

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Análisis de la variación del grado de concentración de
contaminantes atmosféricos a través del sistema de
aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) a diferentes
alturas en el distrito de Huancayo - 2022**

Pavel Angel Laura Curasma
Jhoel Quilca Gabriel

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Felipe Nestor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Steve Dann Camargo Hinostraza
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 1 de agosto de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL GRADO DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS A TRAVÉS DEL SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS) A DIFERENTES ALTURAS EN EL DISTRITO DE HUANCAYO - 2022**", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) **PAVEL ANGEL LAURA CURASMA – JHOEL QUILCA GABRIEL**, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental**; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 11) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **PAVEL ANGEL LAURA CURASMA**, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. **76452128**, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental** de la Facultad de **Ingeniería** la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL GRADO DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS A TRAVÉS DEL SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS) A DIFERENTES ALTURAS EN EL DISTRITO DE HUANCAYO - 2022**", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

18 de Julio de 2023.



PAVEL ANGEL LAURA CURASMA

DNI. No. 76452128

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, **JHOEL QUILCA GABRIEL**, identificado con Documento Nacional de Identidad No. **76123821**, de la E.A.P. de **Ingeniería Ambiental** de la Facultad de **Ingeniería** la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: **"ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL GRADO DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS A TRAVÉS DEL SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS) A DIFERENTES ALTURAS EN EL DISTRITO DE HUANCAYO - 2022"**, es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

18 de Julio de 2023.



JHOEL QUILCA GABRIEL

DNI. No. 76123821

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL GRADO DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS A TRAVÉS DEL SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS) A DIFERENTES ALTURAS EN EL DISTRITO DE HUANCAYO - 2022

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

19%

INTERNET SOURCES

7%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	documentop.com Internet Source	1%
2	repositorio.unsm.edu.pe Internet Source	1%
3	repositorio.uap.edu.pe Internet Source	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	1%
6	repositorio.upagu.edu.pe Internet Source	1%
7	repositorio.unc.edu.pe Internet Source	1%
8	Submitted to Universidad Rey Juan Carlos Student Paper	1%

9	docplayer.es Internet Source	<1 %
10	faces.unah.edu.hn Internet Source	<1 %
11	renati.sunedu.gob.pe Internet Source	<1 %
12	siar.regionsanmartin.gob.pe Internet Source	<1 %
13	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Student Paper	<1 %
14	cybertesis.unmsm.edu.pe Internet Source	<1 %
15	repositorio.unh.edu.pe Internet Source	<1 %
16	repositorio.upsc.edu.pe Internet Source	<1 %
17	repositorio.utc.edu.ec Internet Source	<1 %
18	1library.co Internet Source	<1 %
19	repositorio.unal.edu.co Internet Source	<1 %
20	repositorio.unajma.edu.pe	

Internet Source

<1 %

21

documents.mx

Internet Source

<1 %

22

repositorio.upn.edu.pe

Internet Source

<1 %

23

doku.pub

Internet Source

<1 %

24

repositorio.untels.edu.pe

Internet Source

<1 %

25

apirepositorio.unh.edu.pe

Internet Source

<1 %

26

tesis.ucsm.edu.pe

Internet Source

<1 %

27

repository.udistrital.edu.co

Internet Source

<1 %

28

Submitted to Gitam University

Student Paper

<1 %

29

bdigital.unal.edu.co

Internet Source

<1 %

30

dspace.esPOCH.edu.ec

Internet Source

<1 %

31

repositorio.unaj.edu.pe

Internet Source

<1 %

32

KLOHN CRIPPEN BERGER S.A.. "Quinto ITS de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla para el Proyecto Quinto Recrecimiento del Depósito de Lodos Neutros-IGA0007120", R.D. N° 0182-2019-SENACE-PE/DEAR, 2020

Publication

<1 %

33

repositorio.upeu.edu.pe

Internet Source

<1 %

34

dokumen.pub

Internet Source

<1 %

35

calentamientoglobalnkom.blogspot.com

Internet Source

<1 %

36

repositorio.ulasamericas.edu.pe

Internet Source

<1 %

37

www.scielosp.org

Internet Source

<1 %

38

www.coursehero.com

Internet Source

<1 %

39

CESEL S A. "Actualización e Integración del PMA del EIA de las Canteras, Planta Industrial de Fabricación de Cemento y Cal y la Subestación de Transformación 60/22,9 kV-IGA0017667", R.D. N° 272-2021-PRODUCE/DGAAMI, 2022

Publication

<1 %

40	Submitted to Universidad Jose Carlos Mariategui Student Paper	<1 %
41	www.minem.gob.pe Internet Source	<1 %
42	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Student Paper	<1 %
43	www.xataka.com Internet Source	<1 %
44	repositorio.uncp.edu.pe Internet Source	<1 %
45	ri.ues.edu.sv Internet Source	<1 %
46	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Student Paper	<1 %
47	repositorio.une.edu.pe Internet Source	<1 %
48	tesis.unsm.edu.pe Internet Source	<1 %
49	www.mdpi.com Internet Source	<1 %
50	GEA CONSULTING PERU S.A.C.. "DAA de la Planta de Elaboración de Productos Lácteos-	<1 %

IGA0015918", R.D. N° 867-2019-
PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2022

Publication

51	Submitted to Universidad ESAN -- Escuela de Administración de Negocios para Graduados Student Paper	<1 %
52	portal.amelica.org Internet Source	<1 %
53	www.informaticaeditorial.cnae.com Internet Source	<1 %
54	es.scribd.com Internet Source	<1 %
55	nextechsolutionsltd.com Internet Source	<1 %
56	repositorio.uct.edu.pe Internet Source	<1 %
57	www.scielo.org.co Internet Source	<1 %
58	orcid.org Internet Source	<1 %
59	www.aerial-insights.co Internet Source	<1 %
60	CONSULTORIA CARRANZA E.I.R.L.. "DIA del Proyecto de Instalación de Una Planta de Elaboración y Preparación de Concreto	<1 %

Premezclado-IGA0001723", R.D. N° 261-2016-
PRODUCE/DVMYPE-I/DGGAM, 2020

Publication

61	Submitted to Universidad Católica de Santa María Student Paper	<1 %
62	repositorio.unam.edu.pe Internet Source	<1 %
63	archive.org Internet Source	<1 %
64	core.ac.uk Internet Source	<1 %
65	qdoc.tips Internet Source	<1 %
66	www.minam.gob.pe Internet Source	<1 %
67	www.scielo.org.bo Internet Source	<1 %
68	Submitted to Universidad Santo Tomas Student Paper	<1 %
69	repositorio.unapiquitos.edu.pe Internet Source	<1 %
70	CESEL S.A.. "EIA de la Represa Angostura y Gestión Ambiental a Nivel Definitivo-	<1 %

IGA0013765", R.D.G. N° 049-10-AG-DVM-DGAA, 2021

Publication

71	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Student Paper	<1 %
72	red.uao.edu.co Internet Source	<1 %
73	repositorio.upsjb.edu.pe Internet Source	<1 %
74	repositorio.upt.edu.pe Internet Source	<1 %
75	www.eumed.net Internet Source	<1 %
76	Submitted to Universidad Alas Peruanas Student Paper	<1 %
77	repositorio.upci.edu.pe Internet Source	<1 %
78	unam.edu.pe Internet Source	<1 %
79	Submitted to Universidad de San Buenaventura Student Paper	<1 %
80	repositorio.uisek.edu.ec Internet Source	<1 %

81	www.scribd.com Internet Source	<1 %
82	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Student Paper	<1 %
83	repositorio.uaustral.edu.pe Internet Source	<1 %
84	www.dspace.uce.edu.ec Internet Source	<1 %
85	Submitted to Universidad de Costa Rica Student Paper	<1 %
86	dspace.ucuenca.edu.ec Internet Source	<1 %
87	hdl.handle.net Internet Source	<1 %
88	legislacion.vlex.com.mx Internet Source	<1 %
89	ri.uacj.mx Internet Source	<1 %
90	10mejores.top Internet Source	<1 %
91	Submitted to Universidad Catolica Sedes Sapientiae Student Paper	<1 %
92	revistas.sena.edu.co	

Internet Source

<1 %

93

www.infobae.com

Internet Source

<1 %

94

www.psiquiatico.cl

Internet Source

<1 %

95

www.sc3.uis.edu.co

Internet Source

<1 %

96

CESEL S A. "ITS de las Líneas de Transmisión Chilca – Zapallal a 500 kV y Chilca – Planicie – Zapallal a 220 kV.-IGA0013503", R.D. N° 0114-2021-MINEM/DGAAE , 2021

Publication

<1 %

97

moam.info

Internet Source

<1 %

98

repositorio.autonoma.edu.pe

Internet Source

<1 %

99

repositorio.uancv.edu.pe

Internet Source

<1 %

100

repositorio.uandina.edu.pe

Internet Source

<1 %

101

repositorio.unac.edu.pe

Internet Source

<1 %

102

repositorio.unasam.edu.pe

Internet Source

<1 %

103

www.repositorio.uancv.edu.pe

Internet Source

<1 %

104

www.smhi.se

Internet Source

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 11 words

Exclude bibliography On

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, queremos agradecer a nuestro tutor, Steve Dann Camargo Hinostriza, quien nos guio través de cada etapa de este proyecto con sus conocimientos y apoyo para lograr el resultado deseado.

Del mismo modo también se agradece a la Universidad Continental por ofrecernos el soporte necesario para llevar al éxito este trabajo de investigación, así como también herramientas que fueron indispensables para llevar a cabo el proceso de investigación, que sin tal apoyo no se hubiera podido haber logrado estos resultados.

Finalmente, me gustaría agradecer a nuestras familias y amigos por apoyarnos en todo momento, alentando el espíritu a pesar de las muchas dificultades. En especial mencionar a nuestros padres, quienes siempre estuvieron ahí para brindarnos palabras de apoyo y abrazos reconfortantes.

Gracias a todos.

DEDICATORIA

El presente esfuerzo concretado en el presente trabajo de investigación es pues dedicado a Dios quien apareció en nuestras vidas como guía, bendijo y nos dio fuerzas para continuar con nuestras metas sin desfallecer. Seguidamente también es dedicado a nuestros padres quienes desde temprana edad hasta la vida universitaria ofrecieron su apoyo incondicional, amor y confianza a lo largo de toda nuestra carrera.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	18
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	18
1.1.1 Problema general.....	20
1.1.2 Problemas específicos.....	20
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo general.....	21
1.2.2 Objetivos específicos.....	21
1.3 Justificación e importancia.....	21
1.4 Hipótesis.....	22
1.4.1 Hipótesis general.....	22
1.4.2 Hipótesis específicas.....	23
1.4.2.1 Hipótesis específica 01.....	23
1.4.2.2 Hipótesis específica 02.....	23
1.4.2.3 Hipótesis específica 03.....	23
1.5 Operacionalización de las variables.....	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	25

2.1 Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1 Antecedentes internacionales	25
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	27
2.1.3 Antecedentes locales.....	31
2.2 Bases teóricas	32
2.2.1 Atmósfera	32
2.2.2. Contaminación atmosférica	33
2.2.3. Origen de los contaminantes.....	33
2.2.4 Fuentes biogénicas.....	33
2.2.5 Fuentes antropogénicas.....	33
2.2.6 Clasificación de contaminantes	34
2.2.7 Contaminantes primarios.....	34
2.2.8. Contaminantes secundarios	34
2.2.9. Material particulado (MP)	34
2.2.10. Partículas de fuentes biogénica o naturales	35
2.2.11. Partículas de fuentes antropogénicas.....	35
2.2.12. Material particulado (PM ₁₀).....	35
2.2.13. Material particulado (PM _{2.5}).....	35
2.2.14. Inversión térmica	36
2.2.15. Efectos de los contaminantes atmosféricos a la salud y al medio ambiente	36
2.2.15.1. Efectos del material particulado en la salud	36
2.2.15.2. Efectos del material particulado en el medio ambiente.....	37
2.2.16. Métodos de monitoreo de la calidad del aire según su tecnología	37
2.2.17. Densidad o número de puntos de muestreo requerido.....	37
2.2.18. Criterios en los sitios a muestrear.....	39
2.2.19. Sistema de aeronaves tripuladas a distancia (RPAS)	39

2.2.20. Tipos de sistemas de aeronaves tripuladas a distancia	40
2.2.20.1. Tipo multirrotores	40
2.2.20.2. Tipo de ala fija.....	40
2.2.21. Bases legales.....	40
2.2.21.1 Estándares de calidad ambiental (ECA) para aire MINAM	40
2.3 Definición de términos básicos.....	41
2.3.1 Contaminante.....	41
2.3.2 Sensores fotoeléctricos	41
2.3.3 Antropogénicas	41
2.3.4. Medio ambiente	41
2.3.5. Monitorear	41
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	42
3.1. Método y alcance de la investigación.....	42
3.1.1. Método.....	42
3.1.1.1. Método general	42
3.1.1.2. Método específico.....	42
3.1.2. Alcance de la investigación	42
3.1.2.1. Tipo de investigación.....	42
3.1.2.2. Nivel de investigación	42
3.2. Diseño de la investigación.....	42
3.3. Población y muestra	43
3.3.1. Población	43
3.3.2. Muestra	45
3.3.2.1. Cantidad de mediciones.....	46
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	48
3.4.1. Técnicas e instrumentos.....	48

3.4.1.1. Técnica.....	48
3.4.1.2 Instrumentos	48
3.4.2. Materiales	48
3.4.3. Procedimientos	52
3.4.3.1. Etapa preliminar	52
3.4.3.2. Etapa de campo.....	55
3.4.3.3. Etapa de gabinete.....	61
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1 Presentación de resultados	66
4.1.1. Variación de la concentración del material particulado (PM _{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022	66
4.1.1.1. Estadística descriptiva de PM _{2.5} ug/m ³	66
4.1.1.2. Resultado de variación de concentración de PM _{2.5} por altura	67
4.1.2. Variación de la concentración del material particulado (PM ₁₀), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022	68
4.1.2.1. Estadística descriptiva de PM ₁₀ ug/m ³	68
4.1.2.2. Resultado de variación de concentración de PM ₁₀ por altura.....	69
4.1.3. Variación de la concentración del material particulado (PM _{2.5} y PM ₁₀) en zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo – 2022	70
4.1.3.1. Resultado de variación de concentración de PM _{2.5} por zona.....	70
4.1.3.2. Resultado de variación de concentración de PM ₁₀ por zona.....	71
4.2. Prueba de hipótesis	72
4.2.1 Prueba de normalidad y homogeneidad de hipótesis 1.....	72
4.2.1.1. Prueba de normalidad de hipótesis 1	72
4.2.1.2. Prueba de homogeneidad de hipótesis 1	73

4.2.2. Prueba de normalidad y homogeneidad de hipótesis 2	74
4.2.2.1. Prueba de normalidad de hipótesis 2	74
4.2.2.2. Prueba de homogeneidad de hipótesis 2	74
4.2.3. Prueba de normalidad y homogeneidad de hipótesis 3	75
4.2.3.1. Prueba de normalidad de hipótesis 3	75
4.2.3.2. Prueba de homogeneidad de hipótesis 3	76
4.3. Contrastación de prueba de hipótesis	77
4.3.1. Contrastación de hipótesis específica 1	77
4.3.2. Contrastación de hipótesis específica 2	79
4.3.3. Contrastación de hipótesis específica 3	80
4.3.4. Contrastación de hipótesis general	82
4.4. Discusión de resultados	83
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:	Operacionalización de las variables.....	24
Tabla N° 2:	Promedio de estaciones de muestreo por contaminantes.....	38
Tabla N° 3:	Criterio de muestreo.....	39
Tabla N° 4:	Estándares de calidad ambiental del aire	40
Tabla N° 5:	Selección de cantidad de estaciones o puntos de monitoreo.....	45
Tabla N° 6:	Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad de aire, según criterio poblacional	46
Tabla N° 7:	Cantidad de veces de medición por zona y altura.....	46
Tabla N° 8:	Criterio de muestreo.....	54
Tabla N° 9:	Frecuencia de medición	55
Tabla N° 10:	Resultados de estadística descriptiva de $PM_{2.5}$ ug/m^3	66
Tabla N° 11:	Concentración media de material particulado $PM_{2.5}$ ug/m^3	67
Tabla N° 12:	Resultados de estadística descriptiva de PM_{10} ug/m^3	68
Tabla N° 13:	Concentración media de material particulado PM_{10} ug/m^3	69
Tabla N° 14:	Concentración media de $PM_{2.5}$ en zona rural y urbana.....	70
Tabla N° 15:	Concentración media de PM_{10} en zona rural y urbana	71
Tabla N° 16:	Pruebas de normalidad de $PM_{2.5}$ ug/m^3 por altura.....	73
Tabla N° 17:	Prueba de homogeneidad de $PM_{2.5}$ ug/m^3 por altura	73
Tabla N° 18:	Prueba de Normalidad de PM_{10} ug/m^3 por altura	74
Tabla N° 19:	Prueba de homogeneidad de PM_{10} ug/m^3 por altura.....	74
Tabla N° 20:	Prueba de normalidad de PM_{10} y $PM_{2.5}$ ug/m^3 por zona.....	75
Tabla N° 21:	Prueba de homogeneidad de $PM_{2.5}$ y PM_{10} ug/m^3 por zona.....	76
Tabla N° 22:	Nivel de correlación de Spearman (55)	78
Tabla N° 23:	Prueba de Rho de Spearman para $PM_{2.5}$ por altura.....	79
Tabla N° 24:	Prueba de Rho de Spearman para PM_{10} por altura	80

Tabla N° 25: Prueba de Rho de Spearman para PM₁₀ y PM_{2.5} por zona 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño de investigación	43
Figura 2: Mapa de ubicación y localización	44
Figura 3: Medidor PurpleAir	49
Figura 4: Dron DJI MAVIC AIR 2 S	50
Figura 5: Tablet o celular	51
Figura 6: GPS GARMIN	51
Figura 7: Batería externa de 5000 mAh	52
Figura 8: Selección de área de vuelo libre de obstáculos	56
Figura 9: Lectura del medidor en el celular	57
Figura 10: Preparación del dron con sus componentes	58
Figura 11: Acoplamiento del medidor y batería sobre el lomo del dron	59
Figura 12: Medición de contaminantes atmosféricos.....	59
Figura 13: Lectura de datos en celular y cuaderno de registro	60
Figura 14: Repetición de medición	61
Figura 15: Transcripción de datos de campo a libro de Excel	62
Figura 16: Elaboración de gráficos de barras en Excel.....	63
Figura 17: Análisis estadístico en IBM SPSS statistics25	64
Figura 18: Pruebas de normalidad y homogeneidad en IBM SPSS statistics25	65
Figura 19: Comprobación de hipótesis en IBM SPSS statistics25	65
Figura 20: Variación de concentración de PM _{2.5} ug/m ³ por altura.....	68
Figura 21: Variación de concentración de PM ₁₀ ug/m ³ por altura	70
Figura 22: Variación de concentración de PM _{2.5} ug/m ³ por zona	71
Figura 23: Variación de concentración de PM ₁₀ ug/m ³ por zona.....	72

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	Matriz de consistencia -----	95
ANEXO 2:	Datos de medición de PM _{2.5} ug/m ³ -----	97
ANEXO 3:	Datos de medición de PM ₁₀ ug/m ³ -----	103
ANEXO 4:	Ensamblaje de medidor al dron -----	109
ANEXO 5:	Medición de zona urbana (L1) -----	109
ANEXO 6:	Medición de zona urbana (L2) -----	110
ANEXO 7:	Medición de zona rural (L3) -----	110
ANEXO 8:	Registro de datos la zona urbana (L2)-----	111
ANEXO 9:	Levantamiento del vuelo en zona urbana (L2) -----	111
ANEXO 10:	Levantamiento de vuelo del dron en zona rural (L3)-----	112
ANEXO 11:	Registro de datos en zona rural (L3)-----	112
ANEXO 12:	Levantamiento de vuelo de dron en zona urbana (L1) -----	113
ANEXO 13:	Componentes para la medición de material particulado.-----	113
ANEXO 14:	Sensor utilizado en medición de material particulado-----	114
ANEXO 15:	Acoplamiento de los sensores y batería externa con el dron -----	114
ANEXO 16:	Medición de PM _{2.5} y PM ₁₀ , horario mañana -----	115
ANEXO 17:	Medición de PM _{2.5} y PM ₁₀ , horario tarde-----	115
ANEXO 18:	Medición de PM _{2.5} y PM ₁₀ , horario noche -----	115
ANEXO 19:	Mapa de ubicación y localización-----	116

RESUMEN

El comportamiento de la atmósfera es importante, ya que ahí es donde se desarrollan los principales contaminantes nocivos para la salud humana. A partir de lo mencionado se plasmó como objetivo esencial del presente trabajo de investigación, analizar la variación del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.

Dentro del método usado encontramos como método general el científico, así del mismo modo se usó como método específico el hipotético-deductivo, así también el tipo de investigación es básica, así mismo el nivel de investigación es correlacional y el diseño de la investigación fue de tipo no experimental transeccional correlacional.

En ese mismo sentido, la población se conformó por la atmósfera del distrito de Huancayo el cual está compuesta por las zona rural y urbana. Mientras que el tipo de muestreo fue el no probabilístico donde la muestra está conformada por la zona urbana representado por mediciones en la Plaza de la Constitución (L1) y la intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) y zona rural correspondiente al centro poblado de Chamiseria (L3) pertenecientes al distrito de Huancayo. La técnica utilizada fue la observación y el instrumento utilizado fue el registro de datos.

Donde la conclusión final fue que no existe variación en la concentración de contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$ ug/m³ y PM_{10} ug/m³) con respecto a las alturas medidas (2.5 metros, 8 metros y 10 metros), aunque se observó una variación de $PM_{2.5}$ ug/m³ y PM_{10} ug/m³ con respecto a la zona donde fueron medidos (Zona urbana y zona rural), se observó también que el uso de aeronaves pilotadas a distancia resulta útil para el estudio de forma vertical del comportamiento de los contaminantes atmosféricos.

Palabras clave: Contaminantes atmosféricos, $PM_{2.5}$, PM_{10} , altura, zona rural, zona urbana, aeronaves pilotadas a distancia (RPAS).

ABSTRACT

The behavior of the atmosphere is important, since that is where the main pollutants that are harmful to human health develop. Based on the aforementioned, it was established as the essential objective of this research work, to analyze the variation in the degree of concentration of atmospheric pollutants, through the remotely piloted aircraft system (RPAS), at different heights, in the district of Huancayo - 2022.

Within the method used we find the scientific method as a general method, in the same way the hypothetical-deductive method was used as a specific method, as well as the type of investigation is basic, likewise the level of investigation is correlational and the design of the investigation was of non-experimental type correlational transactional.

In that same sense, the population was formed by the atmosphere of the Huancayo district, which is made up of rural and urban areas. While the type of sampling was non-probabilistic where the sample is made up of the urban area represented by measurements in the Plaza de la Constitución (L1) and the intersection of Av. San Carlos and Calmell del Solar (L2) and rural area corresponding to the populated center of Chamiseria (L3) belonging to the district of Huancayo. The technique used was observation and the instrument used was data recording.

Where the final conclusion was that there is no variation in the concentration of atmospheric pollutants ($PM_{2.5}$ ug/m³ and PM_{10} ug/m³) with respect to the measured heights (2.5 meters, 8 meters and 10 meters), although a variation was observed. of $PM_{2.5}$ ug/m³ and PM_{10} ug/m³ with respect to the area where they were measured (urban area and rural area), it was also observed that the use of remotely piloted aircraft is useful for the vertical study of the behavior of atmospheric pollutants.

Keywords: Air pollutants, $PM_{2.5}$, PM_{10} , altitude, rural area, urban area, remotely piloted aircraft (RPAS).

INTRODUCCIÓN

La atmósfera es una combinación primordialmente de nitrógeno a un setenta y ocho por ciento 78 % y en menor concentración de veinte y uno por ciento de oxígeno 21 %, teniendo en minoría solo uno por ciento 1 % de gases que comprenden tales como el argón (Ar), dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), hidrógeno (H), ozono (O₃), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), helio (He), neón (Ne), criptón (Kr) y xenón (Xe) (1). Sin embargo, el exceso de emisión artificial o la combinación no deseada de estos compuestos es muchas veces perjudicial para la salud humana, ambiente y resto de seres vivos; surgiendo así la contaminación atmosférica, siendo en el intervalo de altitud de cero a dos mil metros (0 m a 2000 m) la capa límite atmosférica (ABL) sección más baja de la tropósfera donde ocurren los contaminantes atmosféricos, sin embargo, los contaminantes que incurren en la afección a la salud humana se ubican por debajo de los 400 o 500 metros y en presencia de niebla esta contaminación se concentra en alturas por debajo de los 200 metros (2).

Según la información descrita, Lima una de las ciudades más grandes del Perú que se encuentra entre las urbes con mayor polución en todo el globo terrestre, inclusive está ubicado en una clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el puesto 22, seguida de Kazajstán y Etiopía. De acuerdo a los datos proporcionados según la OMS menciona que quince mil (15,000) individuos ceden a la muerte cada año en la ciudad de Lima por afecciones respiratorias y cardíacas causadas por la contaminación ambiental (3). Así pues, entre las mayores fuentes de contaminación atmosférica se encuentran el uso inadecuado de energía en las viviendas, la industria, agricultura, arena, polvo y el transporte vehicular, así mismo siendo uno de los contaminantes más comunes y de mayor alcance son los sólidos suspendidos donde el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) es el más representativo de su clase (4).

De acuerdo a la idea trazada, recopilando datos por el año dos mil catorce (2014) el Ministerio del Ambiente del estado peruano declaró a 13 urbes como zonas de atención prioritaria a razón de realizar acciones para sobresalir en la optimización de la calidad del aire; donde la metrópoli de Huancayo se encuentra dentro de estas urbes de atención priorizada, ya que la dificultad encontrada es la alta concentración de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), al cual se le atribuye el origen de afecciones respiratorias en las urbes, donde entre los principales factores de polución se encuentra la combustión de combustibles fósiles en los automóviles, partículas pequeñas denominadas comúnmente

polvo del suelo o desprendimiento de estos en las carreteras, así como también encontramos las prácticas poco idóneas como es la quema de pastizales, entre otros (5). De esta manera la manifestación de las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) varían de acuerdo a lugar de medición, siendo la zona urbana el enfoque de estudio por su contaminación (6).

Entonces a partir de lo mencionado, Huancayo, siendo una de las provincias con alto nivel de contaminación debido a la concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$). La pregunta del presente trabajo de investigación fue ¿cuál es la variación del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022? Donde la hipótesis general fue que existe una fuerte variación significativa del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo, cuyo objetivo fue analizar la variación del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo.

De este modo teniendo como destino la concretización de este trabajo de investigación, el trabajo está contemplado bajo 4 capítulos que describen de manera sistemática el estudio planteado; donde en el capítulo 1 se plantea el problema que da inicio a la suspicacia para la realización de la investigación, los objetivos los cuales determinaron el rumbo de la investigación, la justificación que presenta los motivos por la cual se realiza la investigación e hipótesis de la investigación que se plante demostrar su valides. En el capítulo 2 se precisa el marco teórico, donde se analiza los antecedentes de estudios anteriores que dan base al actual, bases teóricas necesarias para explicar conceptos utilizados en el presente trabajo de investigación y bases legales que sirven de soporte del presente estudio de investigación en base a las normas nacionales o internacionales.

En el capítulo 3 describe la metodología utilizada, así como el diseño para orientar los tipos de análisis y procesamiento de los datos que se realizaron; población y muestra necesarias para delimitar el campo de estudio; técnicas e instrumentos de recolección que revelan la forma de trabajo, así como los materiales usados de campo para la obtención de datos y procedimientos que describen el desarrollo del trabajo de investigación. En el capítulo 4 se presenta los resultados donde se sustenta dicho resultado a través de la

estadística descriptiva con gráficos y tablas; la prueba de hipótesis donde se sustenta o se contrasta la hipótesis a través del uso de la estadística inferencial, discusión de resultados apartado donde se sustenta el resultado en contrastación con otras investigaciones realizadas, luego se presentan las conclusiones, posteriormente las recomendaciones en la que se realiza las sugerencias a partir de las limitaciones del trabajo y finalmente los anexos que comprende la información relevante para corroborar el trabajo de planificación, desarrollo y presentación a través de imágenes, planos, tablas, entre otros.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

El aire es esencial para la vida ya que respirar un aire limpio supone para nuestro organismo una sensación de confort y bienestar; en los últimos años estas sensaciones no se pueden percibir ya que actualmente nos aqueja el inconveniente de la polución en la atmósfera a consecuencia de la amplia cantidad de actividades aludidas a las necesidades humanas generadoras de estos contaminantes tóxicos y algunas veces nocivos para el ser humano propiamente dicho.

En una escala mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) de acuerdo a sus siglas nos informa que la contaminación o polución del aire es una amenaza para el bienestar de los individuos humanos y la salud en general en todos los países, pero afecta de manera desproporcionada a las personas de estados en desarrollo que contemplan de bajos y medianos ingresos económicos; de esta manera además se estima que alrededor del noventa por ciento (90%) de la población a nivel mundial respira aire con impurezas nocivas para la salud o contaminado (7). Este inconveniente de polución del aire ha sido alto durante los últimos seis años, sin embargo, el volumen de las concentraciones de estos agentes generadores de la polución ha ido disminuyendo en ciertas áreas geográfica de continente de Europa y América, pero a pesar de esto aún siguen siendo insuficientes estas disminuciones, generando así un problema global (4).

En este mismo sentido los estudios a nivel mundial sobre el comportamiento de los agentes contaminantes atmosféricos medidos a distintas alturas revelan que estos presentan distintas concentraciones a distinta altura, en un estudio realizado en Polonia, al hacer uso de vehículos aéreos no tripulados, revela que el material particulado varía respecto a la altura que es medido y de acuerdo a sus resultados a unos 80 metros se evidenció que cuenta con mayor concentración (2), sin embargo esto es distinto a otros estudios donde menciona que la mayor concentración se encuentra a una altura cercana al suelo; esta diferencia se debió a lugar y la inversión térmica del lugar (8).

En el espacio atmosférico ocupado por América Latina la polución del aire ha empeorado rápidamente cada año hasta nuestro tiempo, pues varias ciudades de América Latina superan las concentraciones máximas permitidas (CMP) en ciertos agentes contaminantes encontradas en el aire, de acuerdo a los estándares dadas por la Organización Mundial de la Salud o OMS de acuerdo a sus siglas lo cual se ve reflejado

en las principales capitales de rápido crecimiento de los países en desarrollo, pues se han detectado problemas respiratorios en grupos de personas más sensibles (9).

En el continente de América de Sur, la urbe de Lima es una de las que concentra mayor polución en el mundo que inclusive de acuerdo a la clasificación de la OMS ocupa el puesto 22 seguido de Kazajstán y luego Etiopía, se menciona que a partir de los datos obtenidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se tasa que aproximadamente quince mil (15.000) personas fallecen de forma anual en Lima por afecciones o dolencias respiratorias y cardíacas provocadas por la inhalación de agentes nocivos o polución en el aire en general por la contaminación ambiental (3). Una de las mayores fuentes que perjudican el equilibrio de la composición natural del aire es el uso inadecuado de energía en las viviendas, así como el uso excesivo en la industria, como también las malas prácticas en la agricultura o el uso extensivo de productos químicos en esta, así como la presencia de arena natural o a partir de la generación por intervención humana, del mismo modo con el polvo y el transporte vehicular, así mismo siendo el agente contaminante más común y repetitivo en la mayoría de metrópolis en el mundo el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) el cual es evaluado a través de sistemas manuales tanto pasivos como activos y así también a través de sistemas automáticos que estos últimos años son de mayor uso a nivel nacional, sin embargo no se aplica los monitoreos de sensores remotos que nos brindan datos de cómo se comportan las concentraciones de estos contaminantes a diferentes niveles (4).

En el territorio del estado peruano durante el año 2014, el Ministerio del Medio Ambiente peruano público que de acuerdo a sus estudios existe trece (13) ciudades como áreas de enfoque para la realizar acciones en favor de la optimización de calidad del aire que rodea las ciudades; esto incluye a la provincia de Huancayo, donde al igual que muchas ciudades del mundo el principal problema son las inadecuadas concentraciones de sólidos suspendidos donde el material particulado es predominante (PM_{10} y $PM_{2.5}$) (5), estos incluyen emisiones de agentes nocivos de camiones a través de la combustión, automóviles que queman combustible fósil de manera diaria en el transporte público y privado, polvo del suelo y de las carreteras de origen natural como desiertos u origen antrópico como las producidas por las construcciones, ladrilleras o deforestaciones, quemado de pasto y más; de los cuales se originan afecciones respiratorias en niños y adultos.

Con base en estas descripciones, la finalidad primordial de este estudio es analizar la variación de concentración con respecto a su altura de medición de los contaminantes con mayor presencia en el ambiente que es el material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) debido a que la principal fuente generadora de contaminantes es el parque automotriz que se evidencian en la ciudad de Huancayo. Actualmente, se utilizan estaciones de monitoreo estacionarias para evaluar la concentración de estos contaminantes en la atmósfera, pero esta solo permite obtener datos del contaminante a cierta altura al que fue instalada, mayormente a 1.5 a 2.5 metros de altura, sin embargo, es conocido que los contaminantes atmosféricos actúan de distintas formas y distintas alturas. Por otro lado, las estaciones de monitoreo constan de varios componentes con altos costos de infraestructura y difícil transporte. En razón de ello, se realizó la evaluación de la concentración de los principales agentes nocivos de los contaminantes atmosféricos: material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en el distrito de Huancayo, se utilizó la tecnología de RPAS (Sistema de aeronaves pilotadas a distancia) a distintas alturas, este tipo de monitoreo es económico y fácil de transportar de un punto de medición a otro.

1.1.1 Problema general

- ❖ ¿Cuál es la variación del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022?

1.1.2 Problemas específicos

- ❖ ¿Cuál es la variación del grado de concentración de material particulado ($PM_{2.5}$), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo- 2022?
- ❖ ¿Cuál es la variación del grado de concentración de material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022?
- ❖ ¿Cuál es la variación del grado de concentración del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo - 2022?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- ❖ Analizar la variación del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas en el distrito de Huancayo - 2022.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado (PM_{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.
- ❖ Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado (PM₁₀), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.
- ❖ Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo - 2022.

1.3 Justificación e importancia

A medida que se desarrollan las ciudades se va generando mayor contaminación a la atmósfera que en la mayoría son provenientes de fuentes de quema de residuos sólidos, parque automotor, quema de árboles y otros productos químicos que repercuten a la integridad del medio ambiente que a la larga traerá consecuencias en el bienestar y confort de la población.

La contaminación atmosférica se ha vuelto un problema ambiental severo actualmente por la emisión de gases tóxicos y nocivos a la atmósfera, lo cual origina que las personas más sensibles son perjudicadas en salud y bienestar en el distrito de Huancayo; en el cual además se carece diversidad de estudios de monitoreos que nos indiquen cómo se encuentra la calidad de aire.

En razón a lo descrito líneas anteriores, los resultados del trabajo de investigación podrán señalar de manera científica la realidad de concentración del material particulado a sus distintas alturas a nivel del suelo, de esta manera iniciando con el estudio amplio del comportamiento de los agentes contaminantes atmosféricos a distintas alturas de la atmósfera en el distrito de Huancayo.

El procedimiento y metodología propuesta a partir de estudios anteriores se podrá establecer como punto inicial para futuros estudios similares que estudien el comportamiento de los agentes contaminantes atmosféricos, con respecto a la altura de medición.

El objetivo de la presente investigación pretende ampliar los mecanismos de las mediciones a través del uso de equipos y herramientas de bajo costo que sea accesible para todos los investigadores en comparación de los equipos tradicionales que son enfocados en la capacidad de adquisición para entidades, con la finalidad de que cualquier investigador pueda estudiar de manera sencilla y concreta las características que poseen los agentes contaminantes en la atmósfera, en el distrito de Huancayo.

Con el objetivo de obtener los datos propuestos se realiza el uso de medidores automáticos de calidad de aire y con el uso de aeronaves no tripuladas (RPAS) que comúnmente se los conoce como “DRON” se realiza la introducción de esta tecnología para facilitar la obtención de datos de contaminantes atmosféricos en cualquier espacio geográfico que el dron pueda sobrevolar.

Es por lo mencionado que en esta investigación se propuso analizar la concentración de contaminantes atmosféricos como el material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) a distintas alturas en el distrito de Huancayo; para ello se utilizó el sistema de aeronaves pilotas a distancia (RPAS) acoplados a un medidor de bajo costo en el mercado; con el fin de obtener resultados confiables, pues es una forma de medición de sistema remoto que se aplicó en el país en remplazo de las mediciones convencionales.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

- ❖ H_0 = No existe variación significativa del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.
- ❖ H_a = Existe una fuerte variación significativa del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.

1.4.2 Hipótesis específicas

1.4.2.1 Hipótesis específica 01

- ❖ H_0 =No existe variación significativa de la concentración de material particulado ($PM_{2.5}$), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.
- ❖ H_a =Existe variación significativa de la concentración de material particulado ($PM_{2.5}$), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.

1.4.2.2 Hipótesis específica 02

- ❖ H_0 =No existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.
- ❖ H_a =Existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.

1.4.2.3 Hipótesis específica 03

- ❖ H_0 =No existe variación significativa de las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo - 2022.
- ❖ H_a =Existe variación significativa de las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo - 2022.

1.5 Operacionalización de las variables

Tabla N° 1: Operacionalización de las variables

VARIABLES		DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente	X1= Diferencia de altura	La diferencia de altura es la distancia vertical desde el nivel de cualquier superficie y un punto determinado en el espacio (10).	La diferencia de altura se operacionaliza mediante el instrumento registro de control de sotos de la siguiente dimensión como es la altitud.	Altura	Altura del sistema RPAS a 2.5m Altura del sistema RPAS a 8m Altura del sistema RPAS a 10m	Metros (m)
Variable dependiente	Y1= Concentración de los contaminantes atmosféricos	Es la proporción de cantidad de sustancias en el aire las que aumentan o disminuyen con respecto a distintos factores en la atmósfera (11).	La concentración de contaminantes del aire se operacionaliza mediante el instrumento registro de control de datos de las siguientes dimensiones tales como Material Particulado (PM _{2.5} y PM ₁₀)	Material particulado PM _{2.5} y PM ₁₀	Cantidad de concentración del material particulado PM _{2.5} Cantidad de concentración del material particulado PM ₁₀	Partes por millón (ppm) o microgramos por metro cubico (ug/m ³)

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la tesis titulada como “EVALUACIÓN ESPACIOTEMPORAL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA” realizada en la Universidad de la Costa tuvo como objetivo evaluar la variación espaciotemporal de los contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3); las fechas que se realizaron estas mediciones fueron entre los meses de marzo y junio del 2018, en la ciudad de Barranquilla el cual constituyó de tres estaciones puntuales denominados: Móvil localizada cerca al norte del mar, Policía que tuvo mediciones por las características de la gran influencia en el tráfico vehicular y Tres Avemarías en la zona residencial los cuales brindaron información para el desarrollo de este trabajo de investigación. Los resultados que se obtuvieron en estas tres estaciones fueron: en Móvil de PM_{10} 46.37, $PM_{2.5}$ 15.95 y O_3 34.99 $\mu g/m^3$, en Policía de PM_{10} 51.37, $PM_{2.5}$ 18.12 y O_3 26.56 $\mu g/m^3$ y en Tres Avemaría dieron como resultado de PM_{10} 39.68, $PM_{2.5}$ 15.10 y O_3 33.63 $\mu g/m^3$ respectivamente; estos resultados obtenidos nos demuestran que existen diferencias espaciales y temporales entre los tres sitios, así como una estimación espacial y temporal de contaminantes. Lo que destaca con mayor concentración es el PM en el sur de la ciudad y el ozono por la parte norte, lo que demuestra que estas variaciones están asociadas principalmente a fuentes puntuales al entorno de cada sitio evaluado con sus condiciones meteorológicas (12).

La investigación titulada “Desarrollo e implantación de un sistema en un drone para evaluar la calidad del aire” tuvo como objetivo desarrollar un sistema que nos permita conocer las concentraciones de los contaminantes ozono, monóxido de carbono, material particulado, así como la temperatura y humedad presentes en el aire por medio de sensores acoplados a un drone que fue transmitida a la computadora mediante un software de Arduino IDE por ser de un lenguaje de programación abierta. Los resultados que se obtuvieron fue lograr que el Drone sobrevoló a una altura aproximada de 60 m en un tiempo de 8 a 10 minutos que se realizaba la transmisión de los datos con una efectividad de solo 2 segundos aproximadamente para recibir las señales de las concentraciones que indicaron que los niveles de ozono y partículas PM_{10} de las cuales se encuentran en niveles elevados de promedio $0.01 \text{ CF}=28\text{ml}=\text{Pie}^2$ en el caso del

monóxido de carbono solo se mostró concentraciones que sobrepasan los 1000 ppm que también son muy elevadas lo cual se concluyó que los sensores establecidos para medir estas concentraciones nos permitió saber que hay dichos contaminantes nocivos en el aire (13).

En la investigación titulada “Sistema aéreo de medición de gases contaminantes basado en un UAV” tuvo como objetivo plantear un sistema de medición de contaminantes con criterios basados en una UAV (Unmanned Aerial Vehicle) mediante sensores acopladas al dron que almacenaban datos a una tarjeta de Freescale KL25Z con programación Python que pueden medir los contaminantes a un nivel de 300 m como es el caso de ozono, monóxido de carbono, material particulado (PM_{10}), temperatura y presión atmosférico en la ciudad de Cochabamba. Los resultados que se mostraron fueron preliminares, pero demostraron que es posible obtener datos en perfiles verticales de estos contaminantes; las concentraciones que se obtuvieron fueron en el monóxido de carbono 7 mg/m^3 , ozono $24 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ y material particulado 500 y $600 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ que nos indicó presencia de dichos contaminantes antes de alzar vuelo. Lo cual concluyó que es posible monitorear dichos contaminantes mediante la utilización del UAV (14) .

En la investigación titulada “Developing of Low-Cost Air Pollution Sensor—Measurements with the Unmanned Aerial Vehicles in Poland” tuvo como objetivo el desarrollo de un sistema de medición de contaminación del aire de bajo costo mediante vehículos aéreos no tripulados a distancia por lo cual la investigación constituyó en el uso de un UAV principalmente para las mediciones dentro del aérea urbanizada de la ciudad Opole (Polonia) cerca de una carretera muy congestionada y un parque recreativo mediante un microprocesador pequeño que captaba muchos compuestos químicos nocivos para el ser humano y así evitar la exposición directa de los humanos a factores nocivos debido a que cuenta con un receptor de posicionamiento con el GPS (2).

En el informe titulada “Evaluación del monitoreo de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia” desarrollada por el laboratorio de Greenpeace en la Universidad de Exeter tuvo como fin primordial medir las concentraciones de contaminantes de 13 estaciones fijas de monitoreo automático en Bogotá que proporcionaban datos por hora; de los cuales 6 se encontraban en tejados y 7 encontrándose en el nivel del suelos cerca a industrias químicas, parque automotor y calles concurridas donde sumaban mayor contaminantes al aire como es el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), SO_2 , NO_2 , O_3 , COV entre otros contaminantes más que eran perjudiciales a la salud. Los resultados que se

obtuvieron fueron en el material particulado superan las medidas que otorga la OMS, NO₂ no supera los valores establecidos lo que pudieron concluir que el estudio refleja una variación de disminución de concentraciones según se alejen las estaciones de las fuentes de contaminación en el aire (15).

En la investigación titulada “ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES EN EL ÁREA URBANA DE ENVIGADO, COLOMBIA” tuvo como objetivo determinar las concentraciones de agentes que infieren en la polución del aire (Monóxido de carbono - CO, dióxido de nitrógeno - NO₂, dióxido de azufre - SO₂, material particulado entre 2.5 y 10 micras PM₁₀ y compuestos orgánicos volátiles - COV) de punto de emisión móviles en espacios urbanos de Envigado en el año 2010 con el método IVE donde se ajustó los patrones de flujo, las características de la flota y los tipos de combustible que se hallen en el dominio de estudio; que ayudó a ajustar los diferentes patrones para mostrar las emisiones más altas que se presentaban en las vías de mayor tránsito vehicular con una mayor proporción de cantidad con respecto a los otros contaminantes fue el monóxido de carbono (CO) con 18.4 t-1 que representa el setenta y uno punto tres por ciento del total medido (71.3%), mientras que la hora del día con mayor presencia de estos mismo son a las doce horas 12:00 horas con una cantidad de 1.4 t h-1 representando el siete punto cuatro por ciento (7.4%) y el tipo de vehículo clasificado dentro de los parámetros municipales que más influye al incremento del nivel de los contaminantes con respecto al ambiente son los autos con 8.3 t d-1 (32.7%) (16).

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la investigación de tesis titulada “EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METANO, MONÓXIDO Y DIÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE, MEDIANTE TECNOLOGÍA DE DRONES Y HARDWARE LIBRE EN LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO” desarrollada en la Universidad Nacional Amazónico de Madre de Dios tuvo como fin evaluar las concentraciones de metano CH₄, monóxido de carbono CO y dióxido de carbono CO₂ en el aire a distintas altitudes en la ciudad de Puerto Maldonado mediante un drone que permitió monitorear dichos gases. La metodología que se empleó fue el diseño de tipo no experimental-correlacional y en la técnica los valores fueron hallados a frecuencia de 1 Hertz para la calibración de los sensores MQ-4 (CH₄), MQ-7 (CO) y MG-811 (CO₂) los cuales sirvieron como equipo de medición en el sistema RPAS basado en el AR-Drone 2.0 y Tarjetas Arduino por ser de

un hardware libre para la obtención de las concentraciones de dichos contaminantes atmosféricos. Se encontró que el sensor MG-811 no proporcionó una respuesta aceptable para las mediciones de concentración de CO₂. El producto hallado a partir de la correlación, discretos y de regresión mostraron que la concentración de metano estaba inversamente relacionada con la altura debido a que la *r* de Pearson (*r*) arrojó los siguientes resultados -0.8444, -0.8736, -0.9207, -0.9533 y -0.9759 que denotan los grupos experimentales I, II, III, IV y V respectivamente; mientras que el coeficiente (R²) un mostró los siguientes datos de 0.7129, 0.7632, 0.8477, 0.9089 y 0.9524 respectivamente para los mismo grupos mencionados anteriormente, con todas las pruebas se concluyó que con esta forma de monitoreo conseguiremos adquirir datos en diferentes ubicaciones sin tener una limitación en los costos de infraestructura que habitualmente se utiliza como torres de monitoreos (17).

En la investigación titulada “REORDENAMIENTO VEHICULAR Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR MATERIAL PARTICULADO (2.5 Y 10), DIÓXIDO DE AZUFRE Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO EN LIMA METROPOLITANA, PERÚ” cuyo fin principal fue evaluar el cambio de niveles de los contaminantes atmosféricos para un posterior reordenamiento vehicular en las distintas calles más concurridas de Lima metropolitana; estos datos estuvieron recolectados por tres individuos de monitoreo de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria del Ministerio de Salud del estado peruano como parte de las actividades de la red de vigilancia de la calidad del aire en la metrópoli de Lima, los cuales permitió estimar las concentraciones en base al flujo vehicular; para luego ser comparados con parámetros de la calidad del aire normados en el país. Los resultados obtenidos para el reordenamiento vehicular en las calles más concurridas fueron en la Av. Abancay que redujo 62%, 55 %, 65 % y 82% los niveles de PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ y SO₂ respectivamente ya que dichos contaminantes se pueden apreciar en diferentes investigaciones que se utilizaron como base, los cuales sobrepasan los parámetros de calidad de aire; sin embargo, con respecto a las dos avenidas más evaluadas no se evidenció la disminución significativa. Con respecto a la Av. Abancay se observó en la regresión lineal (β), con un índice de confianza de 95% en PM_{2.5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -53,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ -47,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO₂ -41,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y SO₂ -28,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con el objetivo de realizar posteriormente el reordenamiento vehicular de lo cual se logró concluir que es posible disminuir los diversos contaminantes atmosféricos perjudiciales para la salud (18).

En la tesis titulada “EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS CO, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} DE LA ZONA URBANA CUSCO 2017” desarrollada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa tuvo como fin determinar el grado de contaminación del aire en tres distritos diferentes Huanchaq, San Sebastián y San Jerónimo con un tipo de metodología de enfoque cuantitativo sometido a prueba de T de Student para obtener los datos de muestras se utilizó un método de gravimetría del modelo HIVOL3000 pertenecientes en material particulado; CO y SO₂ por método de fluorescencia ultravioleta con un analizador automático. Los resultados obtenidos fueron de la siguiente manera; con respecto al PM_{2.5} se obtuvo 73.401, 51.928, y 137.134 ug/m³ que representa Huanchaq, San Sebastián y San Jerónimo respectivamente, los cuales sobrepasaron los valores del según la normativa del estado peruano en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA – 50 ug/m³) y la normativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS – 25 ug/m³). De la misma manera los resultados en razón de PM₁₀ los resultados no sobrepasan los valores del ECA – 100 ug/m³ y mientras que sobrepasan los valores dados por la OMS que fue de 50 ug/m³; por otro lado, los datos obtenidos en el agente contaminante de monóxido de carbono no superan los valores del ECA ni de la OMS; por último, con respecto a dióxido de azufre los datos hallados se encuentran en rangos inferiores a los estándares nacionales ECA e internacionales OMS. Con los que se pudo concluir que existe contaminación del aire de las distintas fuentes existentes en la ciudad con mayor influencia de las ladrilleras y el parque automotor (19).

La investigación que lleva por título “La contaminación del aire por material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco, 2010 y 2016” cuyo fin fue la de determinar la relación que existe entre el material particulado debido a la operación del tajo abierto “Raúl Rojas” y las enfermedades de tipo respiratorio agudo donde a través de la utilización de estaciones de monitoreo de punto fijo y datos con respecto a la cantidad de atenciones hospitalarias durante el clima seco, que tuvo como muestra la suma de 10029 atenciones, el cual a través de la estadística inferencial se realizó la contraste de la hipótesis con la t de student cuyos valores llevaron a concluir que exista una fuerte relación entre lo planteado inicialmente, llegando a determinar que dicha relación afligió a las personas de Cerro de Pasco en los años 2010 y 2016 (20).

De acuerdo a la investigación que lleva como título “DETERMINACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO (PM_{10} Y $PM_{2.5}$) Y METALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA DV. PAPUJUNE CAMINO PRINCIPAL TRAMO II EN LA CIUDAD DE MARISCAL NIETO MOQUEGUA” y con apoyo de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa tuvo finalidad determinar el material particulado y metales en la realización de carretera donde a través de ochos puntos fijos de monitoreo instalados de manera razonable a lo largo de dicha carretera se realizó dicha medición la calidad de aire con equipos de Hi-Vol para el (PM_{10}) así como también se hizo uso del otro equipo utilizado para el ($PM_{2.5}$) fue el Low-Vol. Los datos obtenidos como resultado de trabajo realizado estuvieron denotados por las estaciones mencionadas anteriormente, las cuales revelaron que para el material particulado PM_{10} ($\bar{x} = 29.3 \text{ ug/m}^3$) los datos hallados no se mantienen dentro del rango aceptable según la normativa peruana D.S. 003-2017-MINAM , que hace referencia a la calidad del aire y sus Estándares de Calidad Ambiental (ECA), del mismo modo que el anterior para los agentes contaminantes como material particulado $PM_{2.5}$ ($\bar{x} = 13.3 \text{ ug/m}^3$) y Plomo (0.0007 ug/m^3), los datos obtenidos no denotan mayor preocupación debido a sus valores que se encuentran por debajo de la normativa nacional (21).

En la investigación que tiene por título “EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10} Y $PM_{2.5}$ Y SU COMPARACIÓN CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA EN EL PERIODO 2012-2018” realizado con la finalidad de evaluar el comportamiento de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ en escenarios de años con la comparación de los Estándares de Calidad Ambiental que norman en nuestro país. De acuerdo al método utilizado la cual fue de tipo descriptivo explicativo se obtuvieron datos de concentraciones promedio PM_{10} de 75.58 y 64.63 $\mu\text{g/m}^3$ en los periodos de 2012 y 2013 respectivamente y concentraciones de 43.91 y 47.81 $\mu\text{g/m}^3$ en los años 2014 y 2015 y en $PM_{2.5}$ en los años evaluados del 2012 y 2016 con concentraciones de 65.91 y 57.10 $\mu\text{g/m}^3$ respectivamente en el año 2018 se registró una concentración de 49.13 $\mu\text{g/m}^3$ con estos resultados se concluyó que el tiempo que representan estos datos evidencian un comportamiento decreciente de este contaminante en el material particulado de PM_{10} que no sobrepasan el ECA por otro lado el $PM_{2.5}$ sobrepasa el ECA aunque eso no sucede el año 2018 (22).

2.1.3 Antecedentes locales

En el trabajo de investigación titulada “Determinación de las fuentes de emisión del material particulado en el Valle del Mantaro mediante el análisis de componentes principales (ACP)” el cual tuvo como finalidad esencial la determinación de la composición química del material particulado; recolectados en las ciudades de Jauja, Concepción y Huancayo que posteriormente se determinó entre los principales componentes que forman parte del material particulado, que en la ciudad de Huancayo fue el polvo del suelo y del parque automotor, sin embargo en la ciudad de Concepción se vio añadida entre los componentes del polvo la presencia de quema de pastos y en la zona de Jauja hubo también la presencia de polvo por actividades relacionadas a la pirometalúrgicas y cerámicas. Todo ello fue realizado mediante el Análisis de Componentes Principales con el cual se utilizó equipos regulados según normativa peruana dada en el D.S N° 074-2001-PCM a través de la metodología deductiva de nivel experimental (23).

En la tesis titulada “Dispersión de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en Huancayo Metropolitano, Región Junín, 2022” realizada bajo la tutela de la Universidad César Vallejo tuvo como finalidad determinar la distribución de las concentraciones del material particulado, el cual se realizó a través de la norma técnica peruana de Gestión Ambiental (NTP 900.030-2003) con el dispositivo HI-VO para el caso del PM_{10} y para el $PM_{2.5}$ con el dispositivo LOW-VOL; con la ayuda de esos equipos se logró obtener resultados promedios a lo largo de los días de monitoreo donde el valor de 92.3 ug/m^3 de PM_{10} fue el más resaltante debido a su aproximación al límite máximo de los Entandares de Calidad Ambiental (ECA). Mientras que el valor obtenido de $PM_{2.5}$ resaltante fue de 22.3 ug/m^3 que fue el más alto, aunque tampoco significa una amenaza considerable debido que se encuentra por debajo de los límites establecidos en el ECA. Por otro lado, la dispersión de los contaminantes atmosféricos (Material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$) se encuentran entre los siguientes rangos; para PM_{10} este varía entre 50 ug/m^3 a 92 ug/m^3 , de la misma manera para $PM_{2.5}$ este varía de 7 ug/m^3 hasta 21 ug/m^3 (6).

De acuerdo a la tesis que lleva por título “EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS PM_{10} Y $PM_{2.5}$ PARA LA FORMULACIÓN DE SU PLAN DE ACCIÓN EN HUANCAYO METROPOLITANO” presentado a la Universidad Nacional del Centro del Perú contó

con el objetivo de evaluar las concentraciones de las partículas atmosféricas en tres puntos establecidos como la misma Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP) para los fines prácticos, también se ubicó otro punto de monitoreo en las estructura de la Municipalidad de Huancayo que se denominara HYO y por último se situó un punto en la Municipalidad de Chilca denominado CHILCA. La recolección de datos se realizó mediante sensores PurpleAir con lo que se logró obtener resultados que en el lapso de tiempo que comienza el siete de febrero del dos mil dieciocho y culmina el treinta de enero del dos mil diecinueve, se obtuvo que los datos tomados y procesados para el $PM_{2.5}$ superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), mientras que los resultados obtenidos para el PM_{10} muestran que permanecen por debajo del ECA, por otro lado en la evaluación de la relación del PM_{10} con respecto a la humedad, los datos demuestra que existe un comportamiento directamente proporcional entre sus valores, sin embargo esta evaluación realizada en el $PM_{2.5}$ muestra un comportamiento inverso, finalmente los datos sugieren que los meses de diciembre y enero las concentración del agente contaminante tienden a incrementar dichos valores, en razón de las festividades en tales meses mencionados (24).

En la investigación titulada “Dispersión de material particulado 2.5 emitido por pollerías usando el modelo AERMOD en Huancayo Metropolitano Perú” tuvo como objetivo estudiar la dispersión del $PM_{2.5}$ emitidos por las pollerías entres tres zonas urbanas (UNCP, HYO y CHI), donde se hizo uso de datos topográficos, datos meteorológicos y características de las fuentes como concentraciones de $PM_{2.5}$ que a través del uso del modelo AERMOD se realizó una modelación de la dispersión de contaminantes. Los resultados arrojaron que existe un comportamiento proporcional con respecto a la dirección y velocidad del viento que interviene en los valores del material particulado y su dispersión en la atmósfera, por otro lado, se denota que la concentración del material particulado obtenido por el modelamiento AERMOD fue infravalorado con respecto al obtenidos por los puntos de monitoreo a través de las estaciones (25).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea completamente la Tierra y se puede dividir en capas concéntricas con composiciones y densidades completamente diferentes. Alrededor del 95% de su composición se concentra en los 15 kilómetros más cercanos a la superficie de la Tierra (26).

La atmósfera terrestre se compone principalmente de nitrógeno (N) en un setenta y ocho por ciento (78%) y veinte y uno por ciento (21%) de oxígeno (O). Y el resto del uno por ciento 1% consiste entre otros compuestos tales como argón (Ar), dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), hidrógeno (H), ozono (O₃), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), helio (He), neón (Ne), criptón (Kr) y xenón (Xe) cabe mencionar que es de importancia saber que la concentración de estos gases u compuestos cambian su cantidad o concentración con su altitud, siendo particularmente pronunciados los cambios en el vapor de agua, concentrados principalmente en capas cercanas a la superficie (1).

2.2.2. Contaminación atmosférica

Es la inserción de elementos o compuestos en la masa del aire que interviene de manera desequilibrante en la estructura de la atmósfera gestando riesgo, daño a todo tipo de objetos, medio ambiente y personas (27).

2.2.3. Origen de los contaminantes

De acuerdo al origen de las sustancias nocivas en la atmósfera, estos se distinguen en dos tipos; las cuales son las que derivan de los fenómenos naturales y por acción antropogénica (28).

2.2.4 Fuentes biogénicas

Se refieren a situaciones de polución que corresponden a fenómenos de gestación natural, donde se encuentran factores como la erosión y efectos de problemas tales como los incendios a partir de tormentas, erupciones volcánicas, entre otros de actividades naturales en el ambiente (29).

2.2.5 Fuentes antropogénicas

Son contaminaciones realizado por acciones y actividades humanas principalmente por la quema de materiales, ya sea causada por la industria, los vehículos o los hogares. Esta clasificación se divide en dos grupos: fuentes estacionarias y fuentes móviles (29).

Las fuentes fijas corresponden a los de una ubicación física específica, definida y fija; tales como negocios, minerías, industrias manufactureras, servicios, agricultura, etc (29).

Con respecto a las fuentes móviles; en estos se identifican los vehículos automotores en la vía; de los cuales a su vez se encuentran los automóviles públicos o

privados, camiones, autobuses y motocicletas. Así como también vehículos de transporte aéreo, donde se encuentran los aviones comerciales, del mismo modo los vehículos marinos y sus distintas categorías (29).

2.2.6 Clasificación de contaminantes

De acuerdo a la procedencia de los contaminantes, estas con la finalidad de un mejor entendimiento se pueden distribuir en dos categorías: primarios y secundarios, siendo su finalidad la de analizar de manera óptima su distribución y tratamiento o prevención de estos contaminantes mencionados (30).

2.2.7 Contaminantes primarios

Con respecto a los contaminantes de origen primario estos son los que resultan de manera directa de fuentes de emisión como calentadores domésticos, chimeneas industriales y escapes de automóviles, sugiriendo estos ejemplos que las fuentes primarias son realmente las sustancias que se encuentran tal y como es después de su emisión en el ambiente (30).

2.2.8. Contaminantes secundarios

De acuerdo con los contaminantes secundarios, estos se encuentran de manera consecutiva al de origen primario ya que estos proceden a partir de procesos químicos en zona de la atmósfera, otra manera de entender es que el contaminante secundario es la mezcla de las sustancias primarias con los componentes o agentes presentes de forma natural o antropogénica en la atmósfera resultando de esta mezcla un nuevo compuesto (30).

2.2.9. Material particulado (MP)

El material particulado es la agrupación de materiales en estado sólido o líquido que se encuentran en suspensión en el aire ya que esto tienen dimensiones de tamaño diminutas para tener tal efecto de suspensión, que en suma no superan un diámetro mayor a 19 o 20 micras (30).

Estos materiales particulados en suspensión son de estructura irregular, sin embargo, por la dimensión de su tamaño estos se poseen estructuras similares a de las esferas; para fines prácticos y con la finalidad de estudio este material particulado es normalmente identificado también como PM_{10} y $PM_{2.5}$, respondiendo a su nombre el primero debido a que concentra solo material particulado de tamaño de 2.5 a 10 micras

de diámetro y la segunda a diámetros menores a 2.5 micras, siendo su unidad de medición más común $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (31).

De la forma de hallarlos en el ambiente, estos se encuentran de dos formas, en primera instancia se encuentran a acuerdo a fuentes naturales a consecuencia de fenómenos y actividades naturales; mientras que en segunda instancia se encuentra a consecuencia de actividades antropogénicas (31).

2.2.10. Partículas de fuentes biogénica o naturales

Su origen es principalmente el medio natural generalmente provocado por la fragmentación de partículas de mayor tamaño; sus componentes pueden ser minerales u orgánicos las principales formas visibles que los podemos encontrar son: polvo de descomposición de rocas, polvo de actividad volcánica, polen, etc (31).

2.2.11. Partículas de fuentes antropogénicas

El tipo antropogénico es el más abundante y el tipo que más nos importa. Quizás las fuentes más importantes son las producidas por la combustión incompleta (hollín) de los motores térmicos del vehículo, en su mayoría tipos diésel y la combustión de carbón. Pero no sólo los motores de los coches contaminan. La fricción durante el frenado también provoca el desgaste de las pastillas de freno, esparciendo partículas en la atmósfera urbana de la misma manera que los neumáticos desgastados hacen que se descompongan en pequeñas partículas de goma que llenan el aire, entre las actividades que permiten la generación de estas partículas se encuentran actividades tales como: actividades industriales, canteras, minería, cemento, y otras fuentes asociadas de estas partículas (32).

En general, es seguro decir que las fuentes naturales (PM_{10}) son mayores que las fuentes artificiales ($\text{PM}_{2.5}$). Esto es muy importante porque el peligro de las partículas en suspensión está relacionado con su tamaño, no con su naturaleza (33).

2.2.12. Material particulado (PM_{10})

Estas partículas gruesas forman parte del elemento natural, por lo que se considera un contaminante importante, que son los residuos de neumáticos, aerosoles, residuos vegetales, etc. Cada partícula tiene un tamaño o diámetro de 10 micrómetros y se encuentra simbolizada por " PM_{10} " (28).

2.2.13. Material particulado ($\text{PM}_{2.5}$)

Estas partículas finas tienen como diámetro 2.5 micras o micrómetros y puede ser menores a 2.5 micras, que es la cuarta de 10 micras, siendo la más peligrosa y tóxica; por

lo tanto, se le considera como contaminante secundario, especialmente se da por las emisiones que provienen de los vehículos, aerosoles, hidrocarburos policíclicos aromáticos. La OMS sugiere utilizar como indicador prioritario el PM_{2.5} en lugar de las PM₁₀, puesto que el PM_{2.5} contamina más el aire (28).

2.2.14. Inversión térmica

La inversión térmica es un episodio común dentro de la atmósfera terrestre que se produce por la diferencia de temperatura a ciertas altitudes. Pero se convierte en un problema cuando este fenómeno impide la dispersión de contaminantes atmosféricos, causando daños en el ambiente y la salud de la población humana (8).

En un comportamiento normal en la atmósfera, la masa de aire caliente de la superficie asciende disminuyendo su temperatura de 0.6 °C por cada 100 metros dispersando los contaminantes atmosféricos que conlleva, de esta manera aminoran su concentración hasta la estratósfera (8).

Sin embargo, la existencia de perturbaciones en la gradiente térmica vertical GTV, permite que la temperatura aumente según asciende hasta cierta altura, a esto se la conoce como inversión térmica y sucede debido a que la temperatura en la superficie más cercana al suelo se enfría más rápidamente que a alturas superiores, mayormente esto sucede en las noches de invierno y que por diferencia de densidades estas masas de aire caliente y frío crean una capa que impide la salida de contaminantes; este episodio ocurre hasta que el sol del día sea suficiente como para calentar el suelo y a su vez la masa de aire permitiendo su normal ascenso hasta la estratósfera (8).

2.2.15. Efectos de los contaminantes atmosféricos a la salud y al medio ambiente

2.2.15.1. Efectos del material particulado en la salud

La contaminación del aire por material particulado provoca problemas principalmente respiratorios (7). Las partículas más grandes afectan su retención en la parte superior del sistema respiratorio, por lo que las partículas más grandes quedan atrapadas en el tracto respiratorio superior, primero en la nariz, otras en la garganta y las más pequeñas en la faringe y bronquios, otros llegan a los alvéolos y los últimos más finos (0,1 micras) pueden pasar directamente a la sangre sin detenerse durante un largo viaje, cuanto más pequeñas son las partículas, más peligrosas son (7).

Los efectos dependen de la cantidad de partículas inhaladas a lo largo del tiempo y van desde enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón, enfermedad obstructiva, accidente cerebrovascular, etc (29).

2.2.15.2. Efectos del material particulado en el medio ambiente

Las partículas afectan la vegetación circundante, provocando cambios en la fotosíntesis, cambios en la química del suelo y cambios en el crecimiento y la reproducción de las plantas (34).

2.2.16. Métodos de monitoreo de la calidad del aire según su tecnología

Según los Guías de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los costos y niveles de desempeño que implican, se puede clasificar en cuatro genéricos (35):

- ❖ Sistemas manuales pasivos: Son formas sencillas de dar una aproximación al estado de la calidad del aire. Se utilizan principalmente en áreas donde no se realiza un seguimiento continuo (35).
- ❖ Sistemas manuales activos: El método se utiliza principalmente para materiales particulados lo cual es denominada método gravimétrico, y opera cuando las muestras de aire ingresan al cabezal selectivo en un flujo constante que separa las partículas más grandes, donde se recolectan en un filtro durante 23 a 25 horas (35).
- ❖ Sistemas automáticos: Las bombas de succión se utilizan en otros sistemas explicados cuyo propósito no es recolectar una muestra, sino determinar la concentración en la cámara de análisis, generalmente utilizando métodos ópticos (35).
- ❖ Sensores remotos: Son sistemas o instrumentos que reciben información de objetos distantes (35).

En el país solo se abarca únicamente los sistemas manuales pasivos, sistemas manuales activos y sistemas automáticos debido a que estos son los más usados en los diversos monitoreos que se viene realizando (35).

2.2.17. Densidad o número de puntos de muestreo requerido

La densidad de muestro es requerido en todo estudio científico con la finalidad de lograr extraer un punto significativo de un espacio total a ser investigado logrando así realizar un análisis detallado del espacio mencionado a través de un punto representativo,

estos muestreos varían de acuerdo al tipo de estudio que se desee realizar es así que en estudios relacionados a la atmósfera se plantea características de puntos de muestreo o estaciones de monitoreo tales como (1):

- ❖ Población a monitorear: Comúnmente esta población está formada por la atmósfera de cierto lugar, por lo que existe ciertas dificultades en caso sea en la zona rural o urbana, tales como la obstrucción en el fajamiento del equipo de monitoreo, su seguridad de esta misma, tanto del ambiente como del hombre y su ubicación, entre otros (1).
- ❖ Situación económica, humano y tecnológica: Esta característica considera varios factores para muestrear tales como el potencial de la economía del investigar, los recursos humanos a administrar y la tecnología a utilizar en el estudio, siendo así una recomendación por parte de la Organización Mundial de la Salud OMS pautas a tener en cuenta en el desarrollo de escoger los puntos de monitoreo o estación de monitoreo los siguientes (1).

Tabla N° 2: Promedio de estaciones de muestreo por contaminantes

PROMEDIO DE ESTACIONES POR CONTAMINANTE						
Parámetros de Monitoreo						
Población urbana (Millones)	Partículas	Bióxido de Azufre	Óxido de nitrógeno	Oxidantes	Monóxido de carbono	Meteorológicos (velocidad y dirección del viento y gradientes térmicos)
Menos de 1	2	2	1	1	1	1
1 - 4	5	5	2	2	2	2
4 - 8	8	8	4	3	4	2
Mas de 8	10	10	5	4	5	3

Nota: Número de estaciones por población urbana y parámetros de monitoreo (1)

2.2.18. Criterios en los sitios a muestrear

Ya definidos las localidades o áreas a muestrear se deben tomar en cuenta algunas prácticas que se necesitan tener en los sitios (1):

Tabla N° 3: Criterio de muestreo

OBSTÁCULOS	DISTANCIA
Árboles y edificios	Se recomienda radio libre de 10 metros alrededor del sitio de muestreo.
Fuentes de emisión: industriales comerciales o móviles.	Se recomienda 20 metros de distancia del sitio de muestreo.
ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA	TIPO DE ESTUDIO
1.5 a 2.5 metros	Para estudios epidemiológicos o de tráfico vehicular.
2.5 a 4 metros y hasta 8 metros	Estudios de calidad del aire de fuentes fijas.
10 metros	Determinación de parámetros meteorológicos.

Nota: Características para el muestreo con respecto a la altura, tipo de estudio, obstáculo y distancia (1)

2.2.19. Sistema de aeronaves tripuladas a distancia (RPAS)

El sistema de aeronaves tripuladas a distancia se encuentra constituido por varios componentes, sin embargo, entre los elementales se encuentra configurado por un dispositivo de vuelo a control remoto, piloto capacitado en el manejo de dispositivos basados en el sistema RPAS, software que permita controlar las acciones de vuelo y aterrizaje y otros elementos anexos al sistema RPAS (36).

Composición del sistema de un RPAS

- ❖ El piloto/observador
- ❖ La estación de control
- ❖ El enlace (Data Link)
- ❖ La aeronave

Los drones son vehículos aéreos no tripulados (UAV o RPAS) que pueden ser pilotados de forma remota desde otra ubicación u operados de forma totalmente autónoma por la propia aeronave con programación previa al vuelo (36).

2.2.20. Tipos de sistemas de aeronaves tripuladas a distancia

2.2.20.1. Tipo multirrotor

Este tipo de drones es el más conocido y solicitado en el mercado debido a su versatilidad en los distintos trabajos en el mundo laboral. De acuerdo a sus características y funciones estos inician vuelo haciendo uso de hélices sujetas en el extremo de cada brazo. Las hélices se encuentran propulsadas por un motor eléctrico, una de las diferencias de los drones de ala fija, es que los drones de tipo multirrotor tienen la capacidad mantenerse fijo a cierta altura en un mismo lugar, estos también pueden ser subcategorizados a partir de la cantidad de brazos (37).

2.2.20.2. Tipo de ala fija

Los drones de tipo de ala fija requieren de la velocidad aerodinámica inicial con el objetivo de despegar y mantenerse a flote en el aire. Requiriendo así el apoyo de un usuario para iniciar el arranque, estructuralmente son muy parecidos las aeronaves de vuelo comunes como aviones, aunque entre sus características que aventajan a los drones de tipo de ala fija es que son capaces de sobrevolar un espacio varias horas y de esta manera cubren amplias extensiones de territorios, ideal para estudios de mapeo, entre otros (37).

2.2.21. Bases legales

2.2.21.1 Estándares de calidad ambiental (ECA) para aire MINAM

De acuerdo a la normativa del estado peruano los Estándares Ambientales de Calidad del Aire (ECA) desarrollados por el MINAM establecen los valores de rangos máximos admisibles de agentes nocivos en la atmósfera del ambiente. Su finalidad es asegurar la protección de la calidad ambiental mediante el uso de herramientas avanzadas de gestión ambiental y evaluaciones detalladas (38).

Tabla N° 4: Estándares de calidad ambiental del aire

PARÁMETROS	PERIODO	VALOR [ug/m ³]	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS
Material particulado con diámetro menor a	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	

2.5 micras (PM _{2.5})	Anual	25	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	

Nota: Extracto de cuadro de estándares de calidad ambiental ECA (38)

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Contaminante

“Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece o bien por arriba de su concentración natural en un medio no contaminado” (39).

2.3.2 Sensores fotoeléctricos

“Los sensores fotoeléctricos pueden detectar la presencia o la ausencia virtualmente de cualquier tipo de objeto sin tener ningún contacto físico con este. Por lo tanto, estos pueden satisfacer un amplio rango de necesidades de control: estos pueden contar, notar la altura, o el tamaño, la posición, monitorear velocidades de operación entre muchos otros” (40).

2.3.3 Antropogénicas

“Que se debe a las actividades humana” (39).

2.3.4. Medio ambiente

“Sistema global compuesto por factores naturales y humanos que contienen propiedades físicas, químicas o biológicas, socioculturales y sus interacciones en permanente cambio con el comportamiento humano o natural que gobiernan y limitan la existencia” (41).

2.3.5. Monitorear

“Seguir periódicamente con mediciones la presencia de algún componente; en este caso, de un contaminante” (39).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método

3.1.1.1. Método general

El método científico se refiere a una serie de procedimientos para resolver un problema o conjunto de problemas intelectuales utilizando las herramientas o métodos necesarios. El método científico se convierte en una "estrategia deliberada" dirigida a resolver preguntas específicas planteadas por los investigadores (42).

3.1.1.2. Método específico

El método hipotético-deductivo es el procedimiento o camino que sigue el investigador para traducir su actividad en práctica científica. El método de la hipótesis deductiva tiene varios pasos básicos: observar el fenómeno en estudio, proponer una hipótesis para explicar el fenómeno, sacar conclusiones o proposiciones que son más fundamentales que la hipótesis misma y probar la verdad de las declaraciones deductivas comparándolas con experiencia (42).

3.1.2. Alcance de la investigación

3.1.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es básica porque el presente trabajo de investigación tiene como objetivo mejorar el conocimiento de la sociedad para la toma de decisiones futuras (43).

3.1.2.2. Nivel de investigación

El estudio tiene un nivel de investigación correlacional, ya que consistió en la evaluación de dos o más variables con el objetivo de investigar el grado de correlación donde los efectos de las variables independientes y dependientes sobre la concentración de material particulado varían con la altura (44).

3.2. Diseño de la investigación

De acuerdo a la investigación realizada el diseño de la investigación predominante y escogida para la presente, es de tipo no experimental transeccional correlacional. Este diseño transeccional correlacional destaca la característica de permitir al investigador analizar y estudiar la relación de hechos y fenómenos de la realidad (variable), con la

finalidad de conocer su nivel o grado de influencia o ausencia de ellas, de esta manera este diseño busca determinar el grado de relación entre las variables que se estudian (43).

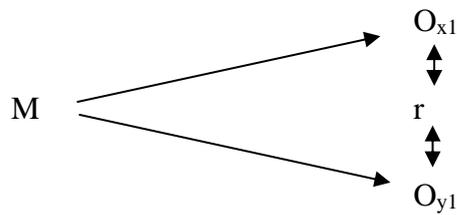


Figura 1: Diseño de investigación

Donde (45):

M, es la muestra de la población conformada por la atmosfera de la zona urbana y rural en el distrito de Huancayo.

O_{x1} , es la observación o medición de la variable x_1 .

r, es el coeficiente de correlación entre dos variables.

O_{y1} , es la observación o medición de la variable y_1 .

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población del presente estudio estuvo conformada por la atmósfera de la zona urbana y rural del distrito de Huancayo, como se observa en la siguiente figura N° 2.

De acuerdo a la figura N° 2, se puede denotar los límites del distrito de Huancayo, así como los puntos de estudio que representan la zona urbana y zona rural, la zona urbana está representada por los puntos L1 (Plaza la constitución) y L2 (Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar) mientras que la zona rural está representada por el punto L3 (Centro Poblado de Chamiseria) cuyas coordenadas precisas se describen la parte de procedimiento, así mismo la figura N° 2 se puede observar de mejor manera en el anexo N° 19.

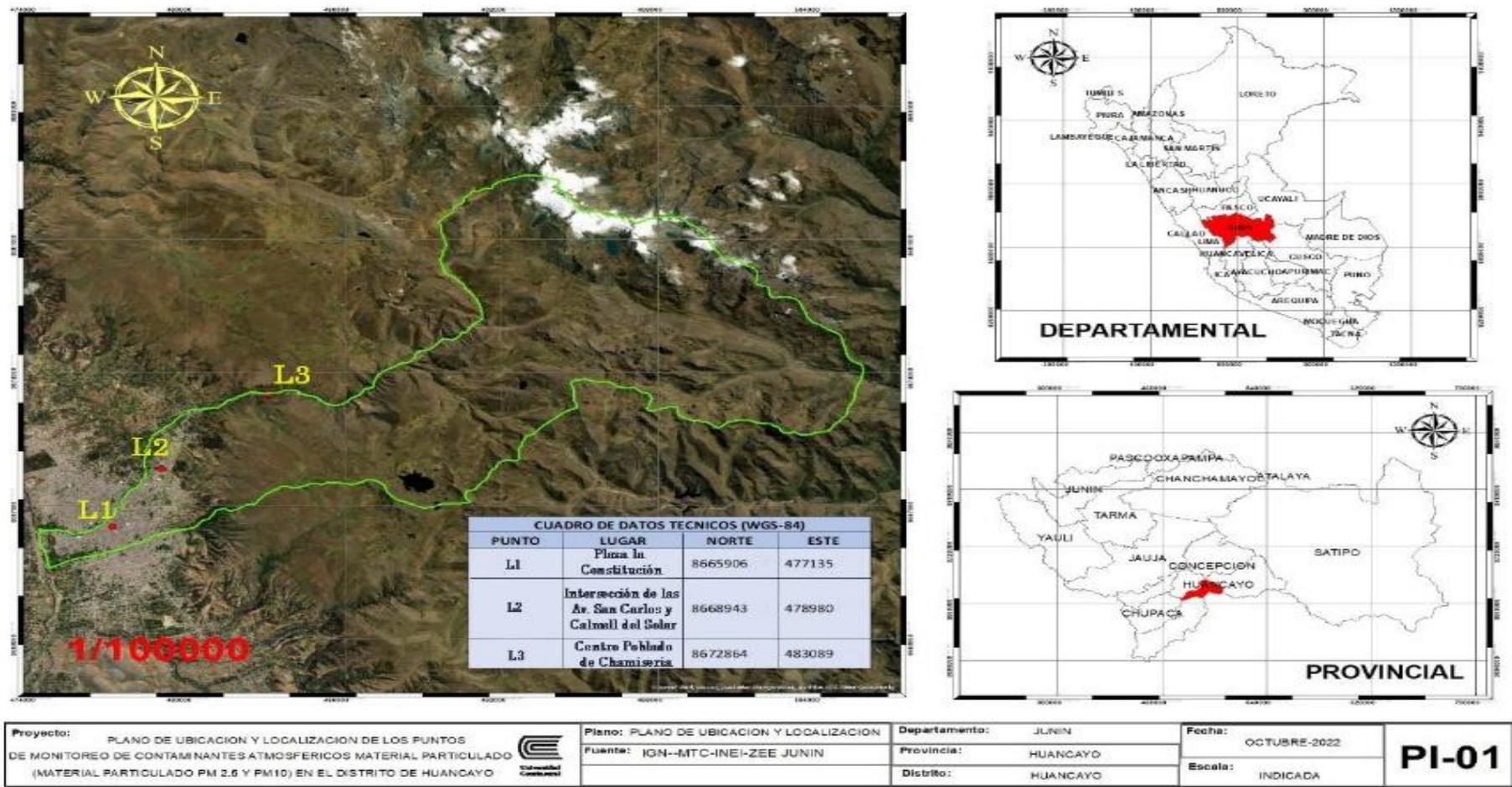


Figura 2: Mapa de ubicación y localización

3.3.2. Muestra

El tipo de muestreo fue el no probabilístico de acuerdo al criterio de los investigadores por ser conveniente (46), para el presente trabajo investigación se toma datos de muestra como zona urbana en la Plaza de la Constitución (L1) y la intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) y como zona rural el centro poblado de Chamiseria (L3) pertenecientes al distrito de Huancayo. A continuación, la cantidad de mediciones se detallan en la siguiente tabla.

De acuerdo a los propuesto en el manual del “Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial – UNMSM” denominada “Gestión de la Calidad del Aire: Causas, Efectos y Soluciones” que propone que los monitoreos realizados en una población menor a 1 millón de habitantes que es el caso del distrito de Huancayo se deben seguir las siguientes reglas que se muestran en la tabla N° 5 (1). Así mismo en el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire” estandariza que para una población de 750 a 999 mil habitantes el número de estaciones mínimas de monitoreo deberá ser de 3, esto se observa de mejor manera en la tabla N° 6(35).

Tabla N° 5: Selección de cantidad de estaciones o puntos de monitoreo

PROMEDIO DE ESTACIONES POR CONTAMINANTE						
Parámetros de monitoreo						
Población urbana (Millones)	Partículas	Bióxido de Azufre	Óxido de Nitrógeno	Oxidantes	Monóxido de Carbono	Meteorológicos (velocidad y dirección del viento y gradientes térmicos)
Menos de 1	2	2	1	1	1	1
1 - 4	5	5	2	2	2	2
4 - 8	8	8	4	3	4	2
Mas de 8	10	10	5	4	5	3

Nota: Número mínimo de estaciones monitoreo por población y parámetro de monitoreo

Tabla N° 6: Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad de aire, según criterio poblacional

Población (miles de habitantes)	Número mínimo de estaciones de monitoreo
0 – 249	1
250 – 749	2
750 – 999	3
1000 – 1499	4
1500 – 1999	5
2000 – 2749	6
2750 – 3749	7
3750 – 4749	8
4750 – 5999	9
≥ 6000	10

Nota: Número mínimo de estaciones monitoreo por población

En consecuencia, a lo descrito se tomó como referencia 2 zonas de monitoreo dentro del distrito de Huancayo, dos puntos que represente la zona urbana y el tercero que represente la zona rural.

Por otro lado, la zona urbana se dividió en dos puntos, esto en razón de mejorar los datos ya que la zona urbana se encuentra cubierta por una mayor población y por ende mayor emisión de contaminantes.

3.3.2.1. Cantidad de mediciones

Tabla N° 7: Cantidad de veces de medición por zona y altura

ALTURA	ZONA	INDICADOR	
		Material particulado PM _{2.5} ug/m ³	Material particulado PM ₁₀ ug/m ³

	Plaza la Constitución (L1) – Zona urbana	3	3
2.5 metros	Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) – Zona urbana	3	3
	Centro Poblado de Chamiseria (L3) – Zona rural	3	3
	Plaza la Constitución (L1) – zona urbana	3	3
8 metros	Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) – Zona urbana	3	3
	Centro Poblado de Chamiseria (L3) – Zona rural	3	3
	Plaza la Constitución (L1) – Zona urbana	3	3
10 metros	Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) – Zona urbana	3	3
	Centro Poblado de Chamiseria (L3) – Zona rural	3	3

Total	27	27
-------	----	----

Nota: Cantidad de medición de PM_{2.5} y PM₁₀ por altura y zona

En conclusión, la cantidad de mediciones realizadas estuvo conformada por 54 mediciones, lo cual suman 27 horas de medición.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas e instrumentos

3.4.1.1. Técnica

La observación es una técnica que recolecta datos de algún fenómeno para su análisis (44); es por esto que en esta investigación se aplica dicha técnica ya que se recolectaron datos mediante el uso de sistema (RPAS) acoplado con el medidor portátil de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) con el fin de analizar la concentración de contaminantes a distintas alturas en la atmósfera de la zona urbana y rural del distrito de Huancayo.

3.4.1.2 Instrumentos

El instrumento utilizado para el desarrollo de la investigación fue un cuaderno de registro y medidor de partículas atmosféricas de modelo PA-II-SD de la marca PurpleAir que posee dos sensores automáticos que mide PM₁₀ y PM_{2.5}.

3.4.2. Materiales

Los siguientes materiales serán considerados para este estudio:

Medidor modelo PA-II-SD de la marca Purple Air

Es un dispositivo de bajo costo, que permite tomar medidas de material particulado en tiempo real, fácil y ligero de transportar. El medidor portátil es un medidor de sencilla manipulación tanto en la instalación y operación que exige de una alimentación constante de fluido eléctrico con salida de datos a Wifi. El medidor está compuesto por una coraza de policloruro de vinilo de un espesor aproximado de 8 milímetro, un sensor incorporado de partículas laser dual, utiliza un sensor (contador de partículas laser) Plantower PMS5003 los cuales vienen calibrados de fábrica y tiene una comunicación de datos con el chip ESP8266 que funciona a base de un código de Arduino (47).

Su funcionamiento consiste en la extracción de unas muestras de aire con la ayuda de un ventilador integrado a través de un rayo láser. El haz de luz realiza el reflejo de

cualquier partícula fina que presente la muestra de aire sobre una placa de detección, tal como sucede con el polvo contra el rayo del sol, de esta manera este proceso permite hallar el tamaño y la cantidad de partículas. Este proceso pertenece al método de sistemas automáticos para la cuantificación de material particulado “Método de cuantificación por Dispersión de la Luz” o también conocido como contadores ópticos de partículas basado en la respuesta de una muestra a un haz de luz que facilita la determinación del tamaño y cantidad de las partículas en función del ángulo de reflexión, consecutivamente el equipo calcula la masa y luego su concentración en microgramos por metro cúbico (47).

En la siguiente figura N° 3, se puede observar el medidor PurpleAir, donde se evidencia que presenta una carcasa de protección, se puede ver dos sensores de partículas de color azul, así como una entrada tipo D para la alimentación de energía.

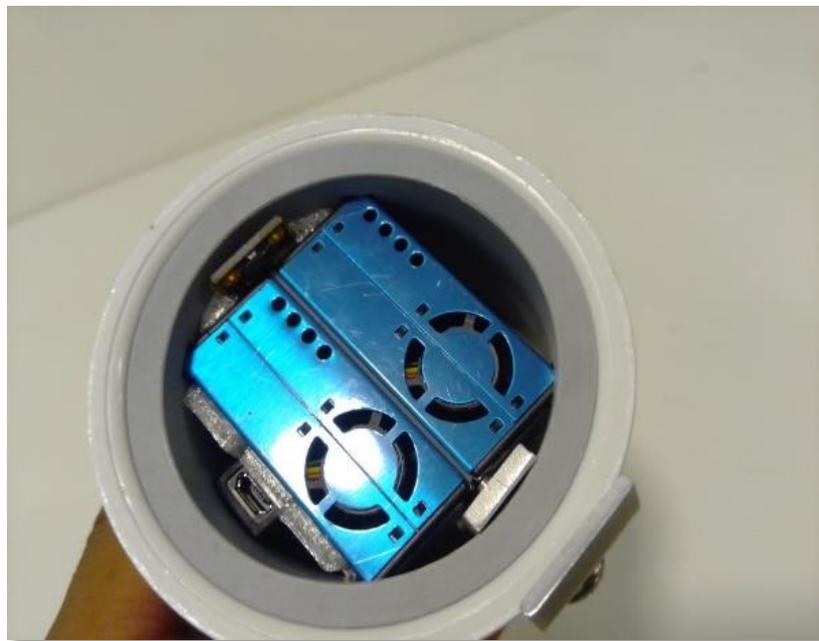


Figura 3: Medidor PurpleAir

Dron DJI MAVIC AIR 2 S

Es un dron de gama media-alta de un peso aproximado a 600 gramos, tiene la capacidad de realizar capturas de imágenes de hasta 20 megapíxeles, además de ellos graba videos en 5,4 k gracias a su sensor de una pulgada, con una distancia máxima de vuelo de 18.5 Km, y elevación máxima de 5000 m (48).

El dron cuenta con sensores bidireccionales de cuatro direcciones que alertan ante cualquier obstáculo. También el piloto automático APAS 4.0, permite al dron sortear los obstáculos a la perfección de manera autónoma. Así también se encuentran integrados los

anteriores sistemas como AirSense para la alerta contra aviones, Geoperimetraje GEO 2.0 que alerta antes zonas restringidas, MasterShot que planifica rutas de vuelo y Focus Track que sigue al sujeto (48).

A continuacion se puede observar en la figura N° 4 el dron DJI MAVIC AIR 2 S que presenta 4 helices, una cámara profesional, asi como sus sensores en forma de pequeñas cámaras que permiten el vuelo automático.



Figura 4: Dron DJI MAVIC AIR 2 S

Smartphone

El teléfono inteligente Galaxy S20 tiene la particularidad de ser compatible con el aplicativo DJI Fly. Este teléfono cuenta con las siguientes características tales como el tamaño de la pantalla de 160 mm o 6.2 in aproximadamente, una resolución de 3200x1440 (Quad HD+) tecnología Dynamic AMOLED 2X, número de colores de 16M, sistema operativo Android y sensores como acelerómetro, barómetro, sensor de huella dactilar, giroscopio, geomagnético, hall, censo de luz RGB y sensor de proximidad; características que fueron necesarios para realizar los vuelos del Dron (49).

En la siguiente figura N° 5, se puede observar el smartphone con la pantalla de inicio del programa DJIfly acoplado al mando de control del dron, con el cual se programa los vuelos del dron.



Figura 5: Tablet o celular

GPS Garmin

El GPS posee una pantalla de 2.6" capaz de leerse en luz del día, así como un receptor GPS y GLONASS, compacto y resistente al agua, incluye un altímetro barométrico, así como una brújula de tres ejes, con un sistema de batería doble que se carga rápidamente o también el uso de pilas AA convencionales con capacidad de autonomía de hasta 16 horas a máxima carga (50).

En la siguiente figura N° 6, se puede observar el GPS de marca Garmin de color naranja con negro con el cual se realizó la toma de coordenadas en cada punto de trabajo.



Figura 6: GPS GARMIN

Batería externa de 5000 mAh

Es una batería portátil recargable de 5000 mAh, ideal para cargar smartphones, tablets, cámaras digitales, ligero y de fácil transporte. Además, presenta 2 puertos de USB, con un tiempo de recarga completa de 2 horas aproximadamente y con una transmisión de carga de 4 horas (51).

En la siguiente figura N° 7, se puede observar la batería externa de color negro que se utilizó para alimentar de energía al medidor PurpleAir.



Figura 7: Batería externa de 5000 mAh

Laptop

El ordenador portátil Acer del modelo A315 que cuenta con un microprocesador Intel Core i5-1035G1, una pantalla de 15.6 in, memoria RAM DE 8 GB y sistema operativo de Windows 10; fue óptimo para el presente estudio realizado (52).

3.4.3. Procedimientos

3.4.3.1. Etapa preliminar

Adquisición de materiales y equipos

Se realizó la compra del micro medidor portátil de partículas atmosféricas para estudios de calidad del aire del modelo PA-II-SD de la marca Purple Air, Batería externa de 5000 mAh y la adquisición de la aeronave pilotada a distancia (RPAS) o comúnmente conocido como dron.

Ubicación de zonas de trabajo

Seleccionamos los puntos a muestreo a través del Google Earth con criterios de mayor tráfico vehicular en la zona urbana y zona rural del distrito de Huancayo con las mismas características, consecutivamente a ello se plasmó estos puntos en plano de ubicación y localización realizado con el programa ArcGIS, este plano se observa en el Anexo N°19.

- ❖ Primer punto de muestreo: Plaza de la Constitución ubicado en el centro de la ciudad con coordenadas este 477135 y norte 8665906 con una altitud de 3245msnm.
- ❖ Segundo punto de muestreo: Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar ubicado a un extremo de la ciudad con coordenadas este 478980 y norte 8668943 con una altitud de 3257msnm.
- ❖ Tercer punto de muestreo: Centro Poblado de Chamiseria ubicado a afueras de la ciudad con coordenadas este 483089 y norte 8672864 con una altitud de 3340msnm.

Pruebas de funcionamiento

Se realizó las pruebas de funcionamiento del micromedidor para los contaminantes establecido con la ayuda de un celular para la recepción de las concentraciones, donde se estableció una conexión constante de la transmisión de datos a través del wifi a una altura de 12 metros del micromedidor al celular, ya que pasado los 12 metros la transmisión de datos no fue constante.

Se realizó la prueba de funcionamiento del dron (DJI MAVIC AIR 2) acoplado con el micromedidor donde se observó que a partir de los 10 metros el dron demostraba un vuelo turbulento debido al sobrepeso para el cual no fue diseñado. Sin embargo, aun fue óptimo su uso debido a su facilidad de transporte y versatilidad en la instalación en cualquier área que se desea realizar un estudio.

Elección de altura de medición

Luego de la prueba de funcionamiento, se observó las dificultades de vuelo del dron con la carga extra que fue el micromedidor y la batería externa, ya que este presentó inestabilidad por encima de los 10 metros de altura. Observando las limitaciones y revisado el manual “Instituto de la Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM” titulado “Gestión de la Calidad de Aire: Causas, Efectos y Soluciones” menciona que es

posible observar características distintas a diferentes alturas, esto debido a sus distintos casos de estudio al cual se encuentran enfocadas (1), como se puede observar en la siguiente tabla N° 8.

Tabla N° 8: Criterio de muestreo

OBSTÁCULOS	DISTANCIA
Árboles y edificios	Se recomienda radio libre de 10 metros alrededor del sitio de muestreo.
Fuentes de emisión: industriales comerciales o móviles.	Se recomienda 20 metros de distancia del sitio de muestreo.
ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA	TIPO DE ESTUDIO
1.5 a 2.5 metros	Para estudios epidemiológicos o de tráfico vehicular.
2.5 a 4 metros y hasta 8 metros	Estudios de calidad del aire de fuentes fijas.
10 metros	Determinación de parámetros meteorológicos.

Nota: Características para el muestreo con respecto a la altura, tipo de estudio, obstáculo y distancia (1)

Con el objetivo de enfatizar la elección de las alturas de medición, se revisó la tesis titulada “VERIFICACIÓN DE LA ALTURA PARA LA MEDICIÓN DE PM₁₀ Y PM_{2.5} EN CALIDAD DEL AIRE COMO PARTE DEL CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE - SVC”, donde de manera similar menciona que las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} varían a una altura de 2 y 10 metros de altura (53).

Del mismo modo, de acuerdo a la tesis titulada “Influencia de la altura de toma de muestra y las estaciones del año en la calidad del aire de la población de Segunda Jerusalén, Rioja, San Martín -2014”, menciona que la altura influye en la disminución de la concentración de los contaminantes a menudo la altura aumenta, medido a 1.5 y 8 metros de altura.

En consecuencia, a lo expuesto se eligió las alturas de medición para la lectura de datos de concentración de PM_{2.5} y PM₁₀ a 2.5 metros, 8 metros y 10 metros (54).

Frecuencia de medición

Luego de realizar los pasos preliminares para la medición se planteó la frecuencia de medición en la zona urbana y rural en los puntos anteriormente fijados donde se

priorizó el horario a la mayor incidencia de tránsito urbano y vehicular, siendo estos horarios por la mañana de 8 a 9 am, por la tarde de 1 a 2 pm y por la noche de 6 a 7 pm. Así mismo se establece esta frecuencia con la finalidad de considerar todos los cambios posibles durante el día, ya que es conocido que durante el día existen cambios temporales que en un mismo día pueden cambiar las condiciones meteorológicas que influyan en la concentración de los agentes contaminantes atmosféricos (1).

Tabla N° 9: Frecuencia de medición

FRECUENCIA DE MUESTREO				
Zona a muestrear	Altura (Metros)	Horario	Fecha	
Plaza de la Constitución (L1)- Zona Urbana	2.5	08:00 a 09:00 am Mañana	Lunes 26 de setiembre	Martes 3 de octubre
	8			
	10			
Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2)-Zona Urbana	2.5	01:00 a 02:00 pm Tarde	Martes 27 de setiembre	Martes 4 de octubre
	8			
	10			
Centro Poblado de Chamiseria (L3) Zona Rural	2.5	06:00 a 07:00 pm Noche	Martes 27 de setiembre	Martes 4 de octubre
	8			
	10			

Nota: Frecuencia de muestreo por zona, altura, horario y fecha

3.4.3.2. Etapa de campo

Procedimiento de campo de objetivo 1, 2 y 3

El proceso en campo para la determinación de los objetivos 1, 2 y 3 son los mismos, por lo tanto, para la determinación de los objetivos:

1. Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado ($PM_{2.5}$), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.
2. Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.
3. Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo – 2022.

Se procedió a realizar las siguientes etapas para determinar los objetivos planteados:

Selección del área de vuelo dentro de zona de muestreo

Se seleccionó el espacio o área de vuelo del DRON libre de obstáculos que pueda haber dificultado el vuelo del DRON dentro del radio de las coordenadas fijadas en los tres puntos mencionados anteriormente.

En la siguiente figura N° 8 se puede observar sobrevolando el dron con el medidor acoplado en el área de vuelo seleccionado en el centro poblado de Chamiseria (L3).

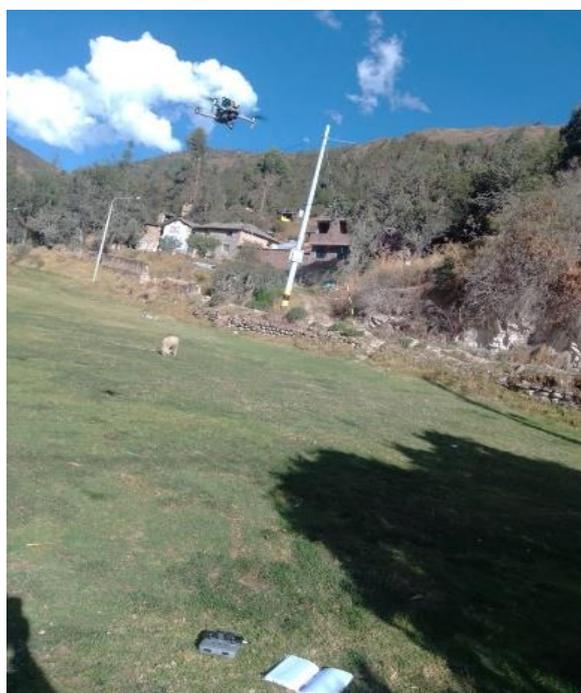


Figura 8: Selección de área de vuelo libre de obstáculos

Sincronización de transmisión de datos con el celular

Se realizó el encendido del micromedidor Purple Air con la finalidad de establecer un equilibrio antes de realizar el acoplamiento en el DRON.

Se realizó la sincronización de la lectura de datos del medidor con el celular donde a través de Wifi y una aplicación de nombre Purple Air propia del medidor PurpleAir en la cual los datos de la medición de PM_{2.5} y PM₁₀, se registra en el celular en tiempo real.

En la siguiente figura N° 9, se puede observar la transmisión de la información medida por el medidor PurpleAir hacia el celular a través del Wifi.



Figura 9: Lectura del medidor en el celular

Preparación de componentes para la medición

Una vez preparado el medidor portátil se realizó el ensamblaje y preparación del dron con sus componentes necesarios, tales como el encendido del mando de control remoto que requirió de un celular con la aplicación DJI Fly con el cual se realizó la tarea de programar vuelo a alturas precisas, así como también la incorporación de las baterías para cada vuelo, siendo esta su capacidad máxima de 20 min de cada batería, así pues, para cada vuelo se realizó el cambio de baterías y seguidamente se ejecutó la fijación del dron en un suelo firme.

En la siguiente figura N° 10, se puede observar la fijación del dron en suelo firme listo para levantar, así como la preparación del cuaderno para el registro de datos.



Figura 10: Preparación del dron con sus componentes

Ensamblaje de medidor con el dron

Habiendo preparado los equipos necesarios (Medidor Air Purple, DRON DJI MAVIC AIR 2, Batería Externa de 5000mAh), se realizó el acoplamiento de la Batería Externa con el Medidor adhiriendo ambos con una cinta adhesiva teniendo en cuenta no cubrir los ventiladores de los sensores del medidor, posteriormente se realizó el acoplamiento del Medidor y Batería en el DRON de manera manual fijando sobre el lomo del DRON con cinta aislante, este procedimiento se desarrolló de manera repetitiva cada que el dron alzo vuelo.

En la siguiente figura N° 11, se puede observar el acoplamiento del medidor y la batería sobre el lomo del dron para el sobrevuelo respectivo a cada altura.



Figura 11: Acoplamiento del medidor y batería sobre el lomo del dron

Medición de contaminantes atmosféricos

Luego de que el dron alzó vuelo, la primera medición fue a una altura de 2.5 metros, con un tiempo aproximado de 5 minutos, donde se registró tanto en el celular y cuaderno los datos que estos variaban, posteriormente se elevó al dron a 8 metros y finalmente a 10 metros, luego de ello se aterrizó al dron para realizar el cambio de batería y alistar para un segundo vuelo.

En la siguiente figura N° 12, se puede observar el despegue del dron para la medición de datos de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la zona urbana en el punto L2.



Figura 12: Medición de contaminantes atmosféricos

Lectura de datos en el celular y cuaderno de registro

Realizado los pasos descritos y teniendo a la mano el cuaderno de registro, así como el celular sincronizado con el medidor se procedió a realizar la elevación del dron en primera instancia a una altura 2.5 metros durante 5 minutos aproximadamente, posteriormente a 8 metros de altura a la misma duración y finalmente a 10 metros también durante 5 minutos.

Durante el proceso de vuelo en las tres alturas el medidor emitió los datos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ hacia el celular a través del wifi donde se transmitió en el aplicativo en tiempo real, donde se registró cada cambio de valor del $PM_{2.5}$ y PM_{10} tanto en el cuaderno de registro, así como en las capturas de pantalla del celular. En total se realizó una captura de 15 datos por vuelo, de este modo en cada horario se adquirió un total de 30 datos por cada altura, en consecuencia, durante el día se recopiló un total de 270 seccionado por, altura, horario y zona. De esta manera se obtuvo al final de la medición 810 datos, esto se observa de mejor manera en el Anexo N° 2.

En la siguiente figura N° 13, se puede observar la medición de datos a distintas alturas en la zona urbana en el punto L2.



Figura 13: Lectura de datos en celular y cuaderno de registro

Repetición de medición en los puntos planteados

Esta tarea se repitió en el punto L1, L2, L3 en la mañana, tarde y noche, los vuelos realizados fueron de 2 vuelos por horario. Siendo también este proceso de medición en dos tiempos (1° y 2° semana) los cuales se promediaron con el objetivo de obtener una mejor precisión en los datos.

En la siguiente figura N° 14, se puede observar las distintas mediciones realizadas tanto en la zona urbana y zona rural.



Figura 14: Repetición de medición

3.4.3.3. Etapa de gabinete

Procedimiento de gabinete de objetivo 1, 2 y 3

El proceso en gabinete para la determinación de los objetivos 1 y 2 son los mismos, así pues, para la determinación de los objetivos:

1. Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado ($PM_{2.5}$), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.

- Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.
- Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo – 2022.

Se siguieron las siguientes etapas en gabinete para determinar los objetivos planteados:

Transcripción de datos de campo

Durante el trabajo de gabinete se realizó la transcripción de la data obtenido en un cuaderno de registro y celular, hacia un libro de Excel en un computador, donde se realizó el promedio de los datos medidos en las dos semanas con la finalidad de disminuir y mejorar la calidad de datos.

Los datos promediados se ordenaron en un libro Excel de tal manera que fuera útil como punto base para ser posteriormente procesados en el programa SPSS, en este programa se realizó los análisis estadísticos de tipo descriptivo, así como también inferencial.

En la siguiente figura N° 15, se puede observar cómo se realizó la transcripción de datos obtenidos en campo hacia un libro de Excel para realizar los cálculos pertinentes.

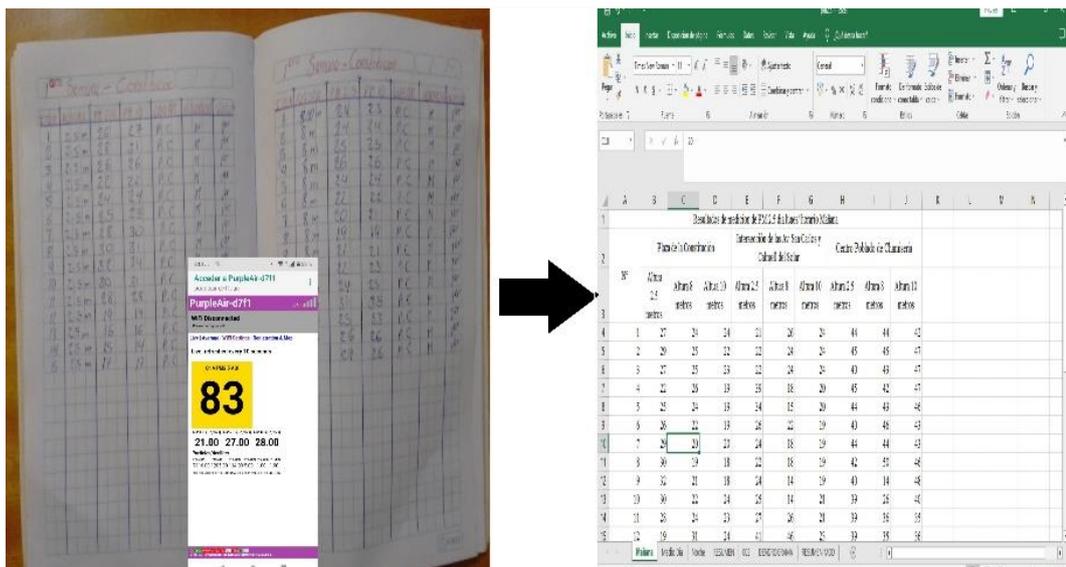


Figura 15: Transcripción de datos de campo a libro de Excel

Análisis estadístico descriptivo en Excel

Con los datos ordenados del libro de Excel se realizó un análisis descriptivo con el fin de elaborar gráficos en barras, donde se representó la variación de la concentración del material particulado con respecto a la altura al cual fue medido para los tres objetivos planteados.

En la siguiente figura N° 16, se puede observar la manera en que se realizó el análisis descriptivo en el programa Excel para la elaboración de gráficos de barra.

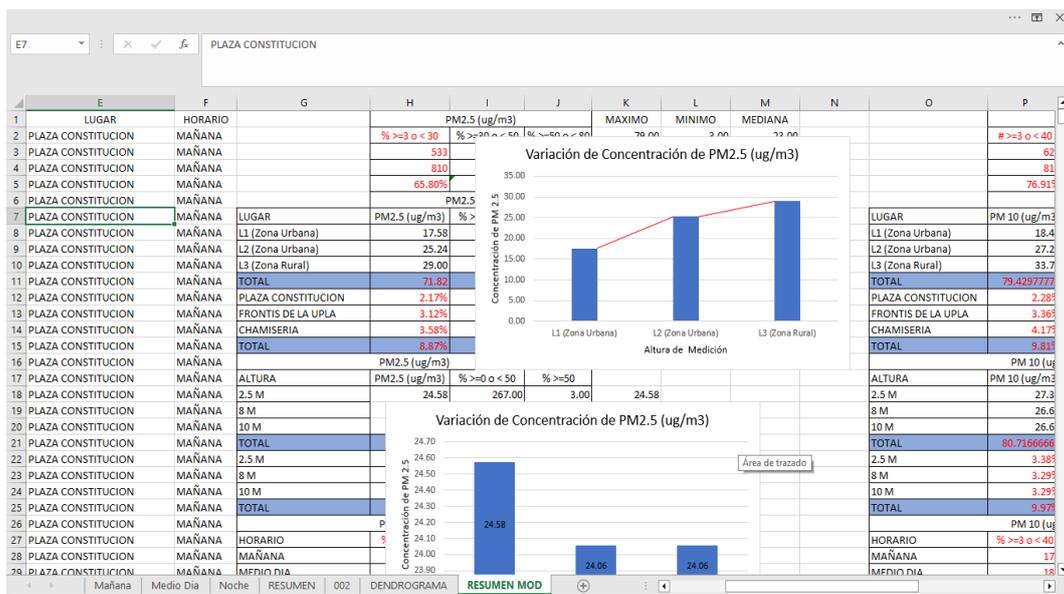


Figura 16: Elaboración de gráficos de barras en Excel

Análisis estadístico descriptivo en SPSS

Para conocer el grado de validación de los datos se utilizó el programa IBM SPSS statistics iniciando con la inserción de los caracteres necesarios para procesar la data obtenida en campo, en la ventana vista de variables, tales como las variables: lugar, altura y concentración; y sus cualidades de estas mismas como denominación de la variable, tipo de variable, ancho de celdas, numero de decimales, abreviatura de la denominación, etiquetas de valor, valores perdidos, cantidad de columnas, alineación, medida de la variable y entrada, consecutivamente se realizó la inserción de datos la ventana de vista de datos.

Seguidamente se realizó el análisis de estadístico descriptivo con las herramientas del programa IBM SPSS statistics con el objetivo de conocer el comportamiento y características de los datos para la elección adecuada de la prueba de hipótesis.

Así mismo en la siguiente figura N° 16, se puede observar cómo se realizó el análisis estadístico descriptivo en el programa SPSS.

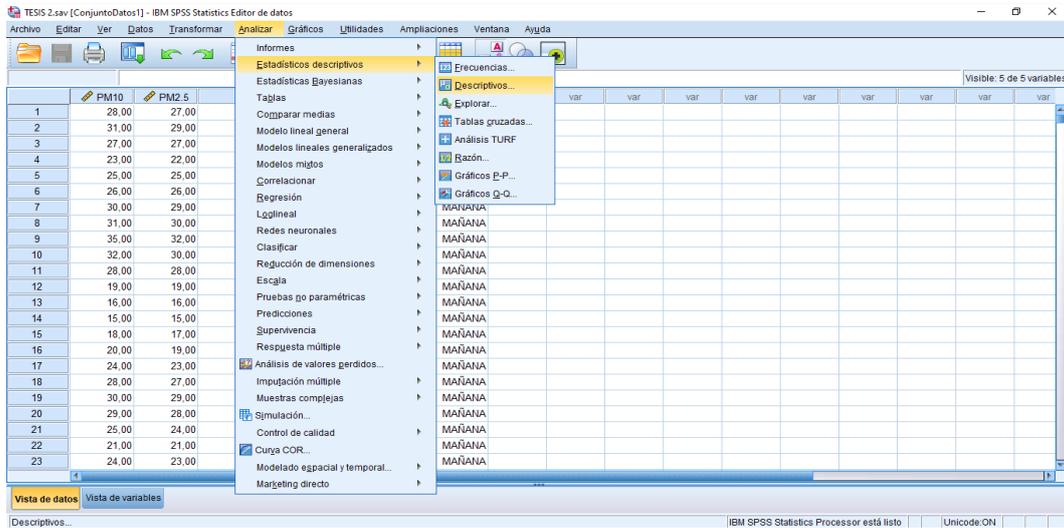


Figura 17: Análisis estadístico en IBM SPSS statistics25

Elección de prueba de hipótesis en SPSS

Realizada el análisis estadístico descriptivo, se pasó a realizar el análisis de la prueba de normalidad y homogeneidad, se analizó los datos para conocer la distribución normal a través de la prueba de normalidad Kolmogorow -Smirnov ya que la cantidad de datos fueron mayor a 50, así como también se usó la prueba de homogeneidad de Levene donde a partir de los resultados obtenidos de los datos se optó por la elección de la prueba de hipótesis no paramétrica Correlación de Spearman.

A continuación, en la figura N° 17, se puede observar el análisis realizado en el programa SPSS de pruebas de normalidad y homogeneidad.

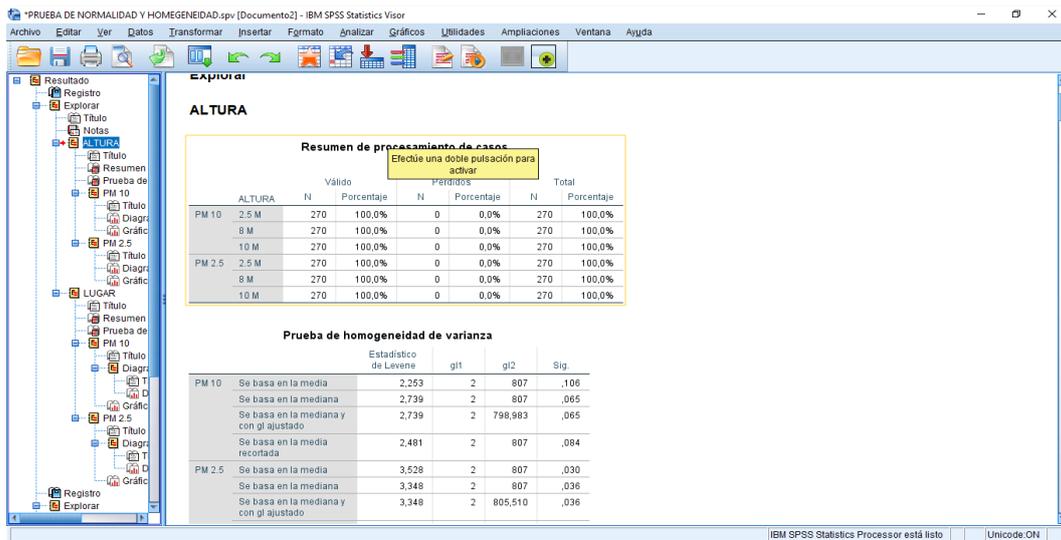


Figura 18: Pruebas de normalidad y homogeneidad en IBM SPSS statistics25

Comprobación de hipótesis

Conocida la prueba de hipótesis, se configuró en el programa SPSS para dicha prueba de correlación bivariados y se optó por el coeficiente correlación de Spearman donde a través del uso de fórmulas estadísticas que realiza el programa, este resumió el resultado en la tabla estadística que posteriormente se interpretó, analizó y concluyó en los apartados posteriores.

En la siguiente figura N° 19, se puede observar el análisis realizado en el programa SPSS para la determinación de la validez de cada hipótesis planteada.

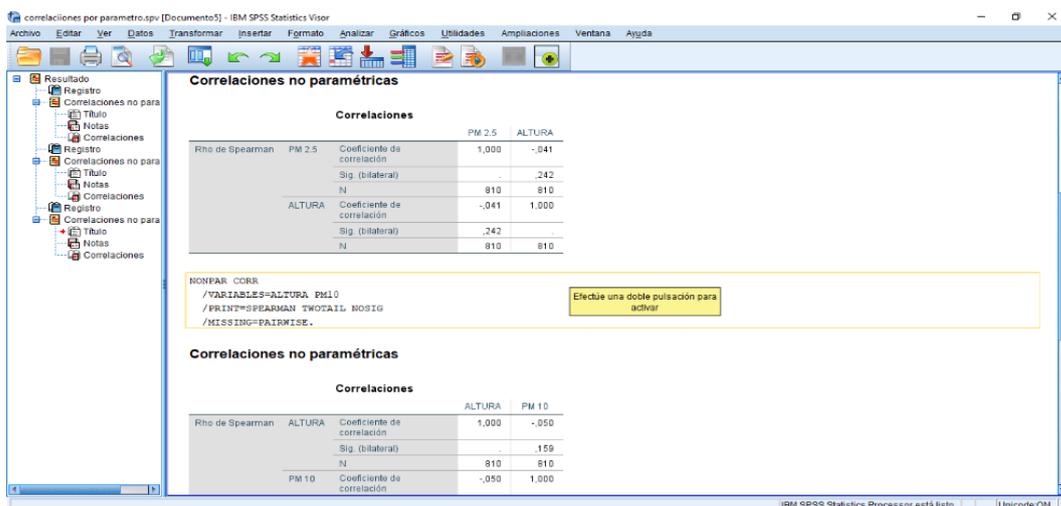


Figura 19: Comprobación de hipótesis en IBM SPSS statistics25

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

El conglomerado de datos registrados se puede observar en el anexo N° 02. A continuación se presenta los resultados por objetivo del presente trabajo de investigación.

4.1.1. Variación de la concentración del material particulado (PM_{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022

4.1.1.1. Estadística descriptiva de PM_{2.5} ug/m³

A continuación, se muestra los resultados de la estadística descriptiva en la tabla N° 10. Se observa que del procesamiento de datos en la tabla N° 10 la concentración de PM_{2.5} (ug/m³) máxima registrada es 79 ug/m³ que se encuentra ubicado en la mediciones tomadas en el punto L1 en horario de medio día, así mismo la concentración mínima registrada es de 3 ug/m³ fue registrada también en el punto L1 en el horario de medio día y la mediana es de 23 ug/m³, media de 23.94 ug/m³, la moda es 12 ug/m³, desviación estándar de 12.30 que nos permite saber que los datos se encuentran dispersos con respecto a la media, suponiendo así que el 68% de los datos se encuentran en el rango de los datos entre 36.24 y 11.64 ug/m³ y una varianza de 151.20 también sugiriendo que los datos se encuentran dispersos, siendo un total de 810 datos analizados.

Tabla N° 10: Resultados de estadística descriptiva de PM_{2.5} ug/m³

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA		
N°	Ítem	PM _{2.5} (ug/m ³)
1	Valor máximo	79
2	Valor mínimo	3
3	Mediana	23
4	Media	23.94
5	Moda	12
6	Desviación Estándar	12.30

7	Varianza	151.20
8	Total, de datos	810

Nota: Resultados de estadística descriptiva obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

4.1.1.2. Resultado de variación de concentración de PM_{2.5} por altura

En la tabla N° 11 se divide que en el material particulado PM_{2.5} (ug/m³) medido a una altura de 2.5 metros cuenta con una concentración de 24.58 (ug/m³), mientras que el medido a una altura de 8 metros tiene una concentración de 24.06 (ug/m³) y finalmente se observa que en medido a una altura de 10 metros existe una concentración de 24.06 (ug/m³).

Tabla N° 11: Concentración media de material particulado PM_{2.5} ug/m³

Media de la concentración de PM _{2.5} por altura			
Descripción	Altura de medición		
	2.5 m	8 m	10 m
Material			
Particulado PM _{2.5} (ug/m ³)	24.58	24.06	24.06

Nota: Resultados de PM_{2.5} ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

La variación de la concentración de material particulado PM_{2.5} medido a distintas alturas es mínima, estos valores encontrados solo se diferencian en sus decimales, induciendo que realmente no existe una variación significativa.

La variación de estos resultados se puede apreciar mejor en la siguiente figura N° 20, donde se aprecia que la concentración disminuye según la altura asciende:

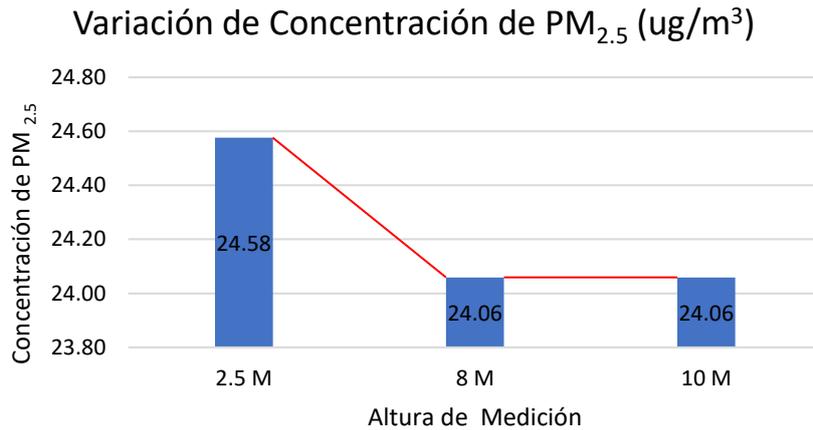


Figura 20: Variación de concentración de PM_{2.5} ug/m³ por altura

4.1.2. Variación de la concentración del material particulado (PM₁₀), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022

4.1.2.1. Estadística descriptiva de PM₁₀ ug/m³

A continuación, en la tabla N° 12, se muestra los resultados obtenidos del procesamiento de datos. Se observa en la tabla N° 12 la concentración de PM₁₀ (ug/m³) máxima es 83 ug/m³ que se encuentra ubicado en la mediciones tomadas en el punto L1 en horario de medio día, del mismo modo la concentración mínima es de 3 ug/m³ que se encuentra ubicado en la mediciones tomadas en el punto L1 en horario de medio día, la mediana es de 24 ug/m³, la media es 26.48 ug/m³, la moda de 13 ug/m³, desviación estándar de 15.06 sugiriendo una dispersión de los datos con respecto a su media, suponiendo así que el 68% de los datos se encuentran en el rango de los datos entre 41.54 y 11.42 ug/m³ y una varianza de 226.81 también sugieren una variación de los datos con respecto a su media, finalmente un total de datos procesados es de 810.

Tabla N° 12: Resultados de estadística descriptiva de PM₁₀ ug/m³

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA		
N°	Ítem	PM ₁₀ (ug/m ³)
1	Valor máximo	83
2	Valor mínimo	3
3	Mediana	24

4	Media	26.48
5	Moda	13
6	Desviación Estándar	15.06
7	Varianza	226.81
8	Total, de datos	810

Nota: Resultados de estadística descriptiva obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

4.1.2.2. Resultado de variación de concentración de PM₁₀ por altura

En la tabla N° 13 se divide que en el material particulado PM₁₀ (ug/m³) medido a una altura de 2.5 metros existe una concentración de 27.38 (ug/m³), mientras que medido a una altura de 8 metros existe una concentración de 26.67 (ug/m³) y finalmente se observa que en medido a una altura de 10 metros existe una concentración de 26.67 (ug/m³).

Tabla N° 13: Concentración media de material particulado PM₁₀ ug/m³

Media de la Concentración de PM ₁₀ por altura			
Descripción	Altura de medición		
	2.5 m	8 m	10 m
Material			
Particulado PM ₁₀ (ug/m ³)	27.38	26.67	26.67

Nota: Resultados de PM₁₀ ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

Del mismo modo que con la concentración de PM_{2.5}, la variación de la concentración de material particulado PM₁₀ medido a distintas alturas es mínima, estos valores encontrados también se diferencian solo en sus decimales, induciendo que realmente no existe una variación significativa

La variación de estos resultados se puede apreciar mejor en la figura N° 21, donde se puede observar que la concentración disminuye a medida que la altura asciende:

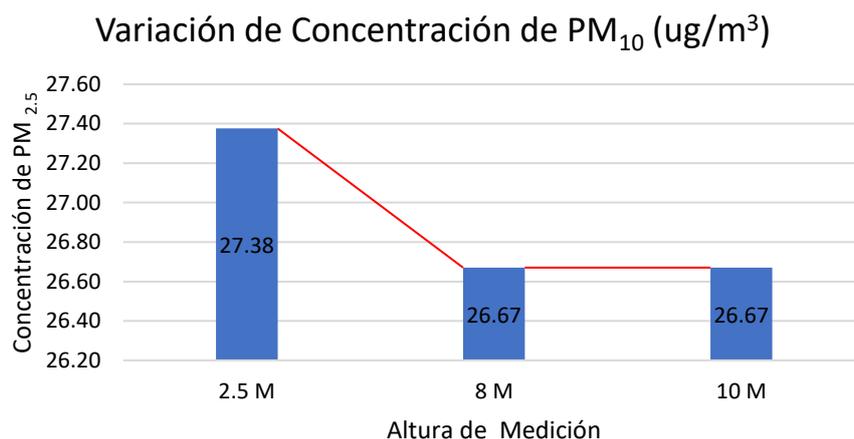


Figura 21: Variación de concentración de PM₁₀ ug/m³ por altura

4.1.3. Variación de la concentración del material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo – 2022

4.1.3.1. Resultado de variación de concentración de PM_{2.5} por zona

A partir de la tabla N° 14 mostrada se divisa que en el material particulado PM_{2.5} (ug/m³) en la zona L1 existe una concentración de 17.58 (ug/m³), mientras que en la zona L2 existe una concentración de 25.24 (ug/m³) y finalmente se observa que en la zona L3 existe una concentración de 29.00 (ug/m³).

Tabla N° 14: Concentración media de PM_{2.5} en zona rural y urbana

Media de la concentración de PM _{2.5} por zona				
Descripción	Zona			
	L1 (Zona urbana)	L2 (Zona urbana)	L3 (Zona rural)	
Material				
Particulado				
PM _{2.5}	17.58	25.24	29.00	(ug/m ³)

Nota: Resultados de PM_{2.5} ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25.

La variación de la concentración de material particulado PM_{2.5} medido en distintas zonas es notable, estos valores encontrados solo se diferencian moderadamente, sugiriendo que realmente existe una variación bien marcada.

La variación de estas concentraciones se puede observar en la siguiente N° 22, donde se muestra que la concentración aumenta de la zona urbana hacia la zona rural:

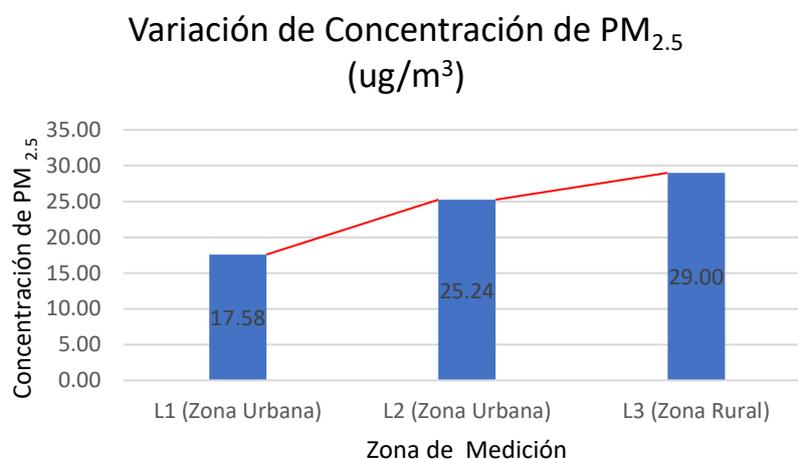


Figura 22: Variación de concentración de PM_{2.5} ug/m³ por zona

4.1.3.2. Resultado de variación de concentración de PM₁₀ por zona

De acuerdo a la tabla N° 15 se observa que en el material particulado PM₁₀ (ug/m³) en la zona L1 existe una concentración de 18.44 (ug/m³), mientras que en la zona L2 existe una concentración de 27.20 (ug/m³) y finalmente se observa que en la zona L3 existe una concentración de 33.79 (ug/m³).

Tabla N° 15: Concentración media de PM₁₀ en zona rural y urbana

Descripción		Media de la concentración de PM ₁₀ por Zona		
		L1 (Zona urbana)	L2 (Zona urbana)	L3 (Zona rural)
Material				
particulado	PM ₁₀	18.44	27.20	33.79
	(ug/m ³)			

Nota: Resultados de PM₁₀ ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25.

La variación de la concentración de material particulado PM₁₀ medido en distintas zonas es notable, estos valores encontrados se diferencian moderadamente, sugiriendo que realmente existe una variación.

La variación de estas concentraciones se puede observar en la siguiente N° 23, donde se muestra que la concentración aumenta de la zona urbana hacia la zona rural:

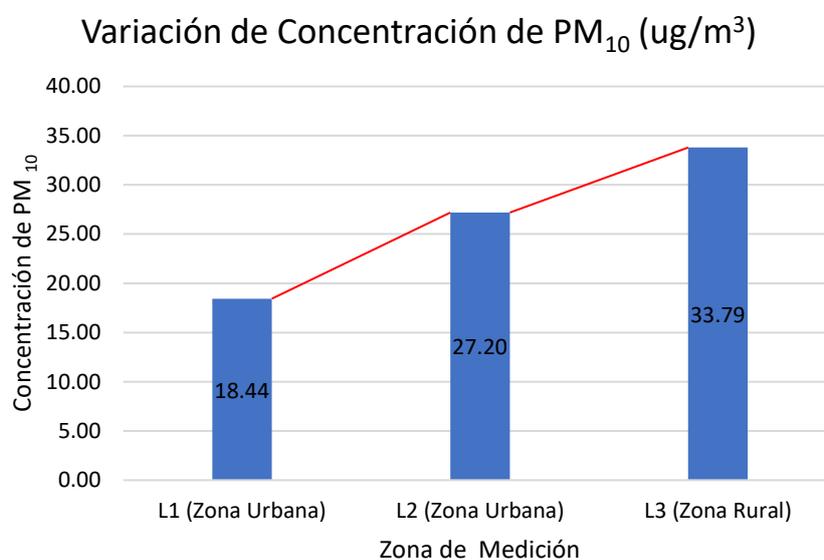


Figura 23: Variación de concentración de PM₁₀ ug/m³ por zona

4.2. Prueba de hipótesis

En el presente trabajo de investigación se realizó pruebas de estadística inferencial, haciendo uso del software IBM SPSS statistics 25 versión 2022, a través del método no paramétrico de Coeficiente de Correlación de Spearman (Rho Spearman ρ_s), siempre en cuando se cumpla al menos una de las siguientes características:

- ❖ No requiere distribución normal en los datos.
- ❖ No requiere homogeneidad en los datos.

4.2.1 Prueba de normalidad y homogeneidad de hipótesis 1

4.2.1.1. Prueba de normalidad de hipótesis 1

- ❖ Ho= La distribución de los datos material particulado (PM_{2.5}) en la variación de concentración, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo sigue una distribución normal.
- ❖ Ha= La distribución de los datos material particulado (PM_{2.5}) en la variación de concentración, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo no sigue una distribución normal.

Tabla N° 16: Pruebas de normalidad de PM_{2.5} ug/m³ por altura

Pruebas de Normalidad							
		Kolmogorw -Smirnov			Shapiro -Wilk		
	Altura	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl.	Sig.
PM _{2.5}	2.5 M	,108	270	,000	,943	270	,000
	8 M	,106	270	,000	,956	270	,000
	10 M	,108	270	,000	,945	270	,000

Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Resultados de PM_{2.5} ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

4.2.1.2. Prueba de homogeneidad de hipótesis 1

- ❖ Ho= Las varianzas de los datos material particulado (PM_{2.5}) en la variación de concentración, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo son iguales.
- ❖ Ha= Las varianzas de los datos material particulado (PM_{2.5}) en la variación de concentración, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo no son iguales.

Tabla N° 17: Prueba de homogeneidad de PM_{2.5} ug/m³ por altura

Prueba de Homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	gl 1	gl 2	Sig.
PM _{2.5}	Se basa en la media	3,528	2	807	,030
	Se basa en la mediana	3,348	2	807	,036
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	3,348	2	805,510	,036
	Se basa en la media recortada	3,573	2	807	,029

Nota: Resultados de $PM_{2.5}$ ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

4.2.2. Prueba de normalidad y homogeneidad de hipótesis 2

4.2.2.1. Prueba de normalidad de hipótesis 2

- ❖ H_0 = La distribución de los datos material particulado (PM_{10}) en la variación de concentración, por medio de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo sigue una distribución normal.
- ❖ H_a = La distribución de los datos material particulado (PM_{10}) en la variación de concentración, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo no sigue una distribución normal.

Tabla N° 18: Prueba de Normalidad de PM_{10} ug/m³ por altura

Pruebas de normalidad							
		Kolmogorw -Smirnov			Shapiro -Wilk		
	Altura	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl.	Sig.
PM_{10}	2.5 M	,105	270	,000	,943	270	,000
	8 M	,112	270	,000	,930	270	,000
	10 M	,133	270	,000	,926	270	,000

Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Resultados de PM_{10} ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25.

4.2.2.2. Prueba de homogeneidad de hipótesis 2

H_0 = Las varianzas de los datos material particulado (PM_{10}) en la variación de concentración, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo son iguales.

H_a = Las varianzas de los datos material particulado (PM_{10}) en la variación de concentración, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo no son iguales.

Tabla N° 19: Prueba de homogeneidad de PM_{10} ug/m³ por altura

Prueba de Homogeneidad de varianza

		Estadístico de Levene	gl 1	gl 2	Sig.
PM ₁₀	Se basa en la media	2,253	2	807	,106
	Se basa en la mediana	2,739	2	807	,065
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,739	2	798,983	,065
	Se basa en la media recortada	2,481	2	807	,084

Nota: Resultados de PM₁₀ ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

4.2.3. Prueba de normalidad y homogeneidad de hipótesis 3

4.2.3.1. Prueba de normalidad de hipótesis 3

Ho= La distribución de los datos material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la variación de concentración en zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo sigue una distribución normal.

Ha= La distribución de los datos material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la variación de concentración en zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo no sigue una distribución normal.

Tabla N° 20: Prueba de normalidad de PM₁₀ y PM_{2.5} ug/m³ por zona

Pruebas de normalidad							
		Kolmogorw -Smirnov			Shapiro -Wilk		
Zona		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl.	Sig.
PM ₁₀	L1 (Zona Urbana)	,105	270	,000	,861	270	,000
	L2 (Zona Urbana)	,075	270	,001	,956	270	,000
	L3 (Zona Rural)	,199	270	,000	,841	270	,000
PM _{2.5}	L1 (Zona Urbana)	,100	270	,046	,888	270	,000
	L2 (Zona Urbana)	,055	270	,000	,981	270	,000

L3 (Zona Rural)	,2018	270	,000	,830	270	,000
-----------------	-------	-----	------	------	-----	------

Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Resultados de $PM_{2.5}$ y PM_{10} ug/m^3 obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

4.2.3.2. Prueba de homogeneidad de hipótesis 3

Ho= Las varianzas de los datos material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la variación de concentración en zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo son iguales.

Ha= Las varianzas de los datos material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la variación de concentración en zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo no son iguales.

Tabla N° 21: Prueba de homogeneidad de $PM_{2.5}$ y PM_{10} ug/m^3 por zona

Prueba de Homogeneidad de varianza					
		Estadístico de Levene	gl 1	gl 2	Sig.
PM _{2.5}	Se basa en la media	123,564	2	807	,000
	Se basa en la mediana	46,019	2	807	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	46,019	2	566,292	,000
	Se basa en la media recortada	118,034	2	807	,000
PM ₁₀	Se basa en la media	147,685	2	807	,000
	Se basa en la mediana	65,946	2	807	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	65,946	2	595,764	,000
	Se basa en la media recortada	143,461	2	807	,000

Nota: Resultados de $PM_{2.5}$ y PM_{10} ug/m^3 obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

Para la prueba de normalidad: Si el P-valor es menor o igual al alfa entonces se rechaza la hipótesis nula, caso contrario se acepta la hipótesis alternativa.

El sig. > 0,05 se acepta Ho El sig. ≤ 0,05 se rechaza Ho

Para la prueba de homogeneidad: Si el P-valor es menor o igual al alfa se rechaza la hipótesis nula, caso contrario se acepta la hipótesis alternativa.

El sig. > 0,05 se acepta Ho El sig. ≤ 0,05 se rechaza Ho

Entonces, de acuerdo a lo descrito líneas arriba para las concentraciones PM_{2.5} y PM₁₀ medidos a distintas alturas el nivel de significancia de la prueba de normalidad a través de Kolmogorw -Smirnov es menor a 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho), denotando que no cuenta con una distribución normal.

Por otro lado, en las concentraciones medidas a distintas zonas el nivel de significancia de la prueba de normalidad a través Kolmogorw -Smirnov es mayor a 0.05 por lo tanto se acepta la hipótesis nula (Ho), sugiriendo de esta manera una distribución normal de los datos medidos.

Así mismo en la concentración de PM_{2.5} medido a distintas alturas el nivel de significancia de la prueba de homogeneidad a través del estadístico de Levene es menor a 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho), entonces este resultado confirma que los datos no cuentan con varianzas iguales. Mientras que en la concentración de PM₁₀ medido a distintas alturas el nivel de significancia de la prueba de homogeneidad a través del estadístico de Levene es mayor a 0.05 por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula (Ho), cuyo resultado revela que los datos presentan varianzas iguales.

De modo contrario en las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ medidos en distintas zonas el nivel de significancia de la prueba de homogeneidad través del estadístico de Levene es menor a 0.05, de este modo se rechaza la hipótesis nula (Ho), demostrando de esta forma que los datos no cuentan con varianzas iguales.

4.3. Contrastación de prueba de hipótesis

4.3.1. Contrastación de hipótesis específica 1

Los resultados obtenidos a través de la prueba de hipótesis del método no paramétrico de Coeficiente de Correlación de Spearman (Rho Spearman ρ_s) según la Tabla N°22 indican la correlación que exista entre las variables estudiadas, sin embargo, esta correlación no implica la causalidad, para eso es necesario que exista un antecedente

que corrobore dicha causalidad. A través de la prueba de Correlación de Spearman se determina el nivel de correlación entre las variables estudiadas, teniendo como antecedente su causalidad y a partir de ello demostrar la variación de la concentración de los contaminantes atmosféricos en los parámetros estudiados, como se presenta a continuación (55).

- ❖ Ho=No existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas en el distrito de Huancayo.
- ❖ Ha=Existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{2.5}), por medio sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas en el distrito de Huancayo.

Ho: $\mu_1 = \mu_2$; Ha: $\mu_1 \neq \mu_2$

Regla de decisión de la prueba no paramétrica de Spearman

El sig. > 0,05 se acepta Ho El sig. ≤ 0,05 se rechaza Ho

A continuación, se presenta la Tabla N° 20 que representa el nivel de correlación de las variables estudiadas.

Tabla N° 22: Nivel de correlación de Spearman (55)

Nivel de correlación de Spearman	
Intervalo	Interpretación
- 0.91 a - 1.00	Correlación negativa perfecta
- 0.76 a - 0.90	Correlación negativa muy fuerte
- 0.51 a - 0.75	Correlación negativa considerable
- 0.11 a - 0.50	Correlación negativa media
- 0.01 a - 0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
+ 0.01 a + 0.10	Correlación positiva débil

+ 0.11 a + 0.50	Correlación positiva media
+ 0.51 a + 0.75	Correlación positiva considerable
+ 0.76 a + 0.90	Correlación positiva muy fuerte
+ 0.91 a + 1.00	Correlación positiva perfecta

Nota: Nivel de correlación de Spearman (55)

En la siguiente tabla N° 23 se observa el resultado de prueba de Rho de Spearman.

Tabla N° 23: Prueba de Rho de Spearman para PM_{2.5} por altura

		Correlaciones	
		Altura	
		Coefficiente de Correlación	-,041
Rho de Spearman	PM _{2.5}	Sig. (bilateral)	,242
		N	810

Nota: Resultados de PM_{2.5} ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

Por lo tanto, de acuerdo a la tabla N° 23, siendo la significancia bilateral (P-Valor) =0.242 mayor a 0.05 no se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se afirma que no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la concentración de PM_{2.5} y la altura. De esta se demuestra que no existe una variación significativa de la concentración PM_{2.5} y la altura al cual fue medida.

Entonces a partir de lo descrito anteriormente se acepta la hipótesis nula (H₀), el cual menciona que “No existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo”.

4.3.2. Contrastación de hipótesis específica 2

A través de la prueba de Correlación de Spearman se determina el nivel de correlación entre las variables estudiadas, teniendo como antecedente su causalidad y a partir de ello demostrar la variación de la concentración de los contaminantes atmosféricos en los parámetros estudiados, como se presenta a continuación.

- ❖ H_0 =No existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo.
- ❖ H_a =Existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes aturas, en el distrito de Huancayo.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$; $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

En la siguiente tabla N° 24 se observa el resultado de prueba de Rho de Spearman.

Tabla N° 24: Prueba de Rho de Spearman para PM_{10} por altura

		Correlaciones	
			Altura
		Coefficiente de correlación	-,050
Rho de Spearman	PM_{10}	Sig. (bilateral)	,159
		N	810

Nota: Resultados de PM_{10} ug/m³ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25.

Por lo tanto, de acuerdo a la tabla N° 24, siendo la significancia bilateral (P-Valor) =0.159 mayor a 0.05 no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se afirma que no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la concentración de PM_{10} y la altura. De esta manera demostramos que no existe una variación significativa de la concentración PM_{10} y la altura al cual fue medida.

Entonces a partir de lo descrito anteriormente se acepta la hipótesis nula (H_0), el cual menciona que “No existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{10}) por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo”.

4.3.3. Contrastación de hipótesis específica 3

A través de la prueba de Correlación de Spearman se determina el nivel de correlación entre las variables estudiadas, teniendo como antecedente su causalidad y a partir de ello demostrar la variación de la concentración de los contaminantes atmosféricos en los parámetros estudiados, como se presenta a continuación.

- ❖ H_0 =No existe variación significativa de las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo.
- ❖ H_a =Existe variación significativa de las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$; $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

En la siguiente tabla N° 25 se observa el resultado de prueba de Rho de Spearman.

Tabla N° 25: Prueba de Rho de Spearman para PM_{10} y $PM_{2.5}$ por zona

Correlaciones			
		Zona	
Rho de Spearman	PM_{10}	Coefficiente de correlación	,361**
		Sig. (bilateral)	,000
		N	810
	$PM_{2.5}$	Coefficiente de correlación	,356**
		Sig. (bilateral)	,000
		N	810

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Nota: Resultados de $PM_{2.5}$ y PM_{10} $\mu g/m^3$ obtenida a través del software IBM SPSS statistics 25

Por lo tanto, de acuerdo a la tabla N° 25, donde la significancia bilateral (P-Valor) =0.00 de $PM_{2.5}$ es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se afirma que se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la concentración de $PM_{2.5}$ y la zona de medición. Así mismo la significancia bilateral (P-Valor) =0.00 de PM_{10} es menor a 0.005, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se afirma que se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la concentración de $PM_{2.5}$ y la zona de medición. De esta manera demostrando que existe una variación significativa positiva media de la concentración $PM_{2.5} - PM_{10}$ y la zona (zona rural y urbana) al cual fue medida.

Entonces a partir de lo descrito anteriormente se acepta la hipótesis alternativa (H_0), el cual menciona que “Existe variación significativa de las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo”.

4.3.4. Contrastación de hipótesis general

- ❖ H_0 = No existe variación significativa del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.
- ❖ H_a = Existe una variación significativa del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$; $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

La aceptación o rechazo de la hipótesis general viene dada a partir de los resultados descritos en las tablas de la comprobación de hipótesis específicos (1 y 2) y de acuerdo a lo revisado líneas arriba resulta el rechazo de la hipótesis general lo que conlleva a desestimar la variación de la concentración $PM_{2.5}$ con respecto a las alturas medidas, siendo la media de la concentración de $PM_{2.5}$ a una altura de 2.5 metros igual a (24.58 ug/m^3), a 8 metros (24.06 ug/m^3) y a 10 metros (24.06 ug/m^3). Así como también se desestima la variación de la concentración de PM_{10} con respecto a la altura al cual fue medida, siendo la media de concentración de PM_{10} a una altura de 2.5 metros igual a (27.38 ug/m^3), a 8 metros (26.67 ug/m^3) y a 10 metros (26.67 ug/m^3).

Por otro lado, en la comprobación de hipótesis específica (3) de la variación de concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} con respecto a la zona donde fue medido arroja una variación significativa de la concentración, siendo la media de la concentración de $PM_{2.5}$ en la Plaza de la Constitución (L1) - zona urbana de (17.58 ug/m^3), en la Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) – zona urbana de (25.24 ug/m^3) y en el Centro poblado de Chamiseria (L3) – zona rural de (29.00 ug/m^3). Del mismo modo para la concentración de PM_{10} , siendo la media en la Plaza de la Constitución (L1) – zona urbana de (18.44 ug/m^3), en la intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) – zona urbana de (27.20 ug/m^3) en el Centro Poblado de Chamiseria (L3) – zona rural de (33.79 ug/m^3).

Así pues, de lo descrito es este apartado se puede concluir que hay evidencia suficiente para inferir que la hipótesis alternativa es falsa, por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula, que menciona que “No existe variación significativa del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022”.

4.4. Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados encontrados se acepta la hipótesis nula que sustenta que “No existe una variación significativa entre la concentración de contaminantes atmosféricos y la altura de medida, en el distrito de Huancayo 2022”.

El resultado mencionado es opuesto al artículo científico desarrollado en Polonia titulado “Developing of Low – Cost Air Pollution Sensor - Measurements with the Unmanned Aerial Vehicles in Poland”, donde menciona que partir del uso del sistema RPAS se determinó que la distribución de contaminantes varía de acuerdo a la altura y la concentración del material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) se incrementa con la altitud de 0 a 100 metros en una proporción de 30% a 50%, sin embargo las alturas tomadas para la investigación en este caso fueron de 20, 40, 60, 80, 100 y 120 metros donde los resultados hallados comprenden lo siguiente; para $PM_{2.5}$ los promedios de concentraciones de acuerdo a su altura descrita son de 0 media de 24.54 ug/m^3 , o media de 23.61 ug/m^3 , o media de 25.05 ug/m^3 , o media de 31.44 ug/m^3 , o media de 30.32 ug/m^3 , o media de 27.91 ug/m^3 respectivamente; mientras que para PM_{10} los promedio de concentraciones de acuerdo a la altura descrita son de 29.18 ug/m^3 , 26.92 ug/m^3 , 27.55 ug/m^3 , 36.75 ug/m^3 , 36.15 m^3 y 32.31 ug/m^3 respectivamente (2). De manera general en el intervalo de 0 a 20 metros las concentraciones encontradas estuvieron comprendidos entre 25 a 37 ug/m^3 , de 20 a 40 metros se encontraron de 23 a 36 ug/m^3 , de 40 a 60 metros se halló de 19 a 38 ug/m^3 , de 60 a 80 metros se halló valores de 38 a 41 ug/m^3 , de 80 a 100 metros se encontró valores de 36 a 43 ug/m^3 y de 100 a 120 metros se halló concentraciones de 36 a 26 ug/m^3 , como se observa en sus resultados el mayor incremento está a partir de 60 metros hasta los 100 metros y partir de los 100 este disminuye (2).

Una de las razones de la diferencia de estos resultados es pues las alturas tomadas ya que en nuestra investigación se propuso las alturas a 2.5m, 8 metros y 10 metros, esto a partir de los propuesto en el libro titulado “Gestión de Calidad de Aire: Causa efecto y soluciones”, donde propone en los requerimientos para sitio de muestreo que por

practicidad y seguridad la primera altura debería ser a los 2.5 metros que está relacionado a estudios epidemiológicos o de tráfico vehicular, a segunda altura de 8 metros está relacionado a estudios de calidad de aire de fuentes fijas y a 10 metros está relacionado a determinación de parámetros meteorológicos (1). Esta decisión de la toma de las alturas aparte de lo propuesto en el libro también se basó debido a la limitación del equipo utilizado, ya que el dron obtenido DJI MAVIC AIR 2S, tiene un peso promedio de 600 gr y el peso del sensor más la batería externa acoplado tiene un peso promedio de 150 gr, que en conjunto suman alrededor de 750 gr, un peso para lo cual no fue diseñado el dron, en este sentido fue muy riesgoso volar más de 10 metros ya que el sobrepeso que lleva el dron conjuntamente con el viento hace que el vuelo sea inestable.

Así mismo el resultado es similar en el artículo científico desarrollado en Alemania titulado “The Use of An Octocopter UAV for the Determination of Air Pollutants – A Case Study of the Traffic Induced Pollution Plume Around a River Bridge in Duesseldorf, Germany” menciona que a partir del uso de UAV en un puente ubicado a 15 metros de altura con respecto al suelo, se demostró que la concentración de $PM_{2.5}$ y PM_{10} no varió significativamente en una medición hasta 30 metros de altura, pero la concentración de las partículas ultrafinas UFP si demuestran una variación creciente de hasta 20 veces su valor de fondo (15 metros) esto solo a escasos metros por encima de 15 metros, aproximadamente a los 17 metros (56). A partir de la similitud con la investigación, se puede inferir que la variación de la concentración también se encuentra afectado lugar donde está siendo medido, así como también por los factores meteorológicos. Así mismo poca existencia de variación también puede suceder a causa del fenómeno llamado inversión térmica, debido a creación de masas de aire frío al nivel del suelo y masa de aire caliente en alturas superiores, crean una capa que impide la dispersión de la concentración de los contaminantes atmosféricos, razón por la cual es posible tener mayor concentración de contaminantes en límite de estas dos masas de aire (8).

Del mismo modo el resultado obtenido es distinto con la tesis desarrollada en la ciudad de Rioja titulada “DISTRIBUCIÓN ESPACIAL VERTICAL DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM_{10} DEL MEDIO ATMOSFÉRICO URBANO EN SEGUNDA JERUSALÉN – RIOJA SAN MARTIN – PERÚ” menciona que las concentraciones de material particulado PM_{10} se encuentran distribuidas en mayor cantidad por debajo de los 6 metros, siendo estos medidos a 1.5 metros y 6 a 8 metros en

dos periodos (Invierno y verano) cuyos resultados fueron en Invierno; en el punto 1 (A1 – B2) se halló 19.20 ug/m^3 a 1.5 metros y 12.80 ug/m^3 a 6 a 8 metros, repitiéndose esta proporción en los demás puntos y también en época de verano (53). Demostrando de esta manera una variación en la concentración de PM_{10} con respecto a la altura, con una relación negativa, que a medida que aumenta la altura, disminuye la concentración.

Por otro lado, con respecto al objetivo específico tres observando una relación positiva sobre la variación de $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} con respecto a la medición en la zona rural y urbana, la relación de concentraciones es distinto en el resultado de la tesis desarrollada en la ciudad de Huancayo titulada “Dispersión de material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) en Huancayo Metropolitano, Región Junín, 2020” donde menciona que la concentración de PM_{10} en la UNCP (Zona Urbana) es de 92.3 ug/m^3 , en el IGP (Zona Rural) es de 48.5 ug/m^3 y la intersección de la Calle Real y Av. Leoncio Padro (Zona Urbana) es de 89.3 ug/m^3 y la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en la UNCP (Zona Urbana) es de 14.0 ug/m^3 , en el IGP (Zona Rural) es de 7.0 ug/m^3 y la intersección de la Calle Real y Av. Leoncio Padro (Zona Urbana) es de 22.3 ug/m^3 (6). Si bien se observa una variación entre la Zona Rural y Urbana, la relación es inversa a la obtenida en el presente trabajo de investigación, ya que en la anterior tesis descrita muestra que la Zona Rural la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} es menor al de la Zona Urbana. Sin embargo, el resultado obtenido en el presente trabajo de investigación la concentración de la Zona Rural es mayor al de la Zona Urbana, esto debido a metodología propuesta, ya que en el presente trabajo de investigación se realizó la medición tomando como base la contaminación vehicular, razón por la cual según el documento titulado “Particulate Matter in the United Kindom” menciona que el PM_{10} está compuesto mayormente por componentes primarios (material orgánico, quema de combustibles, polvo de carretera, polen, semillas de menor tamaño, minerales, metales, carbón, sales minerales, etc.) (57). Razón por la cual en esta presente investigación existe mayor concentración en la zona rural.

CONCLUSIONES

1. No existe variación significativa de la concentración de material particulado ($PM_{2.5}$), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo.
2. No existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{10}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo.
3. Existe una variación significativa de la concentración de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) en zonas rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar alturas mayores a 10 hasta un rango de 400 metros para estudiar variaciones significativas o comportamientos de las concentraciones de contaminantes atmosféricos ya que según el artículo de investigación titulado “Developing of Low-Cost Air Pollution Sensor – Measurements With the Unmanned Aerial Vehicles in Poland” menciona que los contaminantes nocivos para la salud humana ocurren hasta altitudes de 400 metros, sin embargo durante la niebla estos se concentran a 200 metros (2).
2. Se recomienda diseñar o adquirir Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) para el uso de estudios de comportamiento de contaminantes atmosféricos de forma vertical hasta alturas de 400 o 500 metros, cuyas características sean seguras en la operación y confiables en el resultado. Aunque actualmente existen drones diseñados para monitorear la calidad de aire sus costos aún son elevados, sin embargo, estos aun requieren su optimización en sus distintos enfoques de estudio.
3. Se recomienda diseñar un equipo que incorpore los distintos contaminantes atmosféricos principales a través del uso de sensores de bajo costo, con el objetivo que sea capaz de ser acoplado a un dron y soporte su carga, sin interferir en el correcto funcionamiento de este dron.
4. Se recomienda utilizar el uso de drones en estudios de comportamiento de los contaminantes atmosféricos, comportamiento de variables meteorológicas, relación de la inversión térmica en los contaminantes, entre otros, ya que para un monitoreo es recomendable las estaciones punto fijo. O en otro caso recomienda también diseñar un modelo matemático que permita solucionar los errores de toma de datos como la perturbación de las hélices o el tiempo de duración de las baterías con el objetivo de cumplir con la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente (Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire) y sus Estándares de Calidad Ambiental ECAS o Límites Máximos Permisibles (LMP).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CARRANZA NORIEGA, Raymundo.** GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE : Causas, Efectos y Soluciones. Lima : Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM, 2004.
2. **POCHWALA, Slawomir, y otros.** Developing of Low-Cost Air Pollution Sensor— Measurements with the Unmanned Aerial Vehicles in Poland. Opole : sensors -MDPI, 2020. 12: 3582. <https://doi.org/10.3390/s20123582>.
3. **OSPINA VALENCIA, José.** Deutsche Welle (DW). *Las capitales y países de América Latina más contaminados.* [En línea] 16 de Mayo de 2019. [Citado el: 21 de Julio de 2022.] <https://www.dw.com/es/las-capitales-y-pa%C3%ADses-de-am%C3%A9rica-latina-m%C3%A1s-contaminados/a-48768155>.
4. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS.** Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. [En línea] 2 de Mayo de 2018. [Citado el: 21 de Julio de 2022.] <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>.
5. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ - MINAM.** Ministerio del Ambiente. *Zonas priorizadas.* [En línea] 2013. [Citado el: 21 de Julio de 2022.] <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/zonas-priorizadas-de-calidad-del-aire/>.
6. **BARRANTES FLORES, Miguel Ángel.** Dispersión de material particulado (PM10 y PM2.5) en Huancayo Metropolitano, Región Junín, 2020. *Mg. Hyadeé Suárez Alvites; Tesis de grado Inédita.* Universidad Cesar Vallejo : Lima, 2021.
7. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).** Contaminación del aire ambiente (exterior). [En línea] 22 de Setiembre de 2021. [Citado el: 15 de Junio de 2022.] disponible en [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
8. **GARCÍA, M, y otros.** LAS INVERSIONES TÉRMICAS Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADAJARA (MEXÍCO). México : s.n., 2012. ISSN: 0213-4691.
9. **ROMIEU, Y., WEITZENFELD, H. y FINKELMAN, J.** Air Pollution And Health In Latin America. México DF : World Health Stat Q, 1992; 43(3); Pg. 97-109;PMID: 2238696.

10. **ATLAS INTERNACIONAL DE NUBES.** Nubes. *Organización Meteorológica Mundial*. [En línea] 23 de Julio de 2022. [Citado el: 2 de Julio de 2022.] <https://cloudatlas.wmo.int/es/some-useful-concepts-height-altitude-vertical-extent.html>.
11. **IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEREOLÓGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.** Contaminación Atmosférica. [En línea] 24 de Julio de 2022. [Citado el: 24 de Julio de 2022.] <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20es%20la,encuentran%20expuestas%20a%20dicho%20ambiente..>
12. **DUARTE GONZÁLEZ, Ana Lucía.** EVALUACIÓN ESPACIOTEMPORAL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA. *PhD. Ismael Schneider; Tesis de Maestría Inédita*. Barranquilla : Universidad de la Costa - CUC, 2020.
13. **BORJA PORRAS, José Sebastián y MÉNDEZ GONZÁLEZ, Luis Carlos.** Desarrollo e implementación de un sistema en un drone para evaluar la calidad del aire. *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journal Chetumal 2018*. Chetumal : Academia Journal 2018, 2018. Vol. 10, 4. ISSN: 1946-5351.
14. **VARGAS V., Sergio y LANGE V., Diego.** Sistema aéreo de medición de gases contaminantes basado en un UAV , resultados preliminares. Cochabamba : Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería Universidad Católica Boliviana, 2015. Vol. 7, 2. ISSN: 1683-0768..
15. **FARROW, Aidan.** Evaluación del monitoreo de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia. Exeter : Universidad de Exeter, 2021.
16. **LONDOÑO, James, CORREA, Mauricio Andrés y PALACIO, Carlos Alberto.** ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES E EL ÁREA URBANA DE ENVIGADO, COLOMBIA. Medellín : Revista EIA, 2011. Vol. 2, 16. ISSN 1794-1237.
17. **BAUTISTA BACA, Justo.** “EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METANO, MONÓXIDO Y DIÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE, MEDIANTE TECNOLOGÍA DE DRONES Y HARDWARE LIBRE EN LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO”. *Dr. Ralph Miranda Castillo; Tesis de Grado Inédita*. Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios : Puerto Maldonado, 2018.

18. **TAPIA, Vilma, y otros.** REORDENAMIENTO VEHICULAR Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR MATERIAL PARTICULADO (2.5 Y 10), DIÓXIDO DE AZUFRE Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO EN LIMA METROPOLITANA, PERÚ. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2018. Vol. 35, (2). doi: 10.17843/rpmesp.2018.352.3250..
19. **CAHUANTICO SALAS, Rosa Hermelinda.** “EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS CO, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} DE LA ZONA URBANA CUSCO 2017”. *Dra. Trinidad Betty Paredes de Gómez; Tesis de Maestría Inédita*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa : s.n., 2019.
20. **ROBLES MORALES, Eder Guido.** La contaminación del aire por material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco, 2010 y 2016. *Dr. Antonio Edilberto LUYO QUIROZ; Tesis de Maestría Inédita*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos : Lima, 2020.
21. **PINTO PINTO, Ronal José.** DETERMINACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀ Y PM 2.5) Y METALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA DV. PAPUJUNE CAMINO PRINCIPAL TRAMO II EN LA CIUDAD DE MARISCAL NIETO MOQUEGUA. *Dr. Cesar ANDRADE TACCA; Tesis de Grado Inédita*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa : Arequipa, 2018.
22. **DURAND ORTIZ, Jorge Antonio y BURGA ESTELA, Víctor Bladimir.** “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM₁₀ Y PM_{2.5} Y SU COMPARACIÓN CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA EN EL PERÍODO 2012 – 2018”. *Mg. Marieta CERVANTES PERALTA; Tesis de Grado Inédita*. Universidad Privada del Norte : Cajamarca, 2021.
23. **ARTEAGA LLACZA, Pedro Pablo.** Determinación de las fuentes de emisión del material particulado en el Valle del Mantaro mediante el análisis de componentes principales (ACP). *Ms. Yéssica BENDEZÚ ROCA; Tesis de Maestría Inédita*. Universidad Nacional del Centro del Peru : Huancayo, 2018.
24. **CAMAYO ORÉ, Aracelly y CANTURIN CABRERA, Carmen.** EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LAS PARTÍCULAS ATMOSFÉRICAS PM₁₀ Y PM_{2.5} PARA LA FORMULACIÓN DE SU PLAN DE ACCIÓN EN HUANCAYO

METROPOLITANO. Dr. Venancio Santiago NAVARRO RODRÍGUEZ; *Tesis Grado Inédita*. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Peru, 2021.

25. **LIZARRAGA ISLA, Irving Jesus, y otros.** Dispersion of particulate material 2.5 emitted by roasted chicken restaurants using the AERMOD model in Huancayo Metropolitan, Peru. *DYNA*. Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2019. Vol. 86, 211; pp. 346 - 353. ISSN 0012-7353.

26. **ENCINAS MALAGÓN, María Dolores.** MEDIO AMBIENTE Y CONTAMINACIÓN: PRINCIPIOS BÁSICOS. 1° Edición. España : s.n., 2011. ISBN: 978-84-615-1145-7.

27. **OYARZÚN G., Manuel.** Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *En: 1er Congreso de Atención Primaria en Salud: "Mejorando la red asistencial con un enfoque multidisciplinario"*. Talca : Rev Chil Enf Respir, 2010. Vols. 26; 16 - 25.

28. **CONTRERAS VIGIL, Ana María, GARCÍA SANTIAGO, Gloria y ICAZA HERNÁNDEZ, Bárbara.** Calidad del Aire: Una Práctica de Vida. 1° Edición. México D.F. : Printing Arts México, 2013. 1.

29. **MINISTERIO DEL AMBIENTE GOBIERNO DE CHILE.** Calidad del Aire y Educación Ambiental. Santiago : s.n., 2016.

30. **BOLDO, Elena.** La contaminación del aire. Madrid : © LOS LIBROS DE LA CATARATA, 2016. 978-84-9097-228-1.

31. **PORTA, Andrés, SANCHEZ, Yanina Erica y LERNER, Esteban Colman.** Calidad del aire: Monitoreo y Modelado de Contaminantes Atmosféricos, Efectos en la Salud Pública. 1° Edición. Buenos Aires : Editorial de la Universidad de La Plata, 2018. ISBN 978-950-34-1682-2.

32. **LEGARRETA PERUSQUIA, Angélica, y otros.** Material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas. *Culcyt/ Medio Ambiente*. 2015, Juarez. Vol. 56, pp. 234 - 245.

33. **GAVIRIA G., Carlos F., BENAVIDES C., Paula C. y TANGARIFE, Carolina A.** Contaminación por material particulado (pm2,5 y pm10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Antioquia : s.n., 2011. Vol. 29, 3; pp. 241 - 250. ISSN: 0120-386X.

34. **JUNTA DE ANDALUCÍA CONSEJERÍA DE SOSTENIBILIDAD MEDIO AMBIENTE Y ECONOMÍA AZUL.** Material particulado atmosférico. *Portal Ambiental de Andalucía*. [En línea] 22 de Julio de 2022. [Citado el: 22 de Julio de 2022.] https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page/-/asset_publisher/4V1kD5gLiJkq/content/material-particulado-atmosf-c3-a9rico/20151.
35. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERU - MINAM.** PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE. Lima : MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERU, 2019. D.S. 010-2019-MINAM.
36. **DIRECTIVA OPERACIONAL DO-002-OPS-RPAS - COSTA RICA.** OPERACIONES CON SISTEMA DE AERONAVE PILOTEADA A DISTANCIA (RPAS). *Dirección General de Aviación Civil - Costa Rica; 1º Edición*. San Jose : s.n., 2021.
37. **PÉREZ PINZÓN, María Camila.** LA REGULACIÓN DE AERONAVES REMOTAMENTE TRIPULADAS CON FINES COMERCIALES Y CIVILES. *Revista de Derecho Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*. Bogotá : 2016, Universidad de los Andes. 16. ISSN: 1909-7786.
38. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERU - MINAM.** Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. Lima : MINISTERIO DEL AMBIENTE , 2017.
39. **SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI.** Calidad de aire. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI*. [En línea] 22 de Julio de 2022. [Citado el: 22 de Julio de 2022.] <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=calidad-de-aire-aprendiendo>.
40. **DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONES TÉCNICAS.** SENSORES. 1º Edición. Québec : Lab-Volt (Quebec) Ltd, 2001. ISBN 2-89289-503-0.
41. **INTERNATIONAL RECOVERY PLATFORM SECRETARIAT.** Medio Ambiente. Kobe : s.n., 2011.
42. **YUNI, José Alberto y URBANO, Claudio Ariel.** Técnicas para Investigar: Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación. 2º Edición. Córdoba : Editorial Brujas, 2014. ISBN: 978-987-591-547-3.

43. **CARRASCO DÍAZ, Sergio.** METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. 1° Edición. Lima : San Marcos, 2018. ISBN: 978-9972-38-344-1.
44. **ARIAS, Fidias G.** El PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: Introducción a la metodología científica. 7° Edición. Caracas : Editorial Episteme, 2016. ISBN: 980-07-8529-9.
45. **ÑAUPAS PAITÁN, Humberto, y otros.** Metodología de la investigación: Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis. 4° Edición. 2014 : Ediciones de la U, Bogotá. ISBN: 978-958-762-188-4.
46. **VARA HORNA, Arístides Alfredo.** 7 PASOS PARA ELABORAR UNA TESIS. 1° Edición. Lima : Editorial Macro, 2015. ISBN: 978-612-304-311-7.
47. **AQMD SOUTH COAST.** AQ-SPEC Air Quality Sensor Performance Evaluation Center. [En línea] 24 de Julio de 2022. [Citado el: 24 de Julio de 2022.] <https://www.aqmd.gov/aq-spec/product/purpleair-pa-ii>.
48. **DJI.** DJI Aire 2S. [En línea] 26 de Julio de 2022. [Citado el: 26 de Julio de 2022.] <https://www.dji.com/air-2s/specs>.
49. **SAMSUNG.** Galaxy S20. [En línea] 16 de Julio de 2022. [Citado el: 16 de Julio de 2022.] <https://www.samsung.com/es/smartphones/galaxy-s20/specs/>.
50. **GARMIN.** GPSMAP® 64s. [En línea] 24 de Julio de 2022. [Citado el: 24 de Julio de 2022.] <https://www.garmin.com/es-ES/p/140022>.
51. **COOLBOX.** Batería externa G Mobile indicador led, 5000 mAh, negro. [En línea] 22 de Julio de 2022. [Citado el: 22 de Julio de 2022.] <https://www.coolbox.pe/bateria-externa-g-mobile-5000mah-x5black/p>.
52. **ARTEFACTA.** Laptop Acer. [En línea] 20 de Julio de 2022. [Citado el: 20 de Julio de 2022.] https://www.artefacta.com/acer-laptop-a315-intel-core-i5-1035g1#dimensions_tab.
53. **HERRERA DÍAZ, Santos Clemente.** "DISTRIBUCIÓN ESPACIAL VERTICAL DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM10 DEL MEDIO ATMOSFÉRICO URBANO EN SEGUNDA JERUSALÉN-RIOJA-SAN MARTÍN-PERÚ". *Mg. Mirtha Felicita VALVERDE VERA; Tesis de Maestría Inédita*. Moyobamba : Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto UNSM, 2011.

54. —. Influencia de la altura de toma de muestra y las estaciones del año en la calidad del aire de la población de Segunda Jerusalén, Rioja, San Martín -2014. *Dr. Manuel Fernando CORONADO JORGE; Tesis doctoral Inédita*. Tarapoto : Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto UNSM, 2019.
55. **MONTES DÍAZ, Andrea, y otros.** Aplicación del coeficiente de correlación de Spearman en un estudio de fisioterapia. *Cuerpo Académico de Probabilidad y Estadística BUAP (CAPE)*. Puebla : Universidad Autónoma de Puebla, 2021.
56. **WEBER, Konradin, y otros.** The Use of An Octocopter Uav for the Determination of Air Pollutants – A Case Study of the Traffic Induced Pollution Plume Around a River Bridge In Duesseldorf, Germany. Duesseldorf : s.n., 2017. ISSN: 2304-4815.
57. **AIR QUALITY EXPERT GROUP.** Particulate Matter in the United Kingdom: Summary. London, 2005. ISBN 0-85521-144-X.
58. **ROA MARTINEZ, Miguel Angel y ROA MARTINEZ, Manuel Ricardo.** VERIFICACIÓN DE LA ALTURA PARA LA MEDICIÓN DE PM10 Y PM 2.5 EN CALIDAD DEL AIRE COMO PARTE DEL CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE - SVC. : *Tesis de Grado Inédita*. Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

Matriz de Consistencia						
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es la variación del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia, (RPAS) a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>¿Cuál es la variación del grado de concentración de material particulado (PM_{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Analizar la variación del grado de concentración de contaminantes atmosféricos, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>Determinar el grado de concentración del material particulado (PM_{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>Existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{2.5}) por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes aturas, en el distrito de Huancayo -2022.</p> <p>Hipótesis Específicos:</p> <p>Existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM_{2.5}), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Diferencia de Altura</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Concentración de los contaminantes atmosféricos</p>	<p>Altura</p> <p>Material</p> <p>Particulado (PM_{2.5} y PM₁₀)</p>	<p>Altura del sistema RPAS a 2.5m</p> <p>Altura del sistema RPAS a 8m</p> <p>Altura del sistema RPAS a 10m</p> <p>Cantidad de la concentración del material particulado PM_{2.5}</p> <p>Cantidad de la concentración del material particulado PM₁₀</p>	<p>Método de Investigación:</p> <p>Método científico</p> <p>Tipo de Investigación:</p> <p>Tipo de investigación básica.</p> <p>Nivel de Investigación:</p> <p>Investigación de tipo correlacional.</p> <p>Diseño de Investigación:</p> <p>Investigación de tipo no experimental transeccional correlacional.</p> <p>Población:</p> <p>Atmosfera del distrito de Huancayo</p>

Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>(RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022?</p> <p>¿Cuál es la variación del grado de concentración de material particulado (PM₁₀), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022?</p> <p>¿Cuál es la variación del grado de concentración del material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo - 2022?</p>	<p>Determinar el grado de concentración del material particulado (PM₁₀), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo – 2022.</p> <p>Determinar el grado de variación de la concentración del material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el distrito de Huancayo – 2022.</p>	<p>Existe variación significativa de la concentración de material particulado (PM₁₀), por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), a diferentes alturas, en el distrito de Huancayo - 2022.</p> <p>Existe variación significativa de las concentraciones de material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la zona rural y urbana, por medio del sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) en el distrito de Huancayo - 2022.</p>				<p>Muestra:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Plaza de la Constitución (L1) (Zona urbana). 2. Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar (L2) (Zona urbana). 3. Centro poblado Chamiseria (L3) (Zona Rural).

ANEXO 2: Datos de medición de PM_{2.5} ug/m³

Resultados de medición de PM 2.5 / Horario Mañana									
N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
1	27	24	24	21	26	24	44	44	42
2	29	25	22	22	24	24	45	45	47
3	27	25	23	22	24	24	40	43	47
4	22	26	19	39	18	20	45	42	47
5	25	24	19	34	15	20	44	43	46
6	26	22	19	26	22	19	40	46	43
7	29	20	20	24	18	19	44	44	43
8	30	19	18	22	18	19	42	50	46
9	32	21	18	24	14	19	40	14	48
10	30	22	24	25	14	21	39	26	40
11	28	24	23	27	26	21	39	36	35
12	19	31	24	41	46	23	39	35	36
13	16	26	22	52	41	23	37	36	38
14	15	27	22	38	31	20	38	36	38
15	17	29	24	37	26	19	44	40	38

Resultados de medición de PM 2.5 / Horario Mañana									
N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
16	19	27	23	34	24	19	45	40	42
17	23	28	24	31	24	20	40	44	47
18	27	28	22	30	26	23	45	45	47
19	29	30	19	28	31	27	44	43	47
20	28	30	22	22	30	22	40	42	46
21	24	30	20	21	24	23	44	43	43
22	21	28	19	31	26	31	42	46	43
23	23	27	18	30	25	30	40	44	46
24	24	23	19	28	23	32	39	50	48
25	28	26	19	26	25	30	39	20	40
26	29	22	15	29	24	31	39	14	35
27	29	16	12	30	22	32	37	26	36
28	27	22	12	26	20	31	38	36	38
29	10	26	14	29	21	33	37	35	38
30	12	25	15	30	23	35	38	36	38

Resultados de medición de PM 2.5 / Horario Tarde									
N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
1	10.64	30	4	25	38	22	36	43	38
2	9	34	3	24	25	24	35	40	44
3	8	32	21.69	26	18	18	41	39	39
4	7	30	4	28	19	20	44	40	33
5	8	26	5	31	19	21	43	44	35
6	8	13	14	29	20	23	40	44	36
7	38	13	14	25	50	26	36	42	36
8	29	5	16	24	46	23	40	41	36
9	38	14	14	30	37	25	41	40	43
10	42	16	13	19	32	29	44	41	41
11	33	14	21	15	19	28	29	33	41
12	29	16	21	16	20	30	30	32	27
13	36	17	23	19	22	32	32	30	38
14	18	17	27	21	23	27	33	33	38
15	79	8	25	23	24	26	33	37	38
16	52	7	29	22	20	22	30	34	44

Resultados de medición de PM 2.5 / Horario Tarde									
N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
17	47	8	22	35	27	13	36	32	39
18	11	11	10	30	21	12	36	27	33
19	11	8	12	22	23	13	35	43	35
20	9	8	16	26	28	12	41	40	36
21	10	14	15	34	43	11	44	39	36
22	7	11	12	33	41	25	43	40	36
23	9	14	8	22	21	28	40	44	43
24	11	15	15	32	26	22	36	44	41
25	12	13	17	29	27	16	40	42	41
26	11	13	11	12	16	14	41	41	27
27	10	8	15	9	22	35	44	40	38
28	10	9	19	7	22	39	29	41	38
29	9	12	23	7	26	29	30	33	39
30	14	15	18	8	26	33	32	32	29

Resultados de medición de PM 2.5 / Horario Noche									
N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
1	16	17	14	12	29	12	7	13	7
2	17	21	15	12	26	13	6	14	7
3	18	22	11	12	12	12	6	13	8
4	18	22	11	10	13	10	6	13	10
5	15	14	13	11	12	12	6	12	10
6	16	13	12	12	13	17	10	13	10
7	14	14	9	14	29	26	10	15	11
8	8	10	8	13	26	15	8	14	8
9	7	11	12	12	12	12	9	14	8
10	7	8	13	10	13	14	10	14	9
11	10	10	13	9	12	15	9	14	10
12	9	10	13	12	14	36	11	12	11
13	7	10	11	14	15	15	6	13	10
14	6	11	12	33	32	17	12	15	11
15	7	7	12	33	30	16	11	10	12
16	6	7	13	32	28	50	8	8	9

Resultados de medición de PM 2.5 / Horario Noche									
N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
17	16	7	9	36	28	42	7	9	9
18	17	8	9	34	25	32	5	9	6
19	18	10	13	40	21	34	5	10	5
20	18	9	11	42	21	36	7	11	6
21	15	11	12	42	31	35	7	13	6
22	16	18	9	40	30	50	9	10	7
23	7	20	11	34	50	43	7	6	7
24	6	21	11	21	42	32	16	6	7
25	16	22	11	30	32	35	7	6	8
26	17	13	7	31	28	36	4	5	9
27	18	12	7	33	35	34	4	6	7
28	18	14	11	34	33	33	8	6	6
29	15	12	13	34	30	30	13	5	6
30	16	14	13	40	30	30	12	6	6

ANEXO 3: Datos de medición de PM₁₀ ug/m³

Resultados de medición de PM 10 / Horario Mañana									
N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
1	28	24	25	23	28	25	52	54	50
2	31	25	23	24	26	25	53	53	56
3	27	25	24	22	26	25	48	51	57
4	23	26	19	49	19	21	55	51	58
5	25	24	19	41	16	21	54	52	55
6	26	22	19	28	24	19	47	56	51
7	30	21	24	24	21	19	52	52	51
8	31	19	22	22	21	19	49	60	56
9	35	21	22	29	15	20	47	60	57
10	32	23	24	26	14	23	46	14	46
11	28	25	23	27	30	23	46	30	41
12	19	35	24	48	56	24	47	42	41
13	16	33	22	64	50	24	46	39	46
14	15	27	22	43	33	21	45	40	45
15	18	27	25	43	28	20	52	43	45

Resultados de medición de PM 10 / Horario Mañana

N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
16	20	29	23	37	26	20	53	46	50
17	24	27	24	34	25	21	48	46	56
18	28	28	22	33	27	25	55	54	57
19	30	28	20	31	23	28	54	53	58
20	29	31	22	24	26	23	47	51	55
21	25	30	24	24	25	23	52	51	51
22	21	28	21	32	23	32	49	52	51
23	24	27	19	31	21	33	47	56	56
24	25	24	20	28	21	35	46	52	57
25	29	27	21	26	23	31	46	60	46
26	30	22	15	30	25	33	47	60	41
27	30	17	13	31	25	34	46	14	41
28	33	22	14	26	31	32	45	30	46
29	12	26	15	30	29	36	46	42	45
30	14	27	15	31	51	38	45	39	45

Resultados de medición de PM 10/ Horario Tarde

N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
1	11.5	33	4	27	46	23	42	51	43
2	9	39	3	25	26	24	41	47	52
3	8	34	23.54	28	19	19	49	46	45
4	8	32	4	29	20	20	52	48	39
5	8	27	5	34	20	22	51	53	41
6	8	13	15	32	20	24	47	53	42
7	44	13	14	27	62	27	42	49	42
8	30	5	17	26	56	23	47	48	41
9	45	14	16	32	45	25	48	47	50
10	50	17	13	22	36	29	53	48	48
11	36	15	21	16	23	28	33	38	49
12	30	16	21	17	21	33	35	34	27
13	42	18	23	21	23	35	34	33	45
14	18	18	28	22	23	29	36	37	45
15	83	8	26	23	25	27	34	44	43
16	67	7	29	22	20	22	31	39	52

Resultados de medición de PM 10/ Horario Tarde

N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
17	58	8	23	41	28	13	42	34	45
18	11	11	10	32	21	13	41	27	39
19	11	8	12	23	25	13	49	51	41
20	10	8	16	36	29	12	52	47	42
21	11	15	16	39	51	11	51	46	42
22	8	11	12	35	48	25	47	48	41
23	10	14	8	23	21	29	42	53	50
24	11	15	15	34	26	23	47	53	48
25	13	13	18	32	27	16	48	49	49
26	13	13	12	12	16	15	53	48	27
27	11	8	15	9	22	48	33	47	45
28	12	9	19	8	23	45	35	48	45
29	11	12	23	7	27	29	34	38	40
30	14	15	18	9	23	36	36	34	30

Resultados de Medición de PM 10 / Horario Noche

N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
1	17	18	14	13	33	13	7	14	7
2	17	22	16	14	28	15	6	15	7
3	19	23	11	13	12	14	6	15	8
4	18	24	11	10	13	12	6	15	10
5	16	13	13	11	13	13	6	13	10
6	16	12	13	12	13	17	10	14	10
7	10	15	9	14	33	27	10	15	11
8	7	11	8	14	28	15	8	14	8
9	6	12	12	12	12	13	9	15	8
10	9	9	13	10	13	14	10	15	9
11	15	11	14	9	13	15	9	15	10
12	10	10	14	12	14	37	11	12	11
13	7	12	11	14	15	16	6	14	10
14	6	11	12	36	34	17	12	15	11
15	7	7	13	36	30	16	11	11	13
16	7	7	13	33	28	61	9	8	9

Resultados de Medición de PM 10 / Horario Noche

N°	Plaza de la Constitución			Intersección de las Av. San Carlos y Calmell del Solar			Centro Poblado de Chamiseria		
	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros	Altura 2.5 metros	Altura 8 metros	Altura 10 metros
17	17	7	10	40	28	49	7	9	9
18	17	8	10	39	25	34	5	9	8
19	19	10	14	47	21	35	5	10	6
20	18	10	12	50	21	37	7	11	7
21	16	11	13	50	32	35	7	14	7
22	16	18	9	47	30	51	9	11	7
23	7	22	11	39	61	44	7	7	7
24	7	23	12	23	49	33	17	7	7
25	17	25	11	33	34	35	7	6	8
26	17	13	7	33	29	37	5	5	10
27	19	12	7	33	35	34	5	6	7
28	18	14	11	38	33	33	8	6	6
29	16	12	14	39	30	30	13	5	6
30	16	14	14	47	33	33	12	6	6

ANEXO 4: Ensamblaje de medidor al drone



ANEXO 5: Medición de zona urbana (L1)



ANEXO 6: Medición de zona urbana (L2)



ANEXO 7: Medición de zona rural (L3)



ANEXO 8: Registro de datos la zona urbana (L2)



ANEXO 9: Levantamiento del vuelo en zona urbana (L2)



ANEXO 10: Levantamiento de vuelo del dron en zona rural (L3)



ANEXO 11: Registro de datos en zona rural (L3)



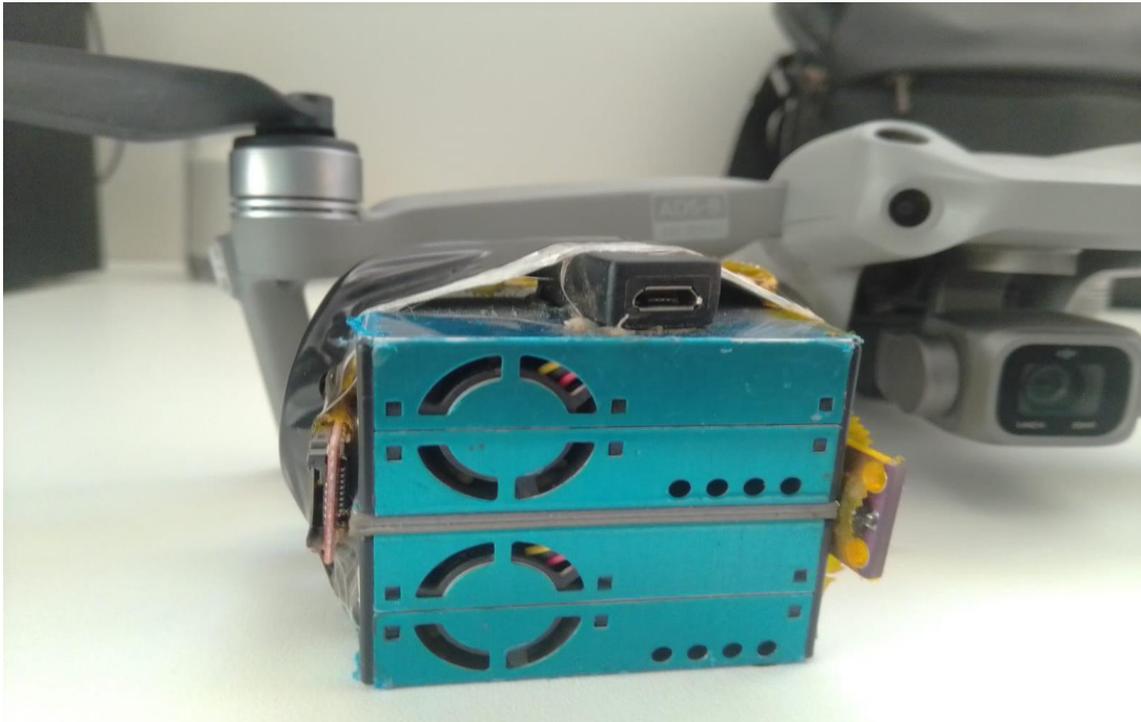
ANEXO 12: Levantamiento de vuelo de dron en zona urbana (L1)



ANEXO 13: Componentes para la medición de material particulado.



ANEXO 14: Sensor utilizado en medición de material particulado



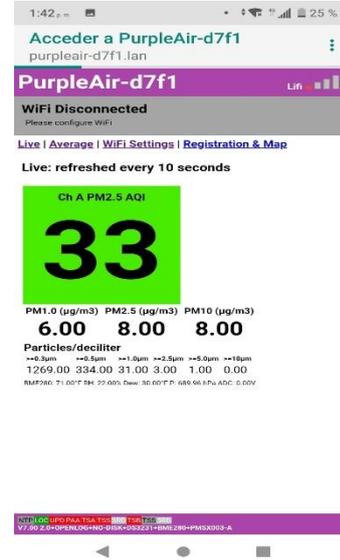
ANEXO 15: Acoplamiento de los sensores y batería externa con el dron



ANEXO 16: Medición de PM_{2.5} y PM₁₀, horario mañana



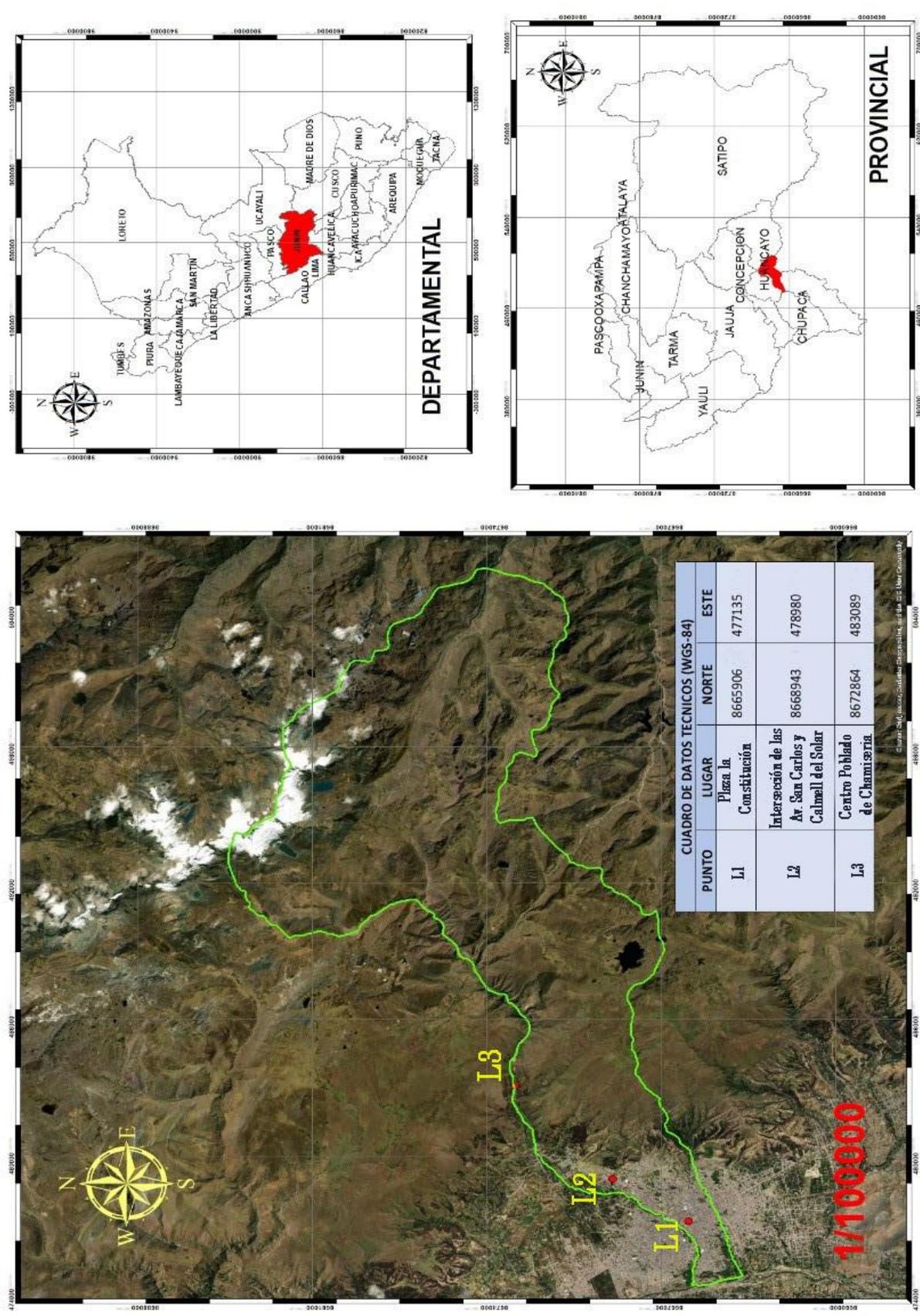
ANEXO 17: Medición de PM_{2.5} y PM₁₀, horario tarde



ANEXO 18: Medición de PM_{2.5} y PM₁₀, horario noche



ANEXO 19: Mapa de ubicación y localización



Proyecto: PLANO DE UBICACION Y LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS MATERIAL PARTICULADO (MATERIAL PARTICULADO PM 2.5 Y PM10) EN EL DISTRITO DE HUANCAYO	Plano: PLANO DE UBICACION Y LOCALIZACION		Fecha: OCTUBRE-2022 Escala: INDICADA	PI-01
	Fuente: IGN-MTC-INEI-ZEE JUNIN			
	Departamento: JUNIN	Provincia: HUANCAYO		