

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS

**“CALIDAD DEL AIRE POR LA EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN
LA COMUNIDAD DE SACSAMARCA, HUANCAMELICA – 2021”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
GESTIÓN AMBIENTAL Y/O SANITARIA**

**PRESENTADO POR:
Bach. Marcelo Carbajal Sedano**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**HUANCAMELICA, PERÚ
2022**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 26 días del mes de agosto del año 2022, a horas 5:00 p.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : M.Sc. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA
<https://orcid.org/0000-0001-9253-5974>
DNI N° 41063829

SECRETARIO : M.Sc. LUIS ALBERTO TITO CORDOVA
<https://orcid.org/0000-0003-0072-4140>
DNI N° 40943298

ASESOR : Dr. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO
<https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>
DNI N° 40446828

Designados con Resolución de Decano N° 378-2021-FCI-UNH, de fecha 21 de junio del 2021, a fin de proceder el acto académico de evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "CALIDAD DEL AIRE POR LA EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN LA COMUNIDAD DE SACSAMARCA, HUANCAVELICA-2021", presentado por el Bachiller Marcelo CARBAJAL SEDANO con DNI N° 71377696, a fin de para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; Finalizado la evaluación a horas 6:08 p.m.; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD.....

DESAPROBADO POR

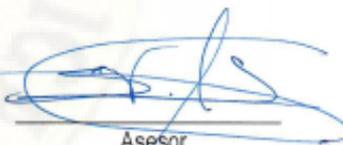
En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



