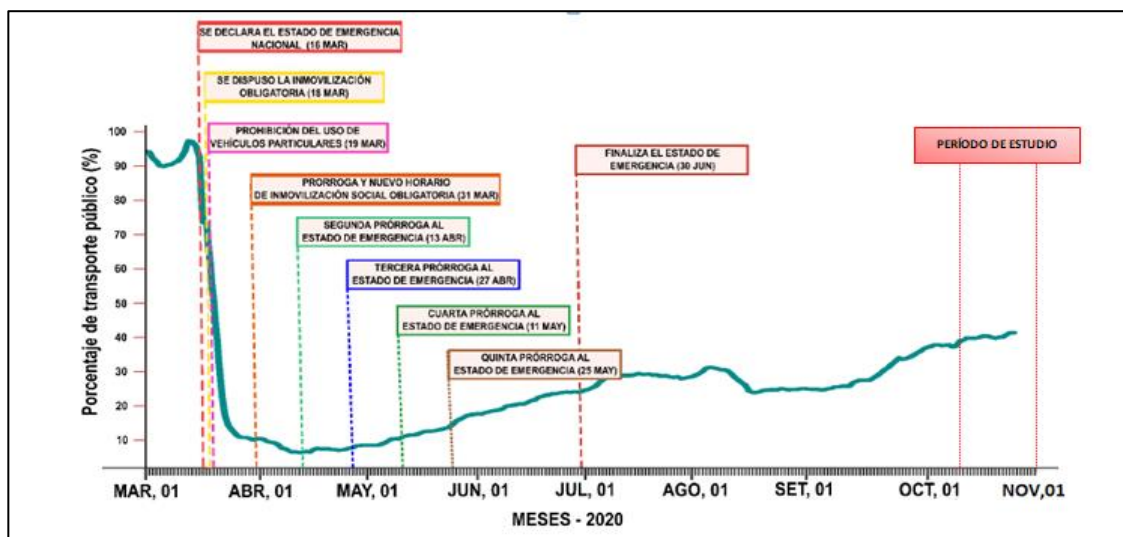
- **Discusión de resultados**

La causa de los resultados obtenidos en la estación SJL, lo podemos apreciar en la Figura 31, donde la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica (2020) del SENAMHI realizó una publicación en el año 2020 sobre el comportamiento de la actividad vehicular en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC), donde se aprecia que en los meses de octubre y noviembre del 2020 existió un porcentaje de disminución en el transporte público con respecto al año 2019. También se puede ver que a partir de esos meses existió un gradual aumento en la actividad vehicular ello debido a las disposiciones sanitarias que realizó el Gobierno Nacional a partir de entonces.

Si bien es cierto, no existe una correlación entre los valores de concentración de PM2.5 de la estación SJL y valores de campo UNI, se puede apreciar una tendencia directa, lo cual hace indicar que los valores de PM2.5 en la UNI tengan una cierta probabilidad de tener el mismo comportamiento que la estación SJL. Sin embargo como hemos visto en los resultados estadísticos durante el año 2021 no existió un cambio significativo en los valores de PM2.5 con respecto al año 2019, pero si se observa una relativa disminución en la media de valores de ambos grupos (36.03 ug/m<sup>3</sup> a 35.56 ug/m<sup>3</sup>)

**Figura 31**

*Efectos de las medidas establecidas durante el estado de emergencia en el transporte público*



Nota: SENAMHI, 2020, Monitoreo de calidad del aire en el área metropolitana de Lima y Callao en el contexto del COVID -19.

#### 4.6. Variación espacial de valores de PM2.5

##### 4.6.1. Comportamiento de valores de PM2.5 en cada punto de monitoreo

La Tabla 26 agrupa los valores de concentración de PM2.5, con el objetivo de analizar su variación y comportamiento en relación con los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04. Los datos se agruparon según estos puntos, obteniéndose así 5 valores de concentración de PM2.5 por cada punto. La tabla nos muestra que, el mínimo valor se presentó en el punto UNI-02 con una concentración de 10.04 µg/m<sup>3</sup>, mientras que el máximo valor que se obtuvo, fue en el punto UNI-01 con una

concentración de 25.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . También se nota que los valores de los puntos UNI-03 y UNI-04 presentan menor desviación de la media, mientras que los valores del punto UNI-01, tienen mayor desviación de la media (**ver Anexo 5. Pruebas estadísticas**).

**Tabla 26**

*Valores de PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenidos en cada punto de monitoreo*

Variable	UNI-01 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UNI-02 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UNI-03 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	UNI-04 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	14.54	24.50	10.20	15.42
	11.67	21.17	12.46	14.29
	10.88	22.96	10.58	16.63
PM2.5	25.83	10.67	10.38	16.17
	25.75	10.04	11.13	16.13
Media	17.73	17.87	10.95	15.73
Mínimo	10.88	10.04	10.20	14.29
Máximo	25.83	24.50	12.46	16.63
Desviación estándar (S)	7.48	6.96	0.91	0.91

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

La Tabla 27 muestra los resultados de la aplicación de las pruebas de Kolmogorov- Smirnov y Shapiro - Wilk. Dado que se obtuvieron 5 grados de libertad (gl) por cada punto, se utiliza la Prueba de Shapiro – Wilk (para  $n < 30$ ). Los resultados muestran que los valores Sig. 0.073, 0.108, 0.191 y 0.435, son mayores al nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ). Entonces de esta prueba se concluye que, los valores obtenidos de PM2.5 en los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04 tienen una distribución normal.

**Tabla 27**

*Prueba de Distribución Normal de valores de PM2.5 según el punto de monitoreo*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de PM2.5 en UNI-01	.265	5	.200 <sup>*</sup>	.795	5	.073
Concentración de PM2.5 en UNI-02	.282	5	.200 <sup>*</sup>	.816	5	.108
Concentración de PM2.5 en UNI-03	.257	5	.200 <sup>*</sup>	.849	5	.191

Concentración de PM2.5 en UNI-04	.270	5	.200*	.904	5	.435
-------------------------------------	------	---	-------	------	---	------

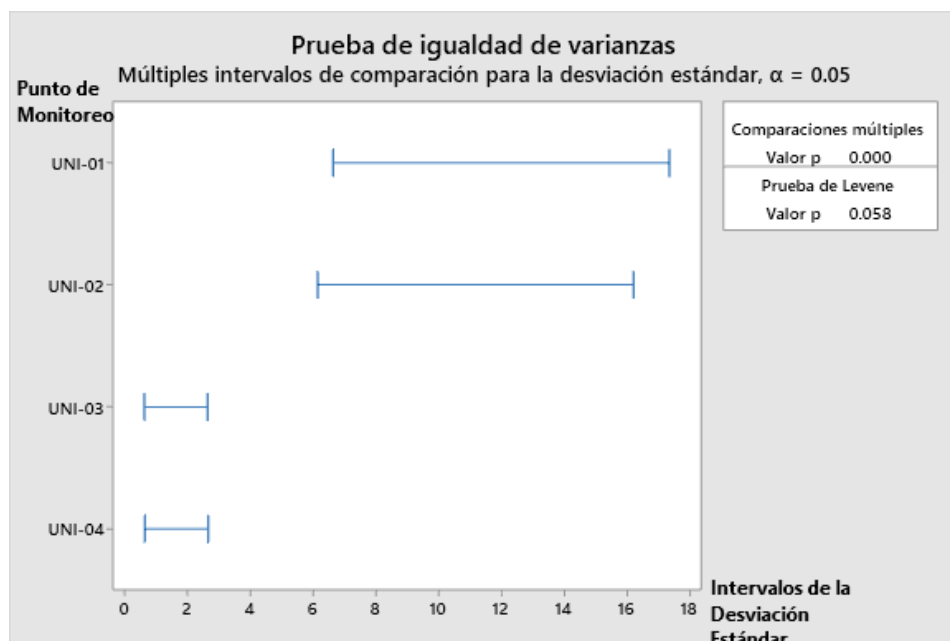
**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

La Figura 32 muestra el resultado de la prueba de homogeneidad o igualdad de varianzas sobre los 4 grupos que se obtuvieron al agrupar los datos de concentración de PM2.5 según el punto de monitoreo. La Figura 32 muestra que no existe homogeneidad de varianzas entre los 4 grupos de valores de PM2.5 (UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04), debido a que los valores p iguales a (0.000 y 0.058) no son mayores al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ).

Por lo tanto, no cumple la homogeneidad de varianzas en todos los grupos de datos, de la prueba estadística de paramétrica ANOVA de un solo factor. Se utilizó su equivalente no paramétrico denominado Prueba de Kruskal Wallis, la cual, mediante una comparación de las medianas poblacionales de los grupos obtenidos según el punto de monitoreo, permite determinar si existe diferencia significativa entre ellos.

### Figura 32

*Prueba de Homogeneidad de varianzas de valores de PM2.5 en los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04.*



**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

De la Tabla 28 se puede decir que estadísticamente es probable que los valores de PM2.5 correspondientes a las medianas de los 4 grupos obtenidos no sean distintos, debido a que el valor p igual a (0.114) es mayor al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ).

Por lo tanto, se puede decir que no hay diferencia significativa entre los grupos de valores de concentración de PM2.5 en los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04, sin embargo, por el valor p igual a (0.114), sería necesario realizar más mediciones para reforzar esta idea. También de la tabla se observa que, en el punto UNI-03 se presenta el menor valor mediana de PM2.5 ( $10.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y que en el punto UNI-02 se presenta el mayor valor mediana de PM2.5 ( $21.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Tabla 28**

*Prueba de Kruskal Wallis de valores de PM2.5 en los puntos de monitoreo UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04.*

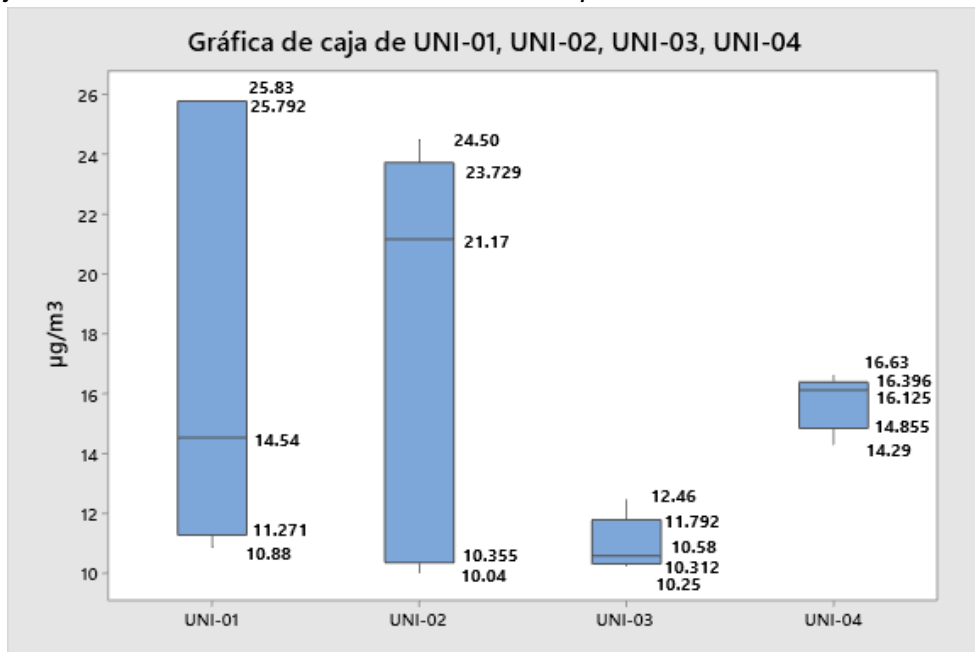
Punto	Datos	Mediana	Valor p
UNI-01	5	14.54	0.114
UNI-02	5	21.17	
UNI-03	5	10.58	
UNI-04	5	16.13	

**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

La Figura 33 muestra que en los puntos (UNI-01, UNI-02, UNI-03 y UNI-04) las concentraciones de PM2.5 oscilaron entre ( $11.27 - 25.79$ ,  $10.36 - 23.73$ ,  $10.31 - 11.79$  y  $14.86 - 16.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), respectivamente, con unos valores máximos respectivos de 25.83, 24.50, 12.46 y  $16.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y unos valores mínimos respectivos de 10.88, 10.04, 10.25 y  $14.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los resultados concuerdan con lo obtenido en la aplicación de la prueba de Kruskal Wallis ya que muestra que la mediana de los grupos de datos de concentración de PM2.5 no varía significativamente en los puntos UNI-01 y UNI-04. Sin embargo, se observa que existe una mayor variación de concentración de PM2.5 en los puntos UNI-02 y UNI-03. Es por ello que según el valor p igual a (0.114), resulta necesario hacer más mediciones para rechazar o rectificar dicha probabilidad (variación no significativa de medianas en todos los puntos de monitoreo).

**Figura 33**

*Gráfico de caja de los valores de PM2.5 obtenidos en los puntos de monitoreo*



**Nota:** Elaboración propia / Minitab 19 Statistical Software

- **Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos en la presente investigación indican que, no hay una gran dispersión del PM2.5 en la atmósfera del campus de la UNI. Sin embargo, existe una cierta variabilidad de este contaminante en los puntos de monitoreo UNI-02 y UNI-03, haciendo notar que las concentraciones de PM2.5 logran acumularse en una zona en específica del campus. También se puede decir que, existe una variación media en los puntos alejados y colindantes a Notas de emisiones vehiculares.

#### **4.6.2. Distribución espacial del PM2.5**

La Figura 34 muestra una representación gráfica de la distribución espacial de la concentración de PM2.5 en el campus de la UNI durante el periodo de monitoreo (27 de octubre – 23 de noviembre). Se observa que la concentración de PM2.5 es relativamente homogénea en las zonas colindantes a los puntos UNI-01 y UNI-04, ya que no varía bruscamente de una zona a otra.

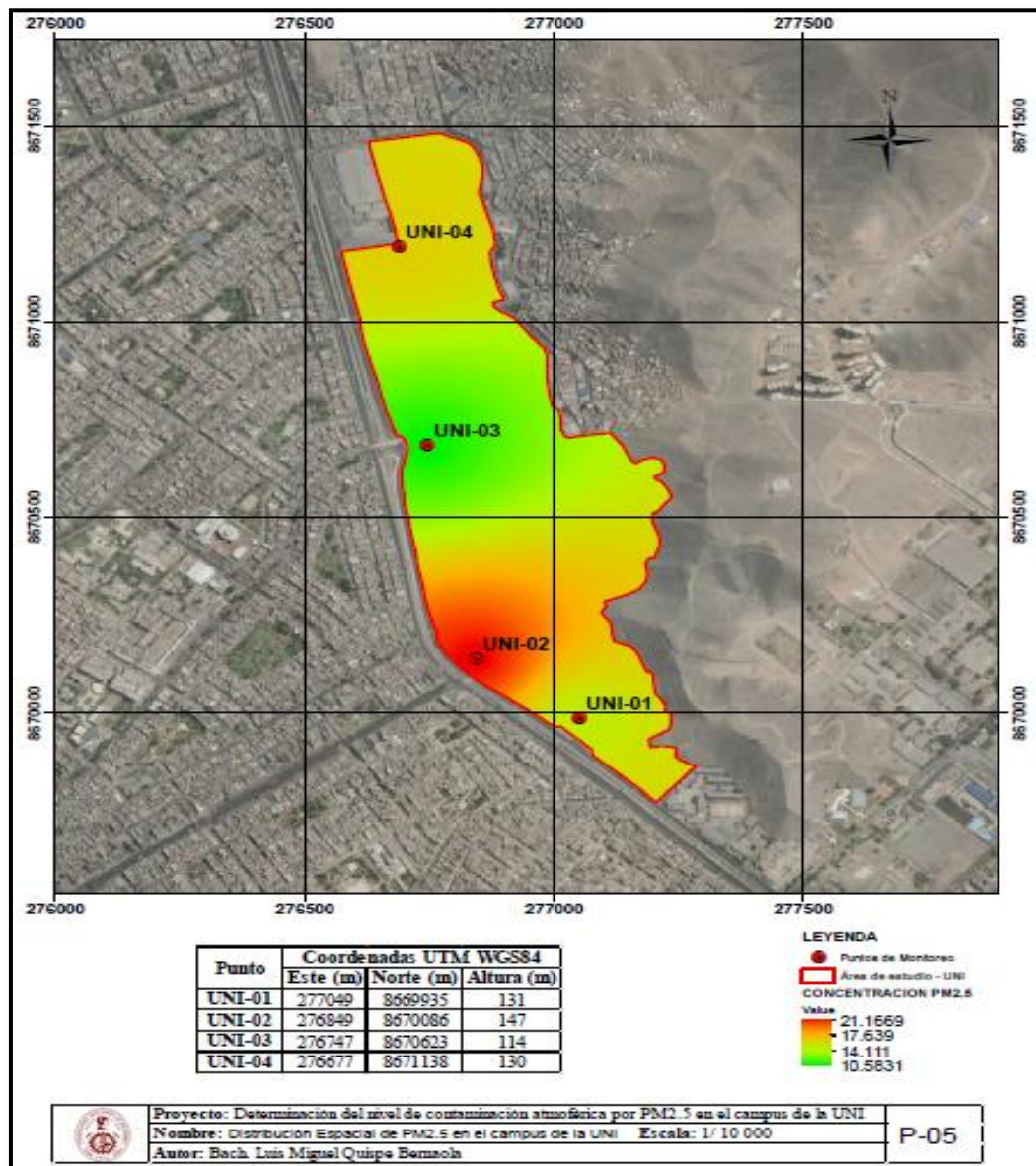
Por otro lado, es preciso señalar que en las zonas colindantes al punto UNI-02 (CEPS UNI, Facultad de Arquitectura, Facultad de Ingeniería Civil y Facultad de



Ingeniería Ambiental) se presentan mayores concentraciones de PM2.5. Por lo contrario, en las zonas colindantes al punto UNI-03 (Biblioteca central, Facultad de Ciencias, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas), se presentan menores concentraciones de PM2.5. Asimismo, se observa que el PM2.5 se distribuye en el campus con concentraciones menores al ECA, lo cual indica que, podría ser que en todas las zonas del campus de la UNI se presenten concentraciones de PM2.5 por debajo del valor estándar.

**Figura 34**

*Distribución espacial de PM2.5 en el campus de la UNI*



**Nota:** Elaboración propia / Software ArcGIS 10.3

#### **4.7. Comprobación de la hipótesis del trabajo**

Tomando en cuenta lo presentado, evaluado y analizado en la presente investigación se valida de la hipótesis formulada inicialmente que, la concentración de PM2.5 en el aire ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería muestra valores menores a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA) aprobado por D.S. N°003-2017-MINAM, teniendo valores entre los 10.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta los 21.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sin embargo, no se puede afirmar con certeza que esta disminución se deba a la suspensión de actividades de servicio y productivas por la pandemia ya que, no se encontró una correlación con la estación San Juan de Lurigancho, sin embargo, existe una tendencia directa lo cual hace indicar que se puede generar la correlación con una mayor cantidad de puntos de monitoreo. Asimismo, los resultados obtenidos tanto gráfica como estadística, nos muestran que la suspensión de actividades de servicio y productivas como el transporte público tuvieron una mayor influencia en la disminución de PM2.5 durante el año 2020.

## Conclusiones

Las concentraciones obtenidas antes del inicio de las actividades de servicios y de producción de forma oficial (periodo de monitoreo) en el campus de la UNI presentan valores que están por debajo del Estándar de Calidad Ambiental del aire (ECA) para PM2.5 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), siendo la concentración promedio de  $15.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los valores obtenidos superan el valor Guía de la Organización Mundial de la Salud ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en 45% de los días monitoreados (9 de 20 días) con valores que van desde  $15.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $25.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Durante el periodo de monitoreo, el 60% de los días monitoreados presentaron valores del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM2.5 que se asocian con la clasificación de calidad de aire moderada. Según esta clasificación, se tiene que tener un mayor cuidado con las personas de la comunidad universitaria sensibles a la contaminación de partículas. La distribución del PM2.5 a nivel del campus es relativamente homogénea en las zonas colindantes a los puntos UNI-01 y UNI-04, mientras que en las zonas colindantes a los puntos UNI-02 y UNI-03 tienden a variar presentando un mayor y menor valor de PM2.5 respectivamente.

Los valores de PM2.5 obtenidos en el campus de la Universidad Nacional de Ingeniería durante la emergencia sanitaria por coronavirus (COVID-19) presentaron una tendencia directa con la estación meteorológica del SENAMHI San Juan de Lurigancho (cercana al área de estudio). En dicha estación se encontró que la concentración diaria de PM2.5 se situó por debajo del ECA ( $17.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $47.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Los valores de concentración de PM2.5 en la estación SJL disminuyeron en el año 2020 con respecto al año 2019, en un total de 75% de los días analizados y existe evidencia estadística que ambos grupos tienen una diferencia significativa. Mientras que durante el año 2021 hubo una disminución en 60% de los días con respecto al año 2019, sin embargo, no existe evidencia estadística para afirmar que ambos grupos sean diferentes. Esto quiere decir que la suspensión de actividades de servicio (transporte) y

productivas por la pandemia durante el año 2020 causó un mayor beneficio para la calidad del aire que las medidas dadas durante el año 2021.

La dirección del viento en la estación meteorológica automática CER-UNI es de Sur-sudeste (SSE) a Norte- noroeste (NNW) con una velocidad de viento predominante de 2.10 m/s a 3.60 m/s, esto quiere decir que, existe una alta probabilidad que las Notas de emisión de PM<sub>2.5</sub> provengan de los distritos más cercanos al campus, que tienen dicha dirección entre estas Cercado de Lima y La Victoria. También la principal avenida que tiene una alta probabilidad de ser la Nota de PM<sub>2.5</sub> es la Av. Túpac Amaru, debido a que se encuentra a una corta distancia (menor a 100m).

El Cerro UNI es una zona conformada por piedra, grava y arena que actúa como Nota de emisión de PM<sub>2.5</sub> durante días con altas temperaturas y además actúa como zona de acumulación frente a contaminantes que vienen de la Zona Centro de Lima Metropolitana.

La concentración de PM<sub>2.5</sub> durante el periodo de monitoreo, en el campus de la UNI presentó una tendencia inversa con la humedad relativa y velocidad del viento, asimismo guardó una tendencia directa con la temperatura y radiación solar. Entonces existe una probabilidad que en la atmósfera del campus se generen las condiciones para las reacciones químicas entre gases contaminantes precursores (SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>). Asimismo, al existir la tendencia directa entre la variable radiación solar y la concentración de PM<sub>2.5</sub>, podría ser que, durante el periodo de estudio en el campus de la UNI, la formación de material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>) secundario se deba también a las reacciones de oxidación de compuestos orgánicos volátiles (COVs).

## Recomendaciones

1. Realizar estudios del comportamiento de la concentración del PM2.5 en relación al cambio de la estacionalidad, todo ello con el objetivo de comprobar si en el campus de la UNI los valores de concentración de PM2.5 difieren en el cambio de estación (primavera a invierno, primavera a verano, verano a otoño, etc.)
2. Realizar un inventario de Notas de emisión de PM2.5 en el campus de la UNI y en sus zonas más cercanas, con el objetivo de determinar las probables Notas de PM2.5 en la UNI.
3. Realizar estudios de tránsito vehicular en las Avenidas: Túpac Amaru, Eduardo de Habich y Honorio Delgado con la finalidad de cuantificar la cantidad de vehículos menores y mayores que pasan cerca la UNI.
4. Realizar estudios de composición química del material particulado (PM2.5) con la finalidad de conocer los principales elementos que se encuentran y a los que se ven expuestos la comunidad universitaria en el campus de la UNI.
5. Realizar estudios de comparación de las concentraciones de PM2.5 en años siguientes 2023 y 2024 con respecto al año 2019 (antes del COVID-19) con la finalidad de evaluar el comportamiento gradual positivo o negativo de este contaminante en el campus de la UNI.
6. Realizar estudios de variación horaria de PM2.5 en el campus de la UNI con el objetivo de entender el comportamiento y variación de este contaminante. Asimismo, aumentar la cantidad de puntos de monitoreo de PM2.5 a lo largo del campus de la UNI, conjuntamente con la toma insitu de los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar).

## Referencias bibliográficas

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2021, 6 de abril). *Términos*.  
<https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-c>.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2021). *Conceptos básicos del índice de calidad del aire (AQI)*. <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>.
- Aránguez, E., Ordoñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Gandarillas, A., Galán, I. (1999). *Contaminantes Atmosféricos y su vigilancia*. *Scielo*, (73) ,123-132.  
[https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam\\_atmos.pdf](https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam_atmos.pdf).
- Artiñano, B., Salvador, P., Alonso, D., Querol, X., Alastuey, A. (2003). *Antropogenic and natural influence on the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> aerosol in Madrid*. *Environmental Pollution, ELSEVIER*, 453-465.
- Ayllón, T. (1996). *Elementos de meteorología y climatología*. México: Trillas, 121.
- Badii, M., Guillén, A., Araiza, E., Cerna, J. (2012). *Métodos No Paramétricos de Uso Común*. *Daena: International Journal of Good Conscience*, (1), 132-155.
- Bautista, M., Victoria, E., Vargas, L., Hernández, C. (2020). *Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características*. *Educación y Salud Boletín científico*,(9), 78-81.  
<https://doi.org/10.29057/icsa.v9i17.6293>.
- Beelen, R., Raascho, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., & Vineis, P. (2014). *Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicenter ESCAPE project*. *The Lancet*, 383(9919), 785-795.
- Berlanga, V. (2012). *Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso Práctico*. Universitat de Barcelona. *Revista d' Innovació i Recerca en Educació*, (5) ,83-100.
- Billet, S., Garcon, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., Courcot, D., Aboukais, A., Shirali, P. (2007). *Ambient particulate matter (PM<sub>2.5</sub>)*:

- Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549). ELSEVIER, (105), 212-223. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2007.03.001>.*
- Bisquerra, R. (1987). *La Prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas en el BMDP. Revista Investigación Educativa, (5), 79-85.*
- Canadian Environmental Protection Act (CEPA) (1998). *National Ambient Air Quality Objectives For Particulate Matter, Executive Summary. Environment Canadá.*
- Chávez, F. (2009). *Estudio de dispersión de los contaminantes atmosféricos en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.*
- Fang, G., Wu, Y., Chang, S., Rau, J., Huang, S., Lin, C. (2006). *Characteristic study of ionic species in nano, ultrafine, fine and coarse particle size mode at a traffic sampling site. Toxicology and Industrial Health, (22), 2-37.*
- Fernández, M. (2018). *Impacto en salud de las emisiones de transporte. Chile.*
- Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT). (2004). *Meteorología y climatología semana de la ciencia y tecnología. 4-60. ISBN: 84-688-8535-5.*
- García, F., (2002). *Determinación de la Concentración de Fondo y Distribución Espacial de PST en Santa Marta. Grupo de Control de la Contaminación Ambiental. Universidad de Magdalena.*
- García, M., Ramírez, H., Ulloa, H., Arias, S., Pérez, A. (2012). *Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara (México). Investigaciones geográficas, N.º 58 Instituto Interuniversitario de Geografía. Universidad de Alicante. pp. 09 – 29.*
- Geiger, A., Cooper, J. (2010). *Overview of Airborne Metals Regulations , Exposure Limits, Health Effects and Contemporary Research. EPA, 1-56.*
- Gour Cheng, F., Cheng Nan, C., Cia Chium, C., Yuh Shen, W., Peter Pi, C., I Ling, Y. (2003). *Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> aerosols at a farm sampling site in Taiwan, Taichung. ELSEVIER, (308), 157-166. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00648-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00648-4).*

- Huamán, C. (2018). *Relación de las Variables meteorológicas y la concentración de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el distrito de Puente Piedra en el mes de diciembre 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur].
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press.
- Jensen, W., Alexander, M. (2016). *Statistics for Engineering and the Sciences*. *Journal of Quality Technology*, 48(3), 297–299.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00224065.2016.11918168>.
- Khan, F., Shirasuna, Y., Hirano, K., Masunaga, S. (2010). *Characterization of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5-10</sub> and PM<sub>>10</sub> in ambient air, Yokohama, Japan*. *ELSEVIER*, (96), 159-172.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.12.009>.
- Kouyoumdjian, Saliba, (2006). *Mass concentration and ion composition of coarse and fine particles in a urban area in Beirut: effect of calcium carbonate on the absorption of nitric and sulfuric acids and the depletion of chloride*. 1865-1877.
- López, L. (2006). *La meteorología y la contaminación atmosférica*.
- Machado, A., García, N., Costa, L., Linares, M., García, C., Velásquez, H. (2007). *Metales en PM<sub>10</sub> y su dispersión en una zona de alto tráfico vehicular*. *SCIELO*, 312-317.
- Manzanares, L. Echániz, G., López, M.A., Pérez, I.K. y Garibay, V. 2011. *Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM<sub>2.5</sub>*. INE, México. 103 pp.
- Medina, C., Meza, M.(2021).*Influencia del confinamiento social por COVID 19 en la ciudad del aire del distrito de San Juan de Lurigancho*.
- Ministerio del Ambiente (2019). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire*. Lima, 102p. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/363557-10-2019-minam>.
- Ministerio del Medio Ambiente (2016). *Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental*. Chile.



- MINITAB INC. 2021 (Guía de ayuda del software Minitab 19). *Carolina del Norte. US.*  
*Consultado 02 dic. 2021.*
- Moreano, R. (2008). *Sistemas de Información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador.*
- Murriel, F. (2017). *Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación UNALM.
- Nasa Prediction of Worldwide Energy Resources (2021). *Data Access Viewer.*  
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- Notas, A. J. (2016). *Dispersión de Material Particulado con interrelación de factores meteorológicos y topográficos.* *DIALNET, 43-54*
- Novales, A. (2010). *Análisis de regresión.* *Universidad Complutense de Madrid.*  
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis de Regresion.pdf>
- Ordoñez, C., Sánchez, O. (2017). *Caracterización química-morfológica del PM2.5 en Lima metropolitana mediante microscopía electrónica de barrido (MEB).* *ACTANOVA, (8) ,397-420.*
- Organización Mundial de la Salud. 2021. *Guía de Calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono.*
- Oyarzun, M. (2010). *Contaminación aérea y sus efectos en la salud.* *RevChil Enf Respir 2010, (26), 16-25.*
- Portilla, M., Eraso, S, Galé, C., García, I., Moler, J. y Blanca, M. (2006). *Manual práctico del paquete estadístico SPSS para Windows (3ª edición revisada).* Universidad Pública de Navarra: Navarra.
- Pöschl, U. 2005. *Atmospheric Aerosols: Composition, transformation, Climate and Health effects.* *Angewandte Chemie International Edition 44: 7520-7540.*

- Puga, C. (2017). *Análisis de la composición química del material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) en el aire ambiental del campus de la UNALM* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación UNALM.
- Rivera, C. (2020). *Impacto del parque automotor y la calidad del aire en Lima Metropolitana durante las medidas de aislamiento social (COVID-19), 2020*.
- Rodríguez, A. L. P.; Sampaio, I. B. M., Carneiro, J. C.; Tomich, T. R.; Martins, R. G. R., (2004). *Degradabilidad in situ da materia seca de forrageiras tropicais obtidas em diferentes épocas de corte*. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 56 (5): 658-664.
- Rodríguez, F. (2014). *Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico en la evaluación de la calidad del aire en Bogotá D.C. Colombia*.
- Salinas, J. (2011). *Caracterización físico química del material particulado en la comunidad foral de Navarra. España*.
- Sánchez, J., (2012). *Características fisicoquímicas de los gases y partículas contaminantes del aire. Su impacto en el asma*. *IATREIA*, (25), 369-379.
- Santillán, P., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., Bayas, K. (2021). *Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH – Riobamba. Novasinergia*,(2),111-126.  
<https://doi.org/10.37135/ns.01.08.07>.
- Saucedo, E. (2019). *Estadística en cirugía, cómo entender y aplicar conceptos básicos*. *Cirugía y Cirujanos*, (87), 692-697.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología (2011). *Guía Metodológica para la estimación de emisiones de  $PM_{2.5}$* . (1. Ed.). México.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2020. *Monitoreo de Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC) en el contexto del COVI-19, una herramienta para la toma de decisiones*.1-18.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2021a. *Vigilancia de la calidad del aire Área de Metropolitana de Lima y Callao octubre 2021. Boletín Mensual.1-20.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2021b. *Vigilancia de la calidad del aire Área de Metropolitana de Lima y Callao noviembre 2021. Boletín Mensual.1-17.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2021). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=calidad-del-aire>.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2021). *Calidad del Aire para Lima Metropolitana. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>.*
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate Change: The Scientific Basic 2001*, Cambridge University Press. Canadá.
- Torres, S. (2021). *La Calidad de Aire en la UPM y la relación con su Huella de Carbono. España.*
- Tzintzun, M.G., L. Rojas y A. Fernández, *Las partículas suspendidas en tres grandes ciudades mexicanas, Gaceta ecológica: 74, 15-28 (2005)*
- United States Environmental Protection Agency (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matter. EPA/600/R-08/139F.*
- United States Environmental Protection Agency (2015). *Air Quality for Particle Pollution. [https://www.airnow.gov/sites/default/files/2021-03/air-quality-guide\\_pm\\_2015\\_0.pdf](https://www.airnow.gov/sites/default/files/2021-03/air-quality-guide_pm_2015_0.pdf).*
- United States Environmental Protection Agency (2018). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI). <https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>.*
- Valero, J. (2014). *Teorías Clásicas de Estimación Espacial y Temporal de Tópicos de la geoestadística. Bogotá, pp.15-55.*
- Viana, M. (2003). *Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.*

- Vivencio (2018). *Por qué nos importa tanto el Anticiclón del Pacífico Sur*. *Meteochile Blog*. Blog Oficial de la Dirección Meteorológica de Chile.
- Watson, J., Chow, J. (2000). *Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research*. Desert Research Institute. Energy and Environmental Engineering Center.
- Xuejun, L., Xu, W., Du, E. (2015). *May have underestimated dissolved organic nitrogen (N) but overestimated total particulate N in wet deposition in China*. *ELSEVIER*, 300-301.

## Anexos

Anexo 1. Fotografías de puntos de monitoreo .....	1
Anexo 2. Partes del equipo muestreador marca TCR Tecora .....	4
Anexo 3. Estación Meteorológica.....	5
Anexo 4. Boletín mensual SENAMHI .....	6
Anexo 5. Pruebas estadísticas realizadas en Minitab 19 .....	8
Anexo 6. Certificado de Calibración del equipo muestreador marca Tecora .....	25
Anexo 7. Cadenas de Custodia .....	28
Anexo 8. Informes de Ensayo .....	33

## Anexo 1. Fotografías de puntos de monitoreo

Fotografía 1. Muestreo de PM2.5 en el punto UNI-01



Fotografía 2. Muestreo de PM2.5 en el punto UNI-02



**Fotografía 3.** Muestreo de PM2.5 en el punto UNI-03



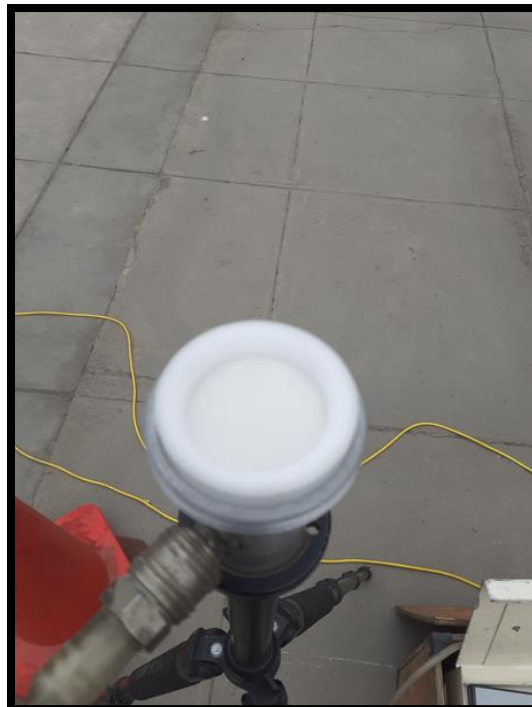
**Fotografía 4.** Muestreo de PM2.5 en el punto UNI-04



**Fotografía 5.** Placa petri con muestra de PM2.5



**Fotografía 6.** Filtro con muestra de PM2.5 en el portafiltro





## Anexo 2. Partes del equipo muestreador marca TCR Tecora



Cabezal. Fracciona las partículas, y permite únicamente el paso de aquellas con diámetros menores.

Impactador. Clasifica las partículas en diversos tamaños por medio de etapas a través de orificios.

Portafiltro. Se utiliza para colocar el filtro.

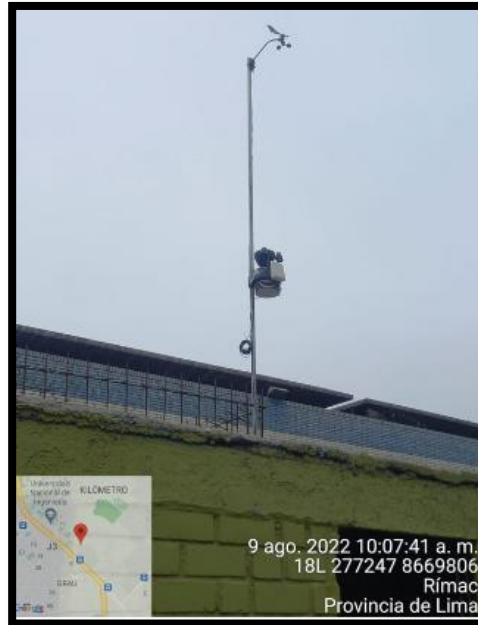
Trípode y manguera de conexión. El trípode es un accesorio necesario para obtener las muestras a nivel de terreno. Asimismo la manguera se utiliza para conectar los accesorios detallados al principio con el equipo de absorción de aire.



Pantalla gráfica LCD. Sirve para programar la fecha y hora del monitoreo a realizar.

### Anexo 3. Estación Meteorológica

**Figura 1.** Estación meteorológica ubicado en el Centro de Energías Renovables (CER-UNI)

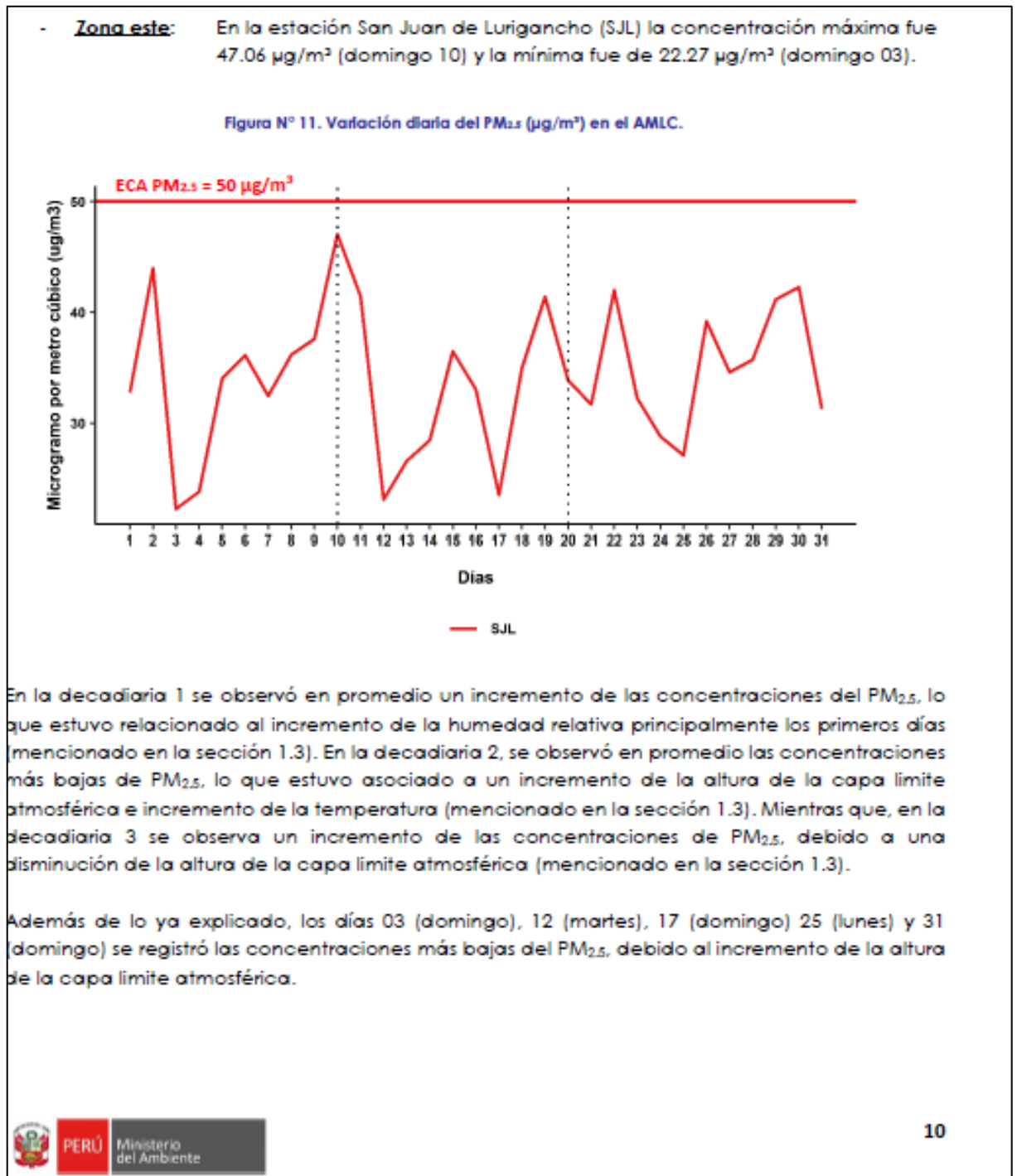


**Figura 2.** Estación meteorológica modelo DAVIS VANTAGE PRO 2

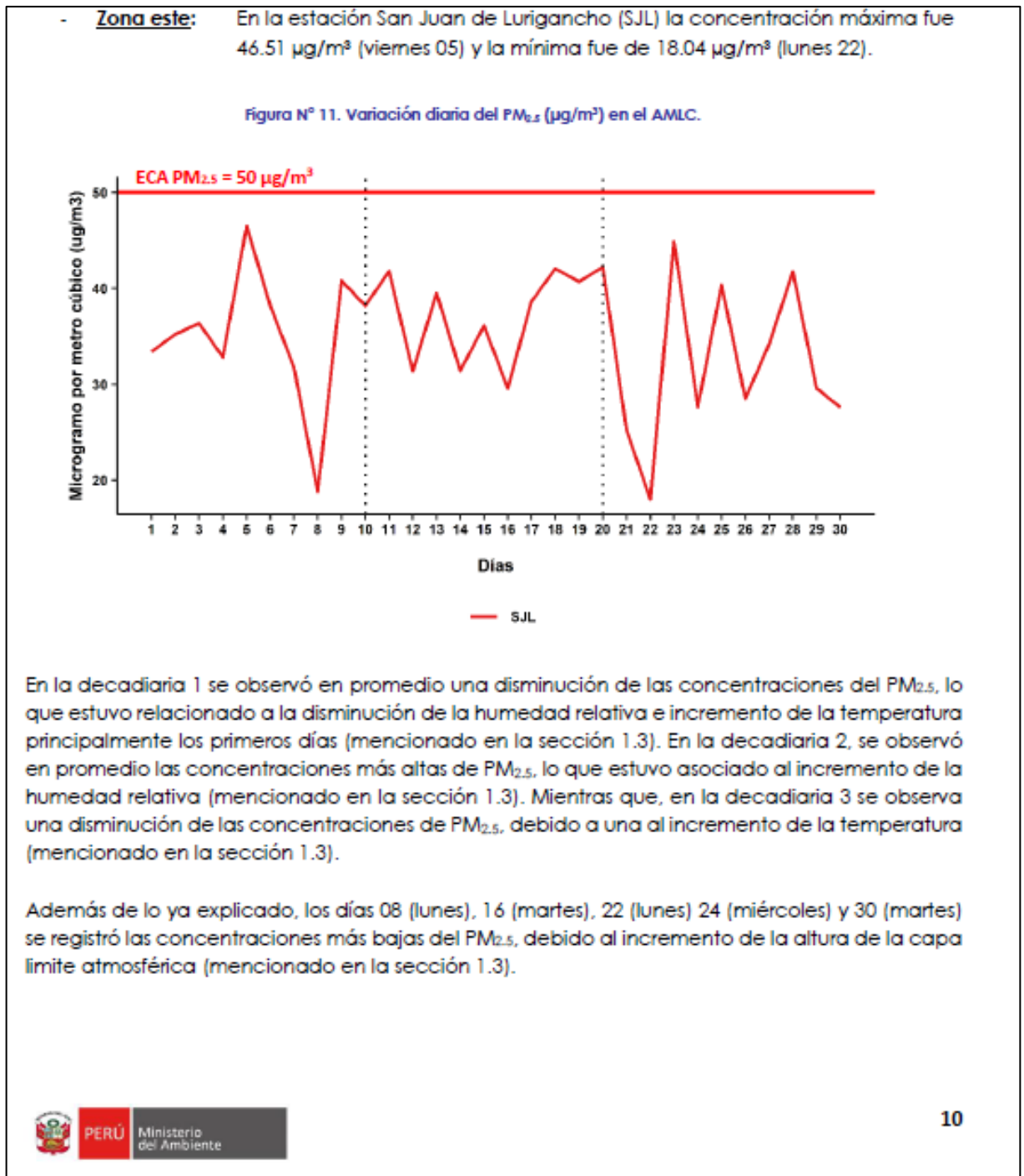


## Anexo 4. Boletín mensual SENAMHI

**Figura 3.** Comportamiento de PM<sub>2.5</sub> en la estación SJL según el Boletín Mensual del SENAMHI – mes octubre



**Figura 4.** Comportamiento de PM<sub>2.5</sub> en la estación SJL según el Boletín Mensual del SENAMHI – mes noviembre



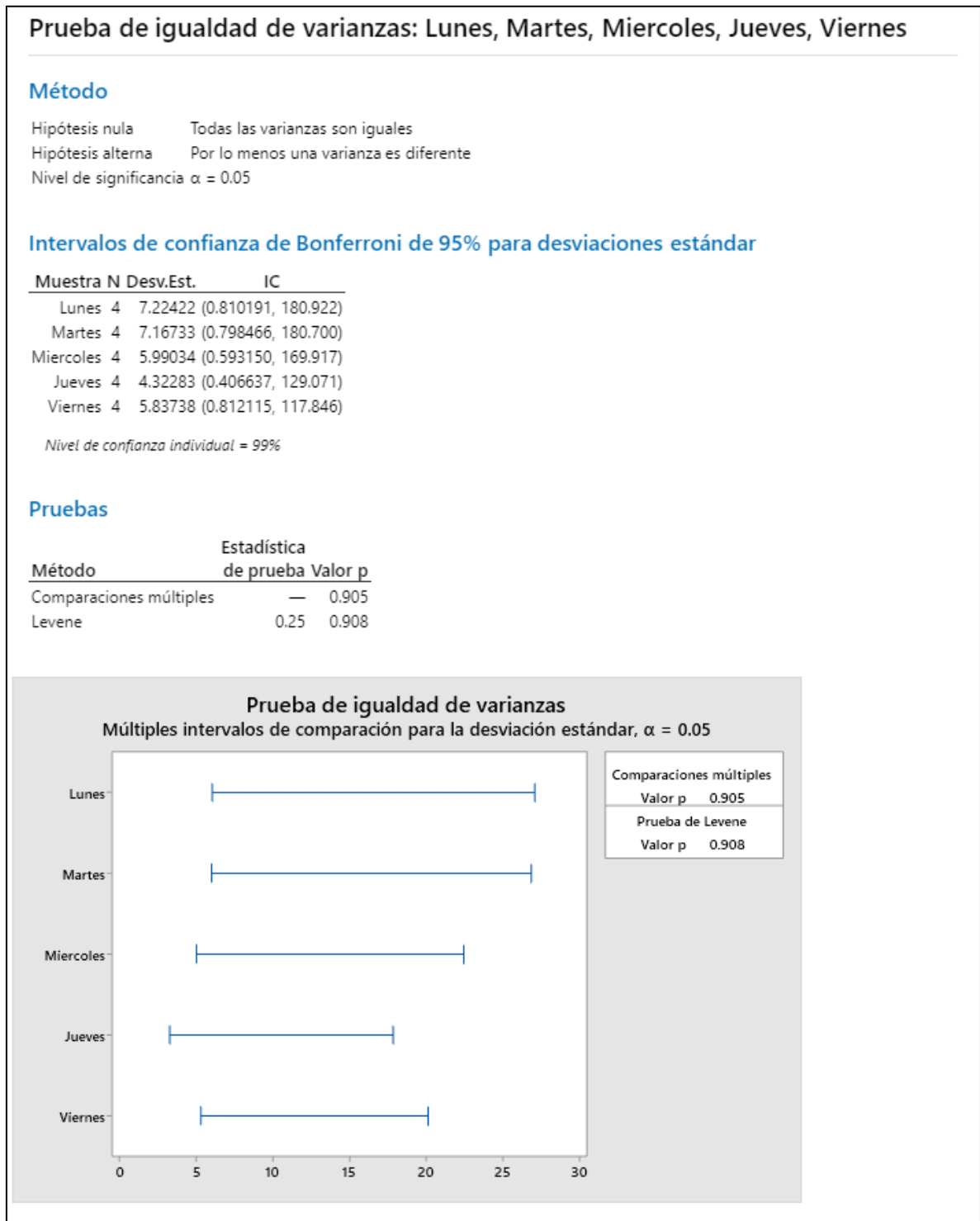
## Anexo 5. Pruebas estadísticas realizadas en Minitab 19

**Figura 5.** Pruebas estadísticas descriptivas de concentraciones de PM2.5 según el día de la semana

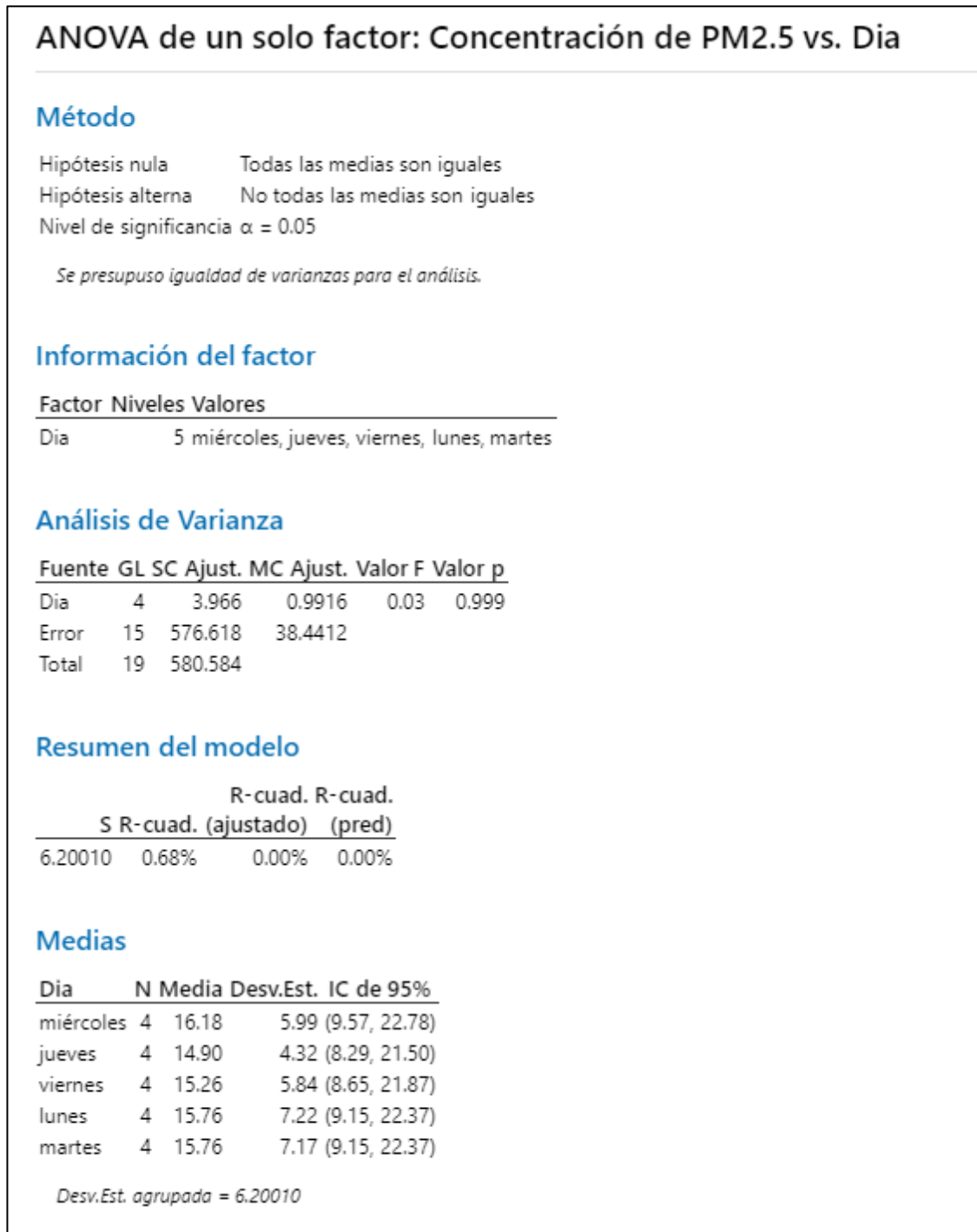
Descriptivos				
		Estadístico	Error estándar	
Concentración de PM2.5 día lunes	Media	15.7625	3.61046	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4.2724	
		Límite superior	27.2526	
	Media recortada al 5%	15.5022		
	Mediana	13.4200		
	Varianza	52.142		
	Desv. Estándar	7.22093		
	Mínimo	10.38		
	Máximo	25.83		
	Rango	15.45		
	Rango intercuartil	12.96		
	Asimetría	1.297	1.014	
	Curtosis	.949	2.619	
Concentración de PM2.5 día martes	Media	15.7625	3.58344	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4.3584	
		Límite superior	27.1666	
	Media recortada al 5%	15.5256		
	Mediana	13.6300		
	Varianza	51.364		
	Desv. Estándar	7.16687		
	Mínimo	10.04		
	Máximo	25.75		
	Rango	15.71		
	Rango intercuartil	13.03		
	Asimetría	1.285	1.014	
	Curtosis	1.008	2.619	
Concentración de PM2.5 día miercoles	Media	16.1775	2.99520	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6.6454	
		Límite superior	25.7096	
	Media recortada al 5%	16.0444		
	Mediana	14.9800		
	Varianza	35.885		
	Desv. Estándar	5.99039		
	Mínimo	10.25		
	Máximo	24.50		
	Rango	14.25		
	Rango intercuartil	10.91		
	Asimetría	1.127	1.014	

	Curtosis		2.134	2.619
Concentración de PM2.5 día jueves	Media		14.8975	2.16163
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8.0182	
		Límite superior	21.7768	
	Media recortada al 5%		14.7283	
	Mediana		13.3750	
	Varianza		18.690	
	Desv. Estándar		4.32325	
	Mínimo		11.67	
	Máximo		21.17	
	Rango		9.50	
	Rango intercuartil		7.58	
	Asimetría		1.637	1.014
	Curtosis		2.644	2.619
	Concentración de PM2.5 día viernes	Media		15.2625
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	5.9726	
		Límite superior	24.5524	
Media recortada al 5%			15.0950	
Mediana			13.7550	
Varianza			34.085	
Desv. Estándar			5.83820	
Mínimo			10.58	
Máximo			22.96	
Rango			12.38	
Rango intercuartil			10.72	
Asimetría			.911	1.014
Curtosis			-.979	2.619

**Figura 6.** Prueba de igualdad de varianzas durante los días de la semana



**Figura 7.** Prueba ANOVA durante los días de la semana



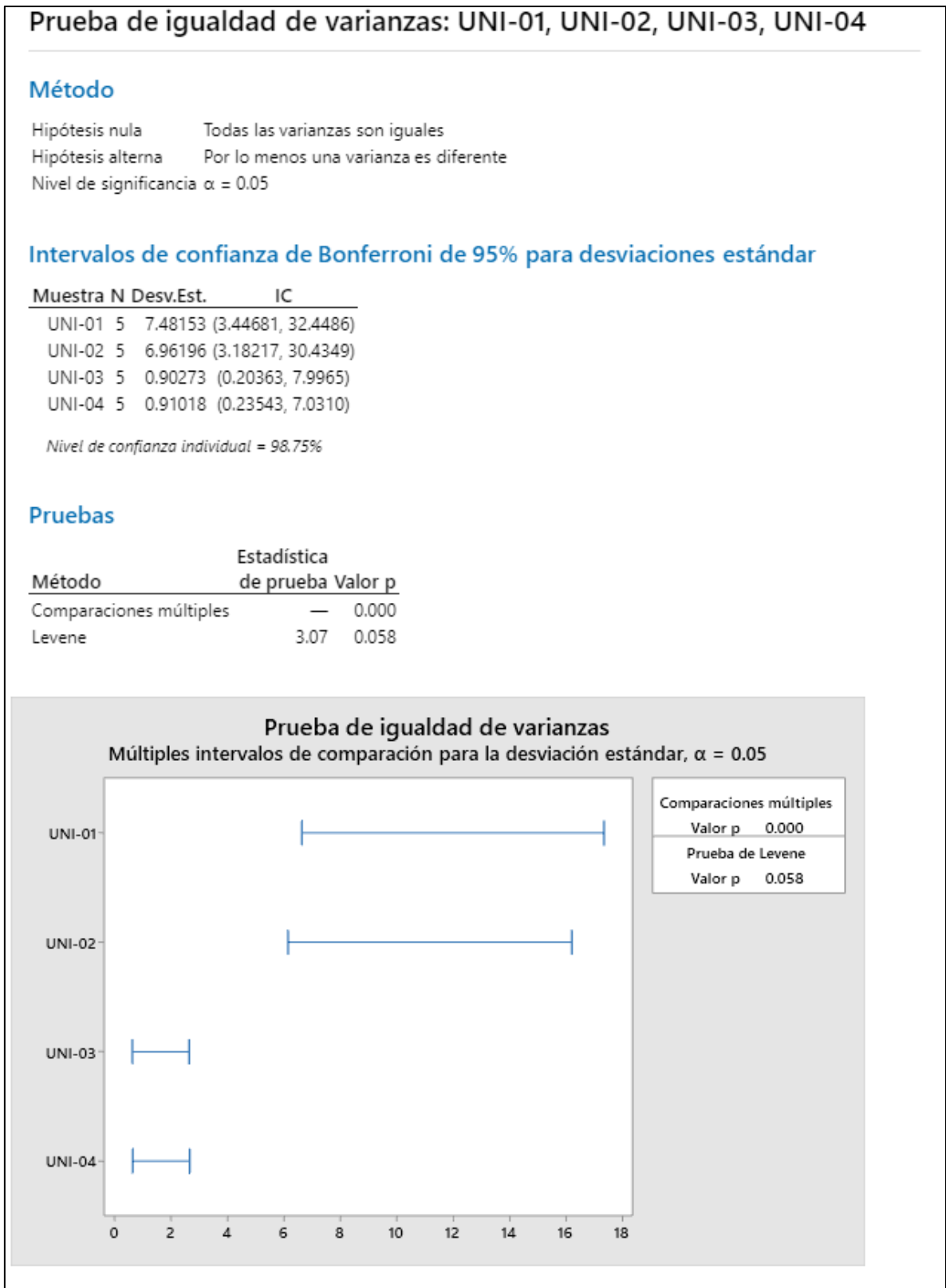


**Figura 8.** Pruebas estadísticas descriptivas de concentraciones de PM2.5 según el punto de monitoreo

Descriptivos				
		Estadístico	Error estándar	
Concentración de PM2.5 en UNI-01	Media	17.7340	3.34479	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8.4474	
		Límite superior	27.0206	
	Media recortada al 5%	17.6650		
	Mediana	14.5400		
	Varianza	55.938		
	Desv. Estándar	7.47918		
	Mínimo	10.88		
	Máximo	25.83		
	Rango	14.95		
	Rango intercuartil	14.51		
	Asimetría	.466	.913	
	Curtosis	-3.171	2.000	
Concentración de PM2.5 en UNI-02	Media	17.8680	3.11371	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9.2230	
		Límite superior	26.5130	
	Media recortada al 5%	17.9344		
	Mediana	21.1700		
	Varianza	48.476		
	Desv. Estándar	6.96247		
	Mínimo	10.04		
	Máximo	24.50		
	Rango	14.46		
	Rango intercuartil	13.38		
	Asimetría	-.485	.913	
	Curtosis	-3.125	2.000	
Concentración de PM2.5 en UNI-03	Media	10.9500	.40846	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9.8159	
		Límite superior	12.0841	
	Media recortada al 5%	10.9078		
	Mediana	10.5800		
	Varianza	.834		
	Desv. Estándar	.91335		
	Mínimo	10.20		
	Máximo	12.46		
	Rango	2.26		
	Rango intercuartil	1.51		
	Asimetría	1.526	.913	
	Curtosis	2.132	2.000	

Concentración de PM2.5 en UNI-04	Media		15.7280	.40825
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	14.5945	
		Límite superior	16.8615	
	Media recortada al 5%		15.7578	
	Mediana		16.1300	
	Varianza		.833	
	Desv. Estándar		.91286	
	Mínimo		14.29	
	Máximo		16.63	
	Rango		2.34	
	Rango intercuartil		1.54	
	Asimetría		-1.160	.913
Curtosis		1.020	2.000	

**Figura 9.** Prueba de igualdad de varianzas en los puntos de monitoreo



**Figura 10.** Prueba de Kruskal Wallis en los puntos de monitoreo

Prueba de Kruskal-Wallis: Concentración de PM2.5 vs. Punto				
<b>Estadísticas descriptivas</b>				
Punto	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
UNI-01	5	14.542	12.8	1.00
UNI-02	5	21.167	11.4	0.39
UNI-03	5	10.583	5.0	-2.40
UNI-04	5	16.125	12.8	1.00
General	20		10.5	
<b>Prueba</b>				
Hipótesis nula $H_0$ : Todas las medianas son iguales				
Hipótesis alterna $H_1$ : Al menos una mediana es diferente				
GL	Valor H	Valor p		
3	5.95	0.114		

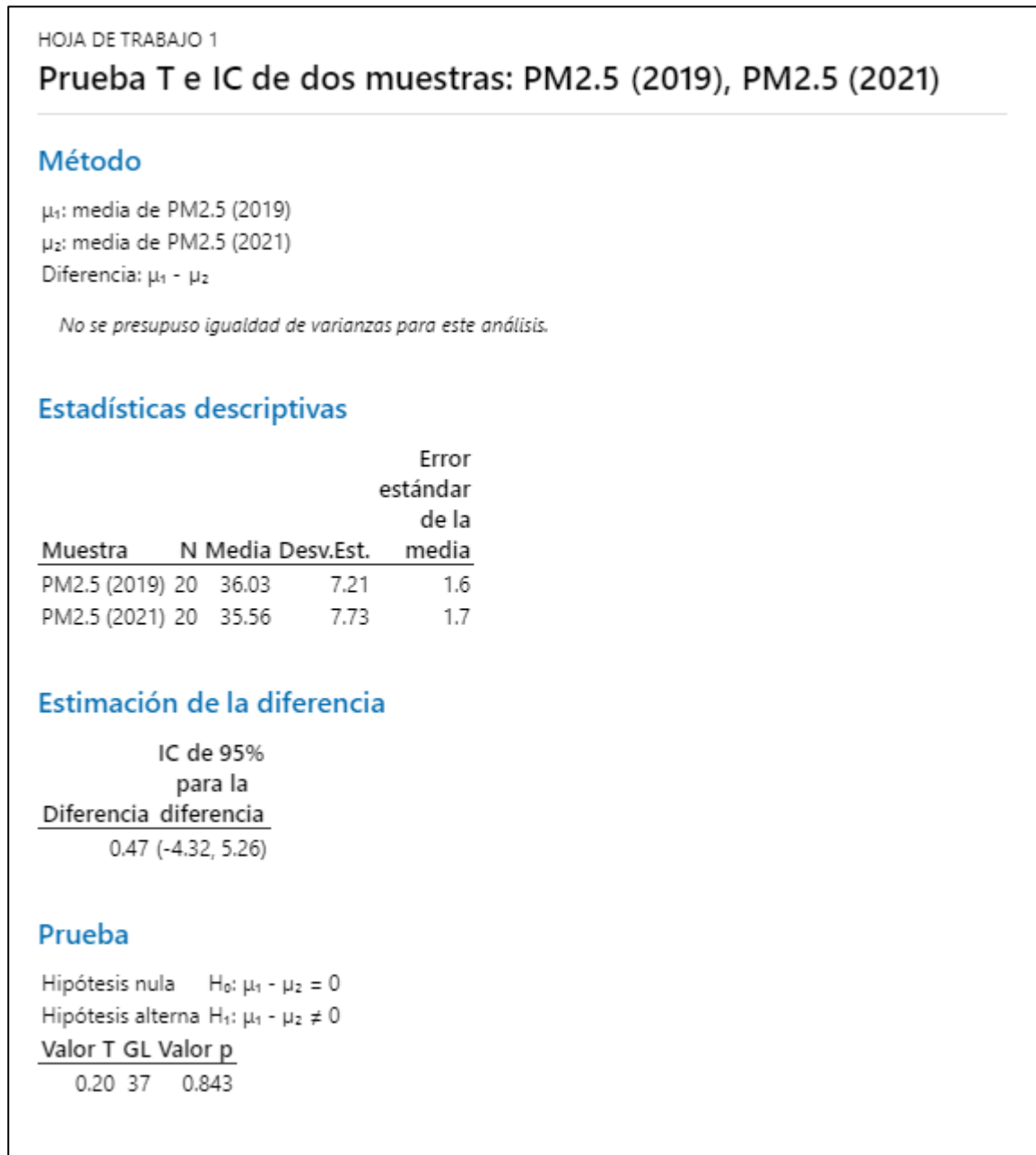
**Figura 11.** Prueba estadísticas descriptivas de concentración de PM2.5 en SJL en los años (2019), (2020) y (2021)

Descriptivos				
		Estadístico	Error estándar	
Año 2019	Media	36.0300	1.61156	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	32.6570	
		Límite superior	39.4030	
	Media recortada al 5%	35.8611		
	Mediana	35.2000		
	Varianza	51.942		
	Desv. Estándar	7.20709		
	Mínimo	25.10		
	Máximo	50.00		
	Rango	24.90		
	Rango intercuartil	10.05		
	Asimetría	.343	.512	
	Curtosis	-.604	.992	
Año 2020	Media	28.3860	1.27424	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	25.7190	
		Límite superior	31.0530	
	Media recortada al 5%	28.5517		
	Mediana	28.7100		
	Varianza	32.474		
	Desv. Estándar	5.69859		
	Mínimo	15.01		
	Máximo	38.78		
	Rango	23.77		
	Rango intercuartil	9.13		
	Asimetría	-.308	.512	
	Curtosis	.187	.992	
Año 2021	Media	35.5600	1.72889	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	31.9414	
		Límite superior	39.1786	
	Media recortada al 5%	35.8889		
	Mediana	36.1000		
	Varianza	59.781		
	Desv. Estándar	7.73185		
	Mínimo	17.80		
	Máximo	47.40		
	Rango	29.60		
	Rango intercuartil	8.55		
	Asimetría	-1.007	.512	
	Curtosis	1.195	.992	

**Figura 12.** Prueba t en dos muestras entre PM2.5 (2019) y PM2.5 (2020) – Estación SJL

HOJA DE TRABAJO 1				
Prueba T e IC de dos muestras: PM2.5 (2019), PM2.5 (2020)				
<b>Método</b>				
$\mu_1$ : media de PM2.5 (2019)				
$\mu_2$ : media de PM2.5 (2020)				
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$				
<i>No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.</i>				
<b>Estadísticas descriptivas</b>				
				Error estándar de la
<b>Muestra</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>media</b>
PM2.5 (2019)	20	36.03	7.21	1.6
PM2.5 (2020)	20	28.39	5.70	1.3
<b>Estimación de la diferencia</b>				
IC de 95%				
para la				
<u>Diferencia diferencia</u>				
7.64 (3.48, 11.81)				
<b>Prueba</b>				
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$				
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$				
<u>Valor T GL Valor p</u>				
3.72 36 0.001				

**Figura 13.** Prueba t en dos muestras entre PM2.5 (2019) y PM2.5 (2021) – Estación SJL



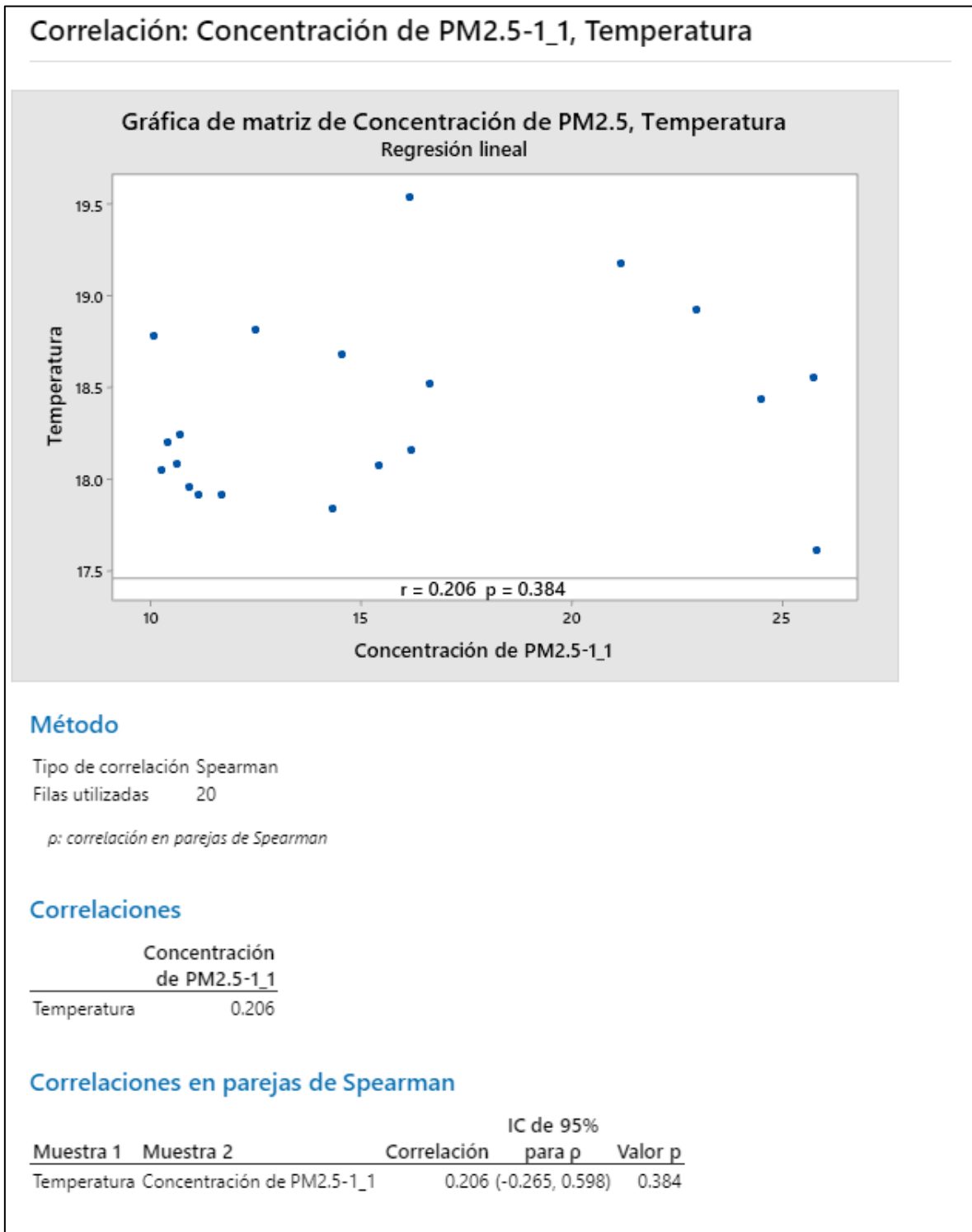
**Figura 14.** Prueba estadísticas descriptivas de variables meteorológicas y PM2.5 en el campus de la UNI

Descriptivos				
		Estadístico	Error estándar	
PM2.5	Media		15.5725	1.23593
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	12.9857	
		Límite superior	18.1593	
	Media recortada al 5%		15.3100	
	Mediana		14.4150	
	Varianza		30.550	
	Desv. estándar		5.52724	
	Mínimo		10.04	
	Máximo		25.83	
	Rango		15.79	
	Rango intercuartil		9.31	
	Asimetría		.845	.512
	Curtosis		-.677	.992
Temperatura	Media		18.3740	.11085
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	18.1420	
		Límite superior	18.6060	
	Media recortada al 5%		18.3517	
	Mediana		18.2200	
	Varianza		.246	
	Desv. estándar		.49572	
	Mínimo		17.61	
	Máximo		19.54	
	Rango		1.93	
	Rango intercuartil		.78	
	Asimetría		.721	.512
	Curtosis		.061	.992
Humedad Relativa	Media		83.8685	.42042
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	82.9885	
		Límite superior	84.7485	
	Media recortada al 5%		83.9189	
	Mediana		84.0700	
	Varianza		3.535	
	Desv. estándar		1.88018	
	Mínimo		79.56	
	Máximo		87.27	
	Rango		7.71	
	Rango intercuartil		2.42	
	Asimetría		-.506	.512

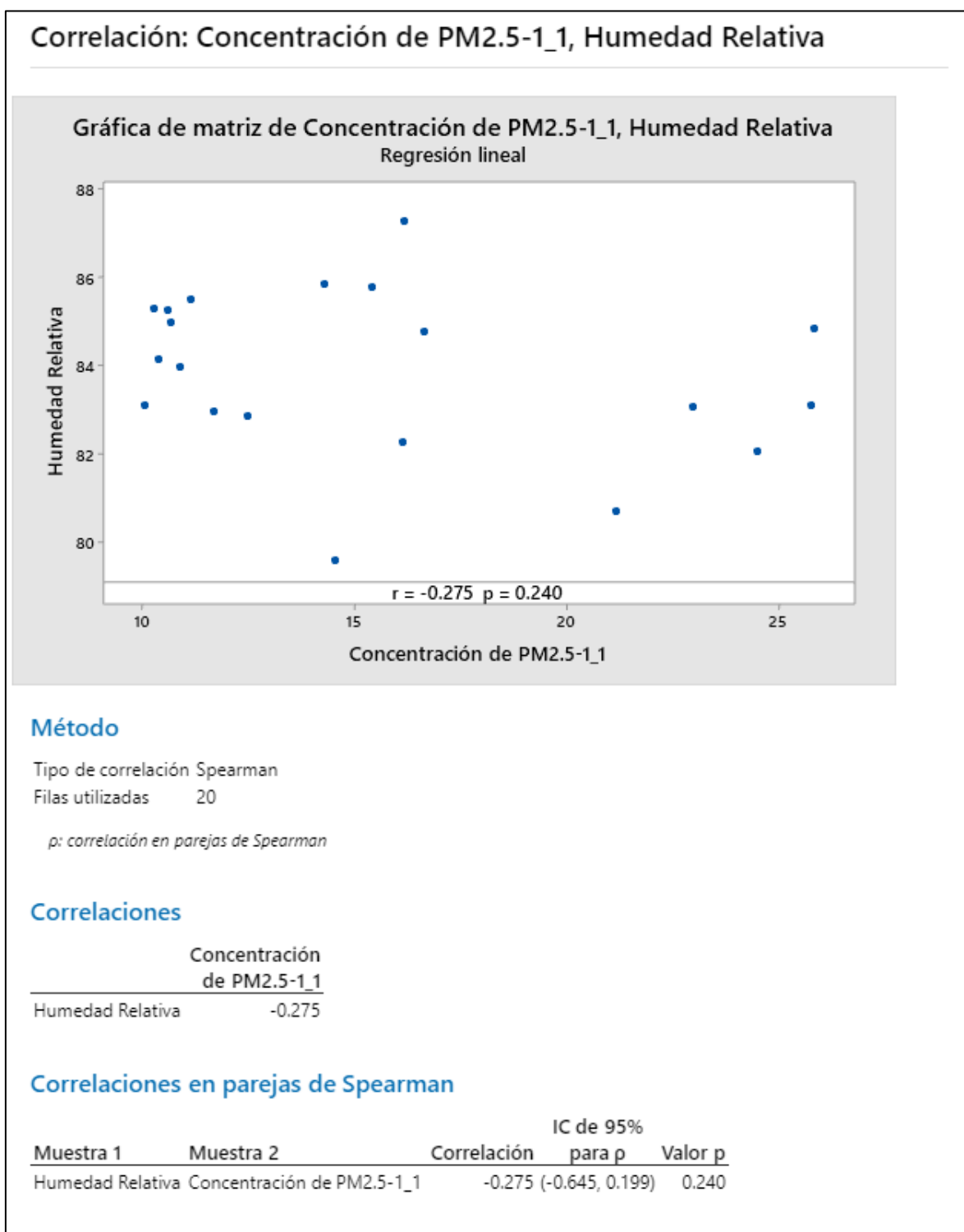


	Curtosis		.201	.992
Velocidad de viento	Media		2.7580	.07700
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.5968	
		Límite superior	2.9192	
	Media recortada al 5%		2.7711	
	Mediana		2.8450	
	Varianza		.119	
	Desv. estándar		.34435	
	Mínimo		2.01	
	Máximo		3.27	
	Rango		1.26	
	Rango intercuartil		.51	
	Asimetría		-.687	.512
	Curtosis		-.196	.992
Radiación solar	Media		378.4045	3.40536
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	371.2770	
		Límite superior	385.5320	
	Media recortada al 5%		378.9728	
	Mediana		379.3950	
	Varianza		231.929	
	Desv. estándar		15.22922	
	Mínimo		343.96	
	Máximo		402.62	
	Rango		58.66	
	Rango intercuartil		25.33	
	Asimetría		-.486	.512
	Curtosis		-.213	.992

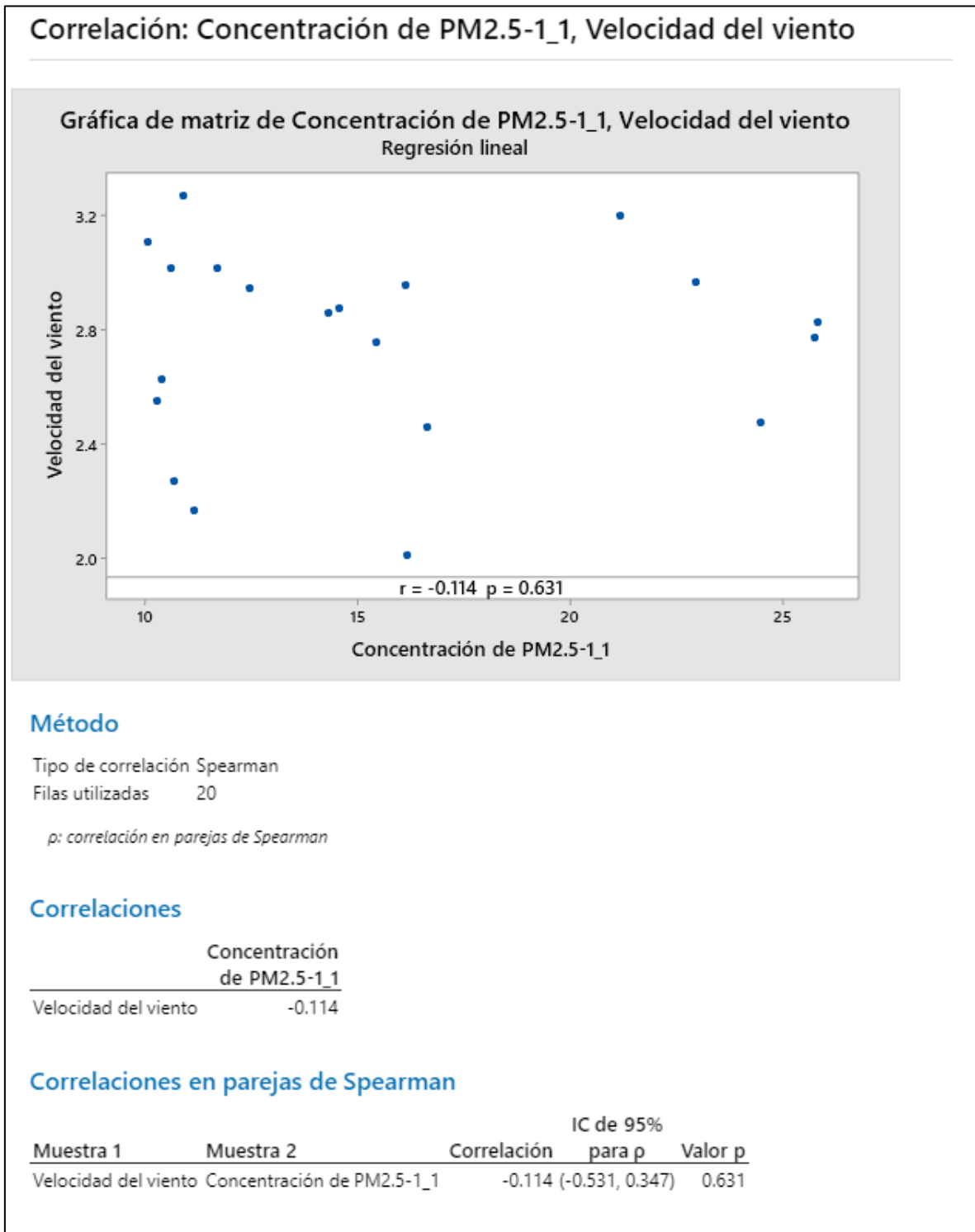
**Figura 15.** Prueba de correlación de Spearman entre las variables PM2.5 y Temperatura



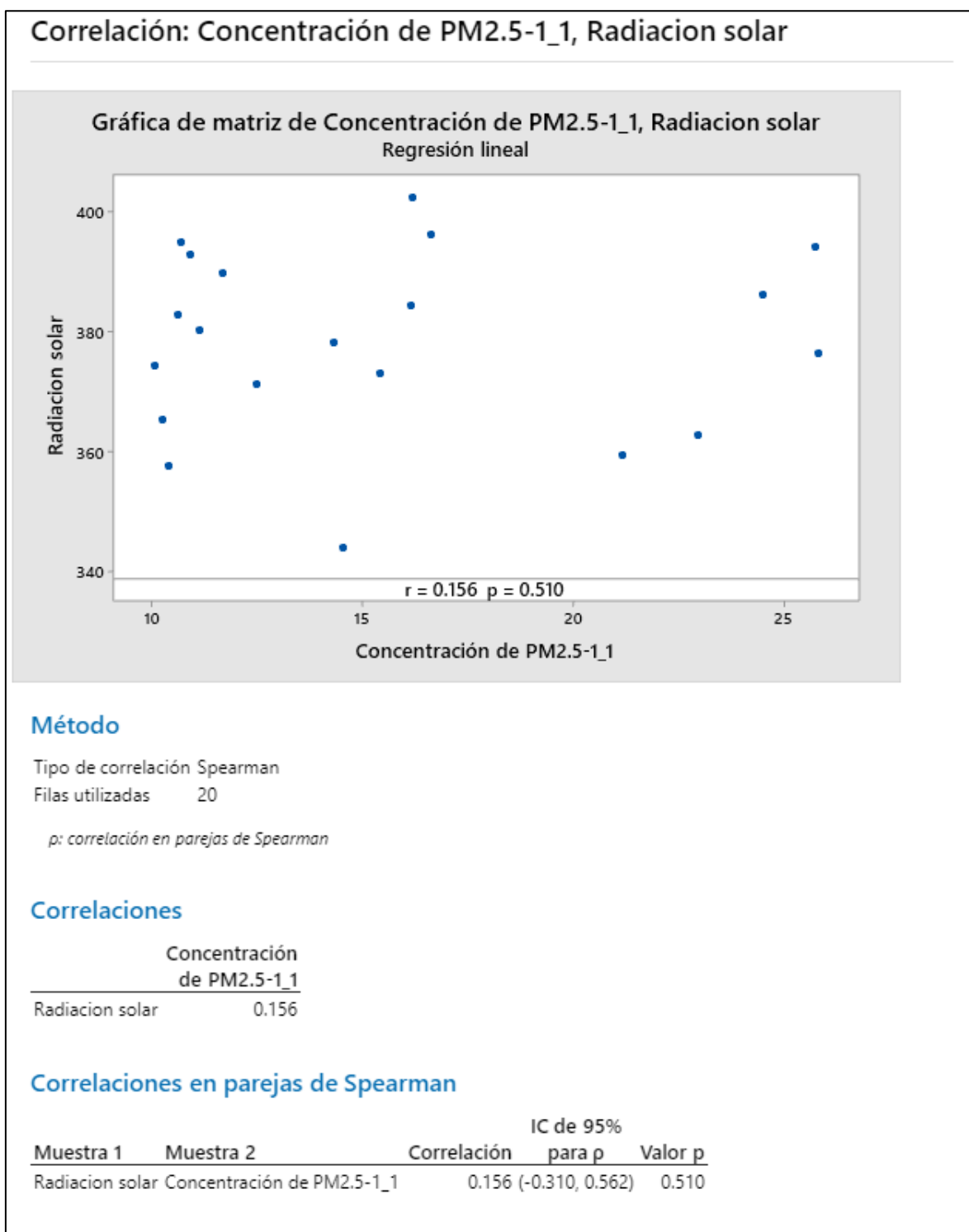
**Figura 16.** Prueba de correlación de Spearman entre las variables PM2.5 y Humedad Relativa



**Figura 17.** Prueba de correlación de Spearman entre las variables PM2.5 y Velocidad del viento



**Figura 18.** Prueba de correlación de Spearman entre las variables PM2.5 y Radiación solar



**Anexo 6. Certificado de Calibración del equipo muestreador marca Tecora**

# Certificado de Calibración

## OHLF511-201120

**1.- SOLICITANTE**

**Razón social** : RAULOAN & INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C.  
**Dirección** : P.J. EL PROGRESO MZA. N LOTE. 2 A.H. JESUS DE NAZARETH LIMA - SJL

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales ( INACAL ) y/o internacionales.

**2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**

Caudalímetro de Aire

**Marca** : TCR TECORA                      **Intervalo de medición** : 0,15 L/min a 35 L/min  
**Modelo** : BRAVO PLUS                      **Resolución** : 1 L/min  
**N° Serie** : 17/337                              **Procedencia** : USA  
**Código** : EQ-LV-TC-BRAVO PLUS 17/377

OHLab custodia, conserva y mantiene sus patrones en Áreas con condiciones ambientales controladas , realiza mediciones metrologicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrologia en el pais y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.

**3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN**

La calibración se efectuó tomando como referencia el :

- Flujo ME-009: 1° Ed., "Procedimiento Calibración de Caudalímetros de Aire" del CEM de España.
- Temperatura TH- 007 Procedimiento para la calibración de Medidores de condiciones ambientales del CEM de España.
- Barómetro: Determinación del error por medio de comparación directa.

OHLab. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**4.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN**

- \* El instrumento fue calibrado el 2020-11-20 .
- \* La calibración se realizó en el Área de Flujo y Caudal del Laboratorio OHLab

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

**5.- PATRONES DE REFERENCIA**

N° de Certificado	Equipo	Marca	Modelo	Número de Serie
LFG-205-2019 INACAL/DM	Flujómetro	MesaLabs	Defender 530+ H	154409
LH-032-2019 INACAL/DM	Termómetro	EXTECH	SD700	A.095010
LFP-244-2019 INACAL/DM	Barómetro	EXTECH	SD700	A.095010


**6.- CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura	20,5 °C	±	0,4 °C
Humedad	48,2 % HR	±	1,2 % HR
Presión	1011,3 hPa	±	0,1 hPa

Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrologia OHLAB. Certificado sin firma y sello carecen de validez. Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto.

Fecha de emisión: 2020-11-20  
Sello



  
 Juan Diego Arribasplata Huaman  
 JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGIA  
 OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY SAC

## Certificado de Calibración OHLF511-201120

### 7.- RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

#### 7.1.- Flujo

CCV (L/min)	Indicación del caudalímetro (L/min)	Error (L/min)	Incertidumbre (L/min)
15,3	15,0	-0,3	0,2
17,9	16,7	-1,2	0,2
18,6	18,4	-0,2	0,2

CCV: Caudal Convencionalmente Verdadero

Temperatura del aire: 22,2 °C a 22,6 °C

#### 7.2.- NOTA

- \* Los datos obtenidos son el resultado del promedio de 15 mediciones por punto de calibración
- \* Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- \* La periodicidad de la calibración esta en función al uso y mantenimiento del equipo de medición
- \* La incertidumbre de la medición ha sido determinada usando un factor de cobertura  $k=2$  para un nivel aproximado de confianza del 95%

(fin del documento)



## **Anexo 7. Cadenas de Custodia**

Datos del cliente

Razón Social:

Persona de contacto: **Luis Quispe Bernacola** Correo / Teléfono:

Nombre del proyecto: **Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la UNI**

Orden de servicio: **OS-2021-5300-160** Plan de Monitoreo:

Cadena de custodia: **CC-21-14084** Pág. **1** de **1**

Informe de ensayo: **JF-21-14138**

Procedencia o lugar de muestreo: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Inicio	Final	Coordenadas UTM		Condiciones Ambientales		ΔH (pulg. H <sub>2</sub> O)			PM 10 HV	PM 10 LV	PM 2.5 HV	PM 2.5 LV	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Plomo	HT	HCNM	Benceno	Hg Gaseoso	Mohos	Levaduras	Aerobios mesófilos	Observaciones			
					E	N	T °C	P(mmHg)	PTS	PM10	PM2.5																						
1	UNI-01	50231	Fecha: 27/10/21 Hora: 9:40 a.m.	Fecha: 28/10/21 Hora: 9:40 a.m.	277049	8669935									✓																		
2	UNI-01	50232	Fecha: 28/10/21 Hora: 9:50 a.m.	Fecha: 29/10/21 Hora: 9:50 a.m.	277049	8669935									✓																		
3	UNI-01	50233	Fecha: 29/10/21 Hora: 10:00 a.m.	Fecha: 30/10/21 Hora: 10:00 a.m.	277049	8669935									✓																		
4			Fecha: Hora:	Fecha: Hora:																													
5			Fecha: Hora:	Fecha: Hora:																													
6			Fecha: Hora:	Fecha: Hora:																													
7			Fecha: Hora:	Fecha: Hora:																													
8			Fecha: Hora:	Fecha: Hora:																													

Para los parámetros que involucren filtros registrar el número de filtro y para otros parámetros marcar con aspa (\*) o check (✓) según corresponda

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Leyenda:

- |   |  |
|---|--|
| PM 10 : Material particulado menor a 10 micras    | HV : High Vol ( Alto Volumen)          |
| PM 2.5 : Material particulado menor a 2.5 micras  | LV : Low Vol (Bajo Volumen)            |
| PTS : Partículas totales en suspensiones          | T : Temperatura                        |
| SO2 : Dióxido de azufre                           | P : Presión                            |
| NO2 : Dióxido de nitrógeno                        | I : Inicio                             |
| NOx : Óxidos de nitrógeno                         | F : Final                              |
| CO : Monóxido de carbono                          | T amb. : Temperatura ambiente          |
| H2S : Sulfuro de hidrógeno                        | T refr. : Temperatura de refrigeración |
| O3 : Ozono  | E : Este                               |
| HT : Hidrocarburos totales expresados como hexano | N : Norte                              |
| HNM : Hidrocarburos no metano                     | C : Conforme                           |
| Hg : Mercurio gaseoso total                       | NC : No conforme                       |

Muestreado por:  ALAB  Cliente

Condiciones de recepción:

Temperatura de conservación	T amb. (°C)	T refr. (°C)	C	NC
Filtros / Tubo hopcalita				
Sol. Absorbentes / Tubo Orbo				
Placas petri c/ medio de cultivo				
Otros:				
Código de equipo de verificación:				
Embalaje adecuado de muestras:				
Registro correcto de cadena:				

Muestreado por:	Cliente:	Recepción de muestra:
Nombre: <b>Luis Quispe Bernacola</b>	Nombre: <b>Luis Quispe Bernacola</b>	Fecha / Hora: <b>27/10/21 12:06</b>
Fecha / Hora: <b>27/10/21</b>	Fecha / Hora: <b>27/10/21</b>	
Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>	



Observaciones de recepción de muestras:





### CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AIRE

L: F-0PE-1.2.3  
R: 00  
LV: 2019-Oct-18

**Datos del cliente**

Razón Social:

Persona de contacto: Luis Quispe Bernoia Correo / Teléfono: lquispeb@uni.pe - 955937626

Nombre del proyecto: Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la UNI

Orden de servicio: 05-2021-5300-Ver0 Plan de Monitoreo:

Cadena de custodia: CC-21-14384 Pág. 1 de 1

Informe de ensayo: 16-21-14424Procedencia o lugar de muestreo: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Inicio	Final	Coordenadas UTM		Condiciones Ambientales		ΔH (pulg. H <sub>2</sub> O)			PM 10HV	PM 10 LV	PM 2.5 HV	PM 2.5 LV	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Plomo	HT	HCNM	Benceno	Hg Gasoso	Mohos	Levaduras	Aerobios mesófilos	Observaciones		
					E	N	T °C	P (mmHg)	PTS	PM10	PM2.5																					
1	UNI-01	53882	01/11/21 7:55 a.m.	02/11/21 7:56 a.m.	277049	8669935									✓																	
2	UNI-01	53883	02/11/21 8:00 a.m.	03/11/21 7:55 a.m.	277049	8669935									✓																	
3	UNI-02	53884	03/11/21 8:05 a.m.	04/11/21 8:05 a.m.	276849	8670086									✓																	
4	UNI-02	53885	04/11/21 8:10 a.m.	05/11/21 8:10 a.m.	276849	8670086									✓																	
5	UNI-02	53886	05/11/21 8:20 a.m.	06/11/21 8:20 a.m.	276849	8670086									✓																	
6																																
7																																
8																																

Para los parámetros que involucran filtros registrar el número de filtro y para otros parámetros marcar con aspa (\*) o check (✓) según corresponda

**Descripción de equipos utilizados:**

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

**Leyenda:**

PM 10 : Material particulado menor a 10 micras	HV : High Vol ( Alto Volumen)
PM 2.5 : Material particulado menor a 2.5 micras	LV : Low Vol ( Bajo Volumen)
PTS : Partículas totales en suspensiones	T : Temperatura
SO2 : Dióxido de azufre	P : Presión
NO2 : Dióxido de nitrógeno	I : Inicio
NOx : Óxidos de nitrógeno	F : Final
CO : Monóxido de carbono	T amb. : Temperatura ambiente
H2S : Sulfuro de hidrógeno	T refr. : Temperatura de refrigeración
O3 : Ozono	E : Este
HT : Hidrocarburos totales expresados como hexano	N : Norte
HCNM : Hidrocarburos no metano	C : Conforme
Hg : Mercurio gaseoso total	NC : No conforme

	Muestreado por:	Cliente:
Nombre:	<u>LUIS QUISPE BERNOIA</u>	<u>LUIS QUISPE BERNOIA</u>
Fecha / Hora:	<u>01/11/21</u>	<u>01/11/21</u>
Firma:	<u>[Firma]</u>	<u>[Firma]</u>

Muestreado por:  ALAB  Cliente**Condiciones de recepción:**

Temperatura de conservación	T amb. (°C)	T refr. (°C)	C	NC
Filtros / Tubo hopcalita				
Sol. Absorbentes / Tubo Orbo				
Placas petri / medio de cultivo				
Otros:				
Código de equipo de verificación:				
Embalaje adecuado de muestras:				
Registro correcto de cadena:				

**Observaciones de recepción de muestras:**





CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AIRE

L: F-0PE-1.2.3
R.: 00
LV.: 2019-Oct-18

Datos del cliente
Razón Social:
Persona de contacto: LUIS QUISPE BERNAOLA
Nombre del proyecto: Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la UNI

Orden de servicio: OS-2021-5300-VerO
Plan de Monitoreo:
Cadena de custodia: CC-21-15226
Informe de ensayo: IE-21-15268
Procedencia o lugar de muestreo: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Main data table with columns: Item, Punto de muestreo / Estación, Código de laboratorio, Inicio, Final, Coordenadas UTM (E, N), Condiciones Ambientales (T °C, P (mmHg)), ΔH (pulg. H2O) (PTS, PM10, PM2.5), and Observaciones. Includes rows 1-8 with sampling dates and times.

Para los parámetros que involucran filtros registrar el número de filtro y para otros parámetros marcar con aspa (\*) o check (✓) según corresponda

Descripción de equipos utilizados: Table with columns Item, Código interno del equipo, Nombre de equipo. Rows 1-8 are empty.

Legenda: List of abbreviations and their meanings. Includes PM 10, PM 2.5, PTS, SO2, NO2, NOx, CO, H2S, O3, HT, HNM, Hg, HV, LV, T, P, I, F, T amb., T refr., E, N, C, NC.

Muestreado por: Client: Table with fields for Name, Date/Time, and Signature. Includes handwritten entries for Luis Quispe Bernaola.



Muestreado por: ALAB [X] Cliente
Condiciones de recepción: Table with columns Temperatura de conservación, T amb. (°C), T refr. (°C), C, NC. Includes fields for Filtros, Sol. Absorbentes, Placas petri, etc.

Observaciones de recepción de muestras:



Datos del cliente

Razón Social:  
 Persona de contacto: LUIS QUISPE BERNAOLA Correo/Teléfono: lquispeb@uni.pe 955937626  
 Nombre del proyecto: Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM2.5 en el campus de la UNI

Orden de servicio: 05-2021-5300-Ver0 Plan de Monitoreo:

Cadena de custodia: Pág. 1 de 1

Informe de ensayo:

Procedencia o lugar de muestreo: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Inicio	Final	Coordenadas UTM		Condiciones Ambientales		ΔH (pulg. H <sub>2</sub> O)			PM 10HV	PM 10 LV	PM 2.5 HV	PM 2.5 LV	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO	Plomo	HT	HCNM	Benceno	Hg Gaseoso	Mohos	Leyaduras	Aerobios mesófilos	Observaciones	
					E	N	T °C	P(mmHg)	PTS	PM10	PM2.5																				
1	UNI-04		Fecha: 17/11/21 Hora: 8:17am	Fecha: 18/11/21 Hora: 8:19am	276677	8671138								✓																	
2	UNI-04		Fecha: 18/11/21 Hora: 8:21am	Fecha: 19/11/21 Hora: 8:23am	276677	8671138								✓																	
3	UNI-04		Fecha: 19/11/21 Hora: 8:24am	Fecha: 20/11/21 Hora: 8:25am	276677	8671138								✓																	
4	UNI-04		Fecha: 22/11/21 Hora: 8:00am	Fecha: 23/11/21 Hora: 8:00am	276677	8671138								✓																	
5	UNI-04		Fecha: 23/11/21 Hora: 8:05am	Fecha: 24/11/21 Hora: 8:06am	276677	8671138								✓																	
6			Fecha: / / Hora: / /	Fecha: / / Hora: / /																											
7			Fecha: / / Hora: / /	Fecha: / / Hora: / /																											
8			Fecha: / / Hora: / /	Fecha: / / Hora: / /																											

Para los parámetros que involucran filtros registrar el número de filtro y para otros parámetros marcar con aspa (\*) o check (✓) según corresponda

Descripción de equipos utilizados:

Item	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Leyenda:

PM 10 : Material particulado menor a 10 micras	HV : High Vol (Alto Volumen)
PM 2.5 : Material particulado menor a 2.5 micras	LV : Low Vol (Bajo Volumen)
PTS : Partículas totales en suspensiones	T : Temperatura
SO2 : Dióxido de azufre	P : Presión
NO2 : Dióxido de nitrógeno	I : Inicio
NOx : Óxidos de nitrógeno	F : Final
CO : Monóxido de carbono	T amb. : Temperatura ambiente
H2S : Sulfuro de hidrógeno	T refr. : Temperatura de refrigeración
O3 : Ozono	E : Este
HT : Hidrocarburos totales expresados como hexano	N : Norte
HCNM : Hidrocarburos no melano	C : Conforme
Hg : Mercurio gaseoso total	NC : No conforme

Muestreado por:	Cliente:	Receptor de muestra:
Nombre: <u>LUIS QUISPE BERNAOLA</u>	<u>LUIS QUISPE BERNAOLA</u>	<u>LUIS QUISPE BERNAOLA</u>
Fecha / Hora: <u>17/11/21</u>	<u>17/11/21</u>	<u>17/11/21</u>
Firma: <u>[Firma]</u>	<u>[Firma]</u>	<u>[Firma]</u>



Muestreado por:  ALAB  Cliente

Condiciones de recepción:				
Temperatura de conservación	T amb. (°C)	T refr. (°C)	C	NC
Filtros / Tubo hopcalita				
Sol. Absorbentes / Tubo Orbo				
Placas petri c/ medio de cultivo				
Otros:				
Código de equipo de verificación:				
Embalaje adecuado de muestras:				
Registro correcto de cadena:				

Observaciones de recepción de muestras:

## **Anexo 8. Informes de Ensayo**

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14138

### I. DATOS DEL SERVICIO


1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
2.-DIRECCIÓN	: AV. TUPAC AMARU NRO. 210 (KM. 4.5 TUPAC AMARU) LIMA - LIMA - RIMAC
3.-PROYECTO	: DETERMINACION DEL NIVEL DE CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PM2.5 EN EL CAMPUS DE LA UNI
4.-PROCEDENCIA	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
5.-SOLICITANTE	: LUIS MIGUEL QUISPE BERNAOLA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005300-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-11-10

### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 3
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-10-30
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-10-30 al 2021-11-10



**Gaby Moreno Muñoz**  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 191207



**Marco Valencia Huerta**  
Ingeniero Químico  
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14138

### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	EPA CFR 40, Part 50, Appendix L, 2011 (Validado-Modificado). 2015	Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM2.5 in the Atmosphere.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14138****IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-50231	M-21-50232	M-21-50233			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	UNI-01	UNI-01.	UNI-01...			
COORDENADAS:	E:0277049	E:0277049	E:0277049			
UTM WGS 84:	N:8669935	N:8669935	N:8669935			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	27-10-2021 09:40	28-10-2021 09:50	29-10-2021 10:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	28-10-2021 09:40	29-10-2021 09:50	30-10-2021 10:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	mg	NA	0,001	0,349	0,280	0,261

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

**"FIN DE DOCUMENTO"**

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14424

### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
2.-DIRECCIÓN	: AV. TUPAC AMARU NRO. 210 (KM. 4.5 TUPAC AMARU) LIMA - LIMA - RIMAC
3.-PROYECTO	: DETERMINACION DEL NIVEL DE CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PM2.5 EN EL CAMPUS DE LA UNI
4.-PROCEDENCIA	: UNI-01, UNI-02, UNI-03, UNI-04
5.-SOLICITANTE	: LUIS MIGUEL QUISPE BERNAOLA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005300-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-11-15

### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 5
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-11-06
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-11-06 al 2021-11-15



**Gaby Moreno Muñoz**  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 191207



**Marco Valencia Huerta**  
Ingeniero Químico  
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14424

### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	EPA CFR 40, Part 50, Appendix L, 2011 (Validado-Modificado). 2015	Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM2.5 in the Atmosphere.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14424**

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-53882	M-21-53883	M-21-53884	M-21-53885			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	UNI-01(01/11)	UNI-01(02/11)	UNI-02(03/11)	UNI-02(04/11)			
COORDENADAS:	E:0277049	E:0277049	E:0277049	E:0277049			
UTM WGS 84:	N:8669935	N:8669935	N:8669935	N:8669935			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	01-11-2021 07:55	02-11-2021 08:00	03-11-2021 08:05	04-11-2021 08:10			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	02-11-2021 07:56	03-11-2021 07:55	04-11-2021 08:05	05-11-2021 08:10			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	mg	NA	0,001	0,620	0,618	0,588	0,508

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14424**

ITEM				5
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-53886
CÓDIGO DEL CLIENTE:				UNI-02(05/11)
COORDENADAS:				E:0277049
UTM WGS 84:				N:8669935
PRODUCTO:				AIRE(SÓLO ANÁLISIS)
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				05-11-2021 08:20
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				06-11-2021 08:20
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	mg	NA	0,001	0,551

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

**"FIN DE DOCUMENTO"**

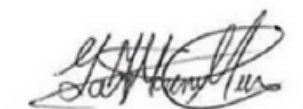
## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15268

### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
2.-DIRECCIÓN	: AV. TUPAC AMARU NRO. 210 (KM. 4.5 TUPAC AMARU) LIMA - LIMA - RIMAC
3.-PROYECTO	: DETERMINACION DEL NIVEL DE CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PM2.5 EN EL CAMPUS DE LA UNI
4.-PROCEDENCIA	: UNI-01, UNI-02, UNI-03, UNI-04
5.-SOLICITANTE	: LUIS MIGUEL QUISPE BERNAOLA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005300-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-12-01

### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 7
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-11-20
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-11-20 al 2021-12-01



**Gaby Moreno Muñoz**  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 191207



**Marco Valencia Huerta**  
Ingeniero Químico  
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15268

### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	EPA CFR 40, Part 50, Appendix L, 2011 (Validado-Modificado). 2015	Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM2.5 in the Atmosphere.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15268**

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-57564	M-21-57565	M-21-57566	M-21-57567			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	UNI-02(08/11)	UNI-02(09/11)	UNI-03(10/11)	UNI-03(11/11)			
COORDENADAS:	E:0276849	E:0276849	E:0276747	E:0276747			
UTM WGS 84:	N:8670086	N:8670086	N:8670623	N:8670623			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	08-11-2021 08:00	09-11-2021 08:05	10-11-2021 08:20	11-11-2021 09:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	09-11-2021 08:02	10-11-2021 08:10	11-11-2021 08:20	12-11-2021 09:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	mg	NA	0,001	0,256	0,241	0,246	0,299

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15268**

ITEM	5	6	7			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-57568	M-21-57569	M-21-57570			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	UNI-03(12/11)	UNI-03(15/11)	UNI-03(16/11)			
COORDENADAS:	E:0276747	E:0276747	E:0276747			
UTM WGS 84:	N:8670623	N:8670623	N:8670623			
PRODUCTO:	AIRE(SóLO ANÁLISIS)					
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA					
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	12-11-2021 09:00	15-11-2021 08:00	16-11-2021 08:05			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	13-11-2021 09:00	16-11-2022 08:00	17-11-2021 08:06			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	mg	NA	0,001	0,254	0,249	0,267

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

**"FIN DE DOCUMENTO"**

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15445

### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
2.-DIRECCIÓN	: AV. TUPAC AMARU NRO. 210 (KM. 4.5 TUPAC AMARU) LIMA - LIMA - RIMAC
3.-PROYECTO	: DETERMINACION DEL NIVEL DE CONTAMINACION ATMOSFERICA POR PM2.5 EN EL CAMPUS DE LA UNI
4.-PROCEDENCIA	: UNI-01, UNI-02, UNI-03, UNI-04
5.-SOLICITANTE	: LUIS MIGUEL QUISPE BERNAOLA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005300-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-12-01

### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Aire(Sólo Análisis)
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 5
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-11-24
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-11-24 al 2021-12-01



**Gaby Moreno Muñoz**  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 191207



**Marco Valencia Huerta**  
Ingeniero Químico  
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15445

### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	EPA CFR 40, Part 50, Appendix L, 2011 (Validado-Modificado). 2015	Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM2.5 in the Atmosphere.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15445**

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3	4			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-58366	M-21-58367	M-21-58368	M-21-58369			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	UNI-04(17/11)	UNI-04(18/11)	UNI-04(19/11)	UNI-04(22/11)			
COORDENADAS:	E:0276677	E:0276677	E:0276677	E:0276677			
UTM WGS 84:	N:8671138	N:8671138	N:8671138	N:8671138			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	17-11-2021 08:17	18-11-2021 08:21	19-11-2021 08:24	22-11-2021 08:00			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	18-11-2021 08:19	19-11-2021 08:23	20-11-2021 08:25	23-11-2021 08:00			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	mg	NA	0,001	0,370	0,343	0,399	0,388

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15445**

ITEM	5			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-58370			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	UNI-04(23/11)			
COORDENADAS:	E:0276677			
UTM WGS 84:	N:8671138			
PRODUCTO:	AIRE(SÓLO ANÁLISIS)			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):	23-11-2021 08:05			
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):	24-11-2021 08:06			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Determinación de peso. Filtros PM2.5 Bajo volumen (*)	mg	NA	0,001	0,387

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

**"FIN DE DOCUMENTO"**