Secretario



Asesor

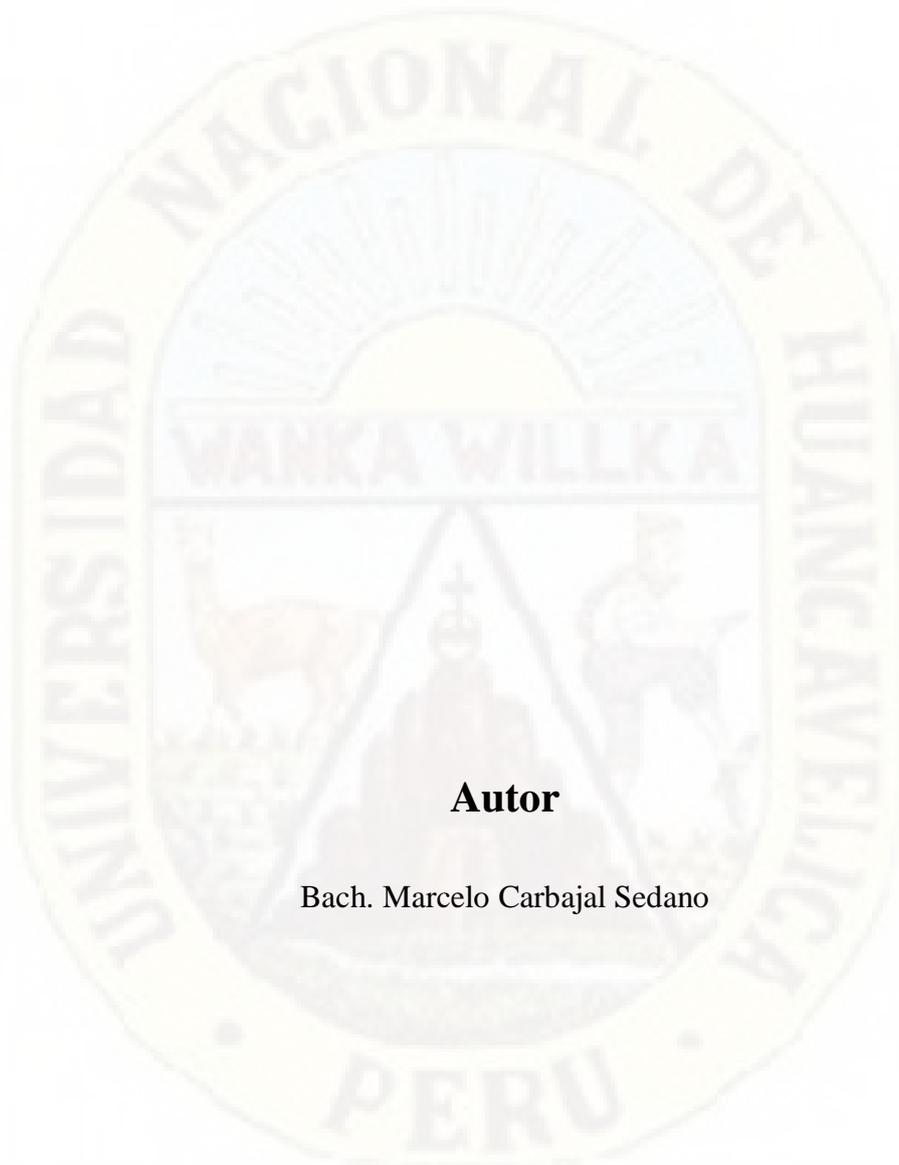


Vº Bº Decano



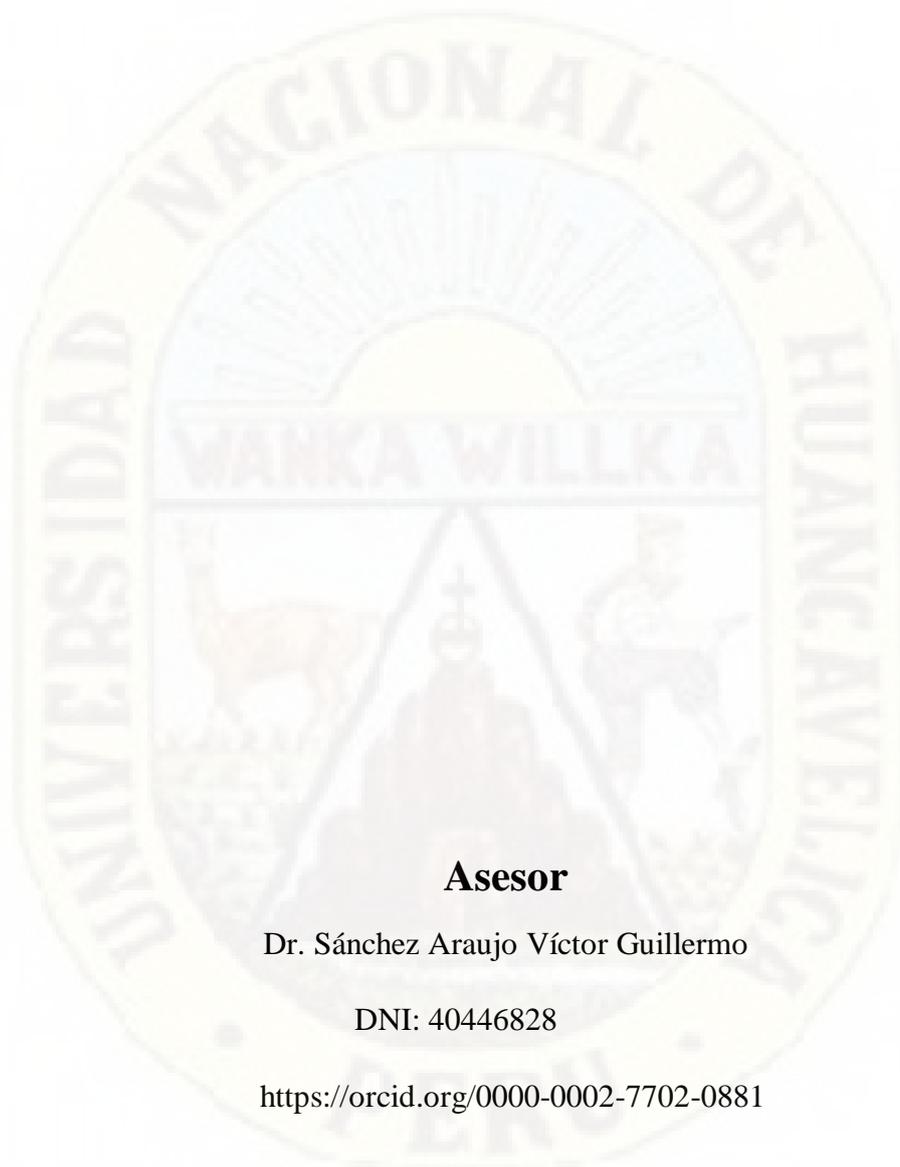
Título

“CALIDAD DEL AIRE POR LA EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO
EN LA COMUNIDAD DE SACSAMARCA, HUANCABELICA – 2021”



Autor

Bach. Marcelo Carbajal Sedano

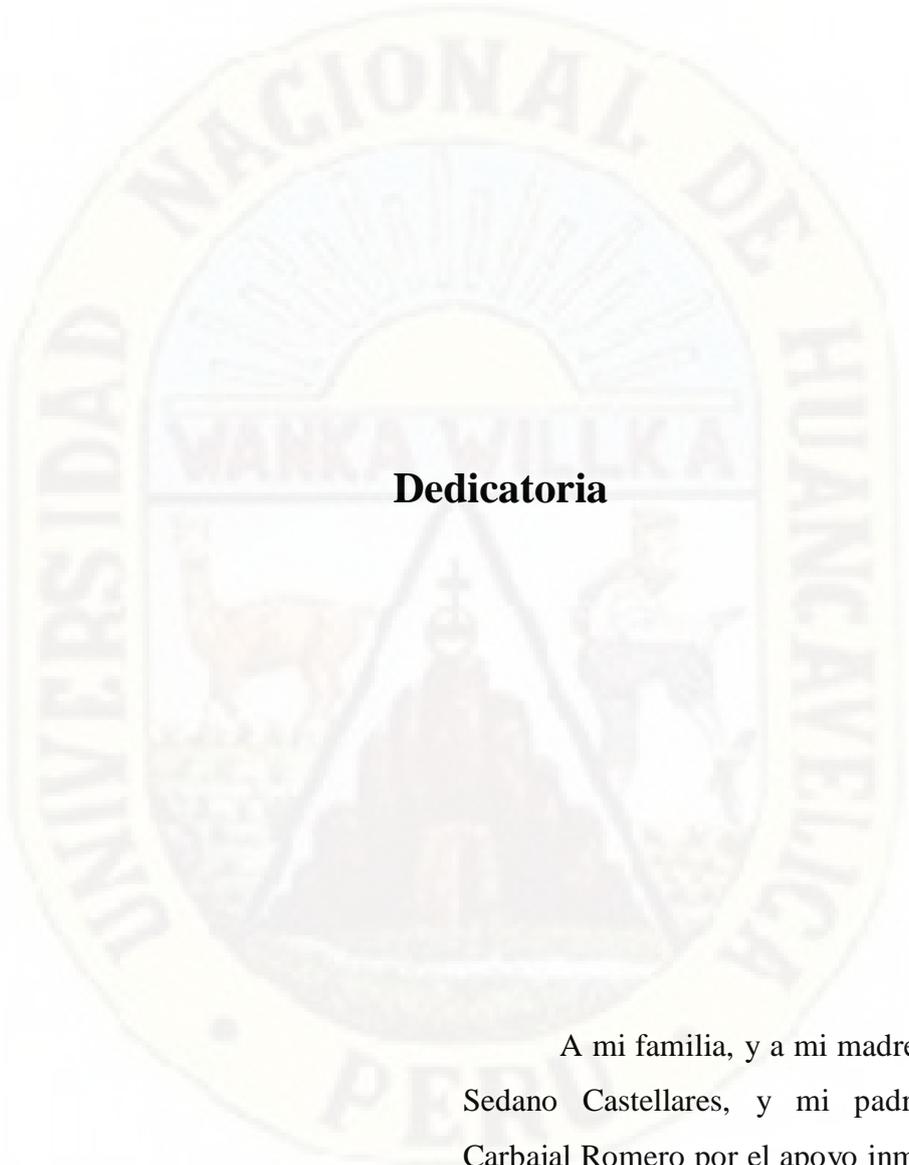


Asesor

Dr. Sánchez Araujo Víctor Guillermo

DNI: 40446828

<https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>



Dedicatoria

A mi familia, y a mi madre Lorenza Sedano Castellares, y mi padre Mateo Carbajal Romero por el apoyo inmenso que me dio en mi formación personal y profesional hasta poder lograr el objetivo de llegar a ser ingeniero ambiental y sanitario en la prestigiosa Universidad Nacional de Huancavelica.

Agradecimiento

A mi asesor el Dr. Víctor Sánchez Araujo quien me inculco a partir del primer ciclo de mi formación académica en la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y de la misma forma por apoyarme en la elaboración, ejecución y elaboración del informe final de la presente tesis.

A los jurados de la presente tesis quienes gracias a sus observaciones y sugerencias se pudo realizar las mejoras de la presente tesis, de la misma forma agradecerles por la dedicación de su tiempo.

A mi familia quienes fueron el impulso de lograr este objetivo, gracias al apoyo moral y sustento económico que me brindaron en mi formación profesional.

A mis compañeros del aula quienes fueron parte de mi durante los cinco años de formación en la escuela profesional de ingeniería ambiental y sanitaria, con quienes compartí amistad, conocimiento y muchas cosas que mejoraron algunos aspectos para lograr este objetivo.

ÍNDICE

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Título.....	iii
Autor.....	iv
Asesor.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Descripción del problema.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación.....	18
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1. A nivel Internacional.....	20
2.1.2. A nivel Nacional.....	23
2.1.3. A nivel Local.....	27
2.2. Bases conceptuales.....	27

2.2.1.	Calidad de aire	27
2.2.2.	Material particulado.....	31
2.1.	Hipótesis.....	33
2.1.1.	Hipótesis General.....	33
2.1.2.	Hipótesis Específicas.....	34
2.2.	Definición de términos	34
a)	Material particulado	34
b)	Calidad del aire	34
c)	PM 2.5.....	34
d)	PM10.....	35
2.3.	Definición operativa de variables.....	35
2.4.	Operacionalización de la variable	36
CAPÍTULO III	38
MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1.	Tipo de investigación.....	38
3.2.	Nivel de investigación	38
3.3.	Método de Investigación.....	39
3.3.1.	Método general	39
3.3.2.	Método específico	39
3.4.	Diseño de investigación	40
3.5.	Población y muestra.....	40
3.5.1.	Población	40
3.5.2.	Muestra.....	43
3.5.3.	Muestreo	43
3.5.4.	Unidad de análisis	43
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.6.1.	Técnicas	44
3.6.2.	Instrumentos.....	46
3.7.	Procedimiento	47
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	58
CAPÍTULO IV	59
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59

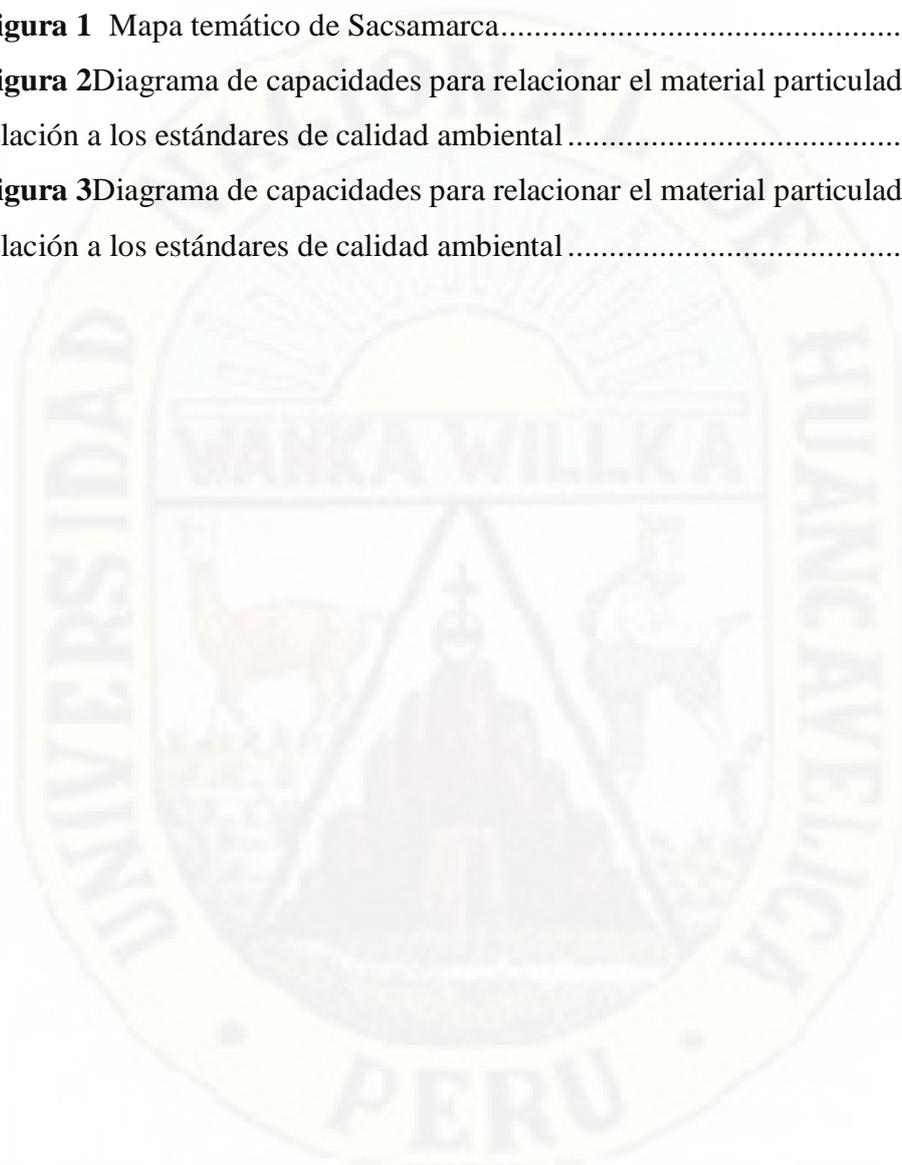
4.1. Análisis de información	59
1.4.1. Aspectos generales del monitoreo de material particulado	59
1.4.2. Resultados de la evaluación de la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido en Huancavelica – 2021.....	61
1.4.3. Resultados de la evaluación de la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de PM ₁₀ en Huancavelica – 2021	61
1.4.4. Resultados de la evaluación de la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de PM _{2.5} en Huancavelica – 2021	62
1.4.5. Resultados de la determinación del índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM ₁₀ en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.	64
1.4.6. Resultados de la determinación del índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM _{2.5} en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.	65
4.2. Prueba de hipótesis.....	66
4.3. Discusión de resultados.....	73
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
APÉNDICE	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental	30
Tabla 2	<i>Efectos en la salud humana por exposición a material particulado PM10 y PM2.5</i>	33
Tabla 3	Operacionalización de variables	36
Tabla 4	Cuadro de las técnicas e instrumento de recolección de datos	44
Tabla 6	Número mínimo de estaciones	47
Tabla 7	Determinación de los parámetros a monitorear	48
Tabla 8	Puntos de corte de Índice de Calidad del Aire-ICA	55
Tabla 9	Valores de la Calidad del aire	57
Tabla 10	Umbrales del AQI para el PM2.5	57
Tabla 11	Umbrales del AQI para el PM10.....	58
Tabla 12	Datos generales del monitoreo de material particulado para material particulado PM10 y PM2.5	59
Tabla 13	Peso inicial y final del filtro de cuarzo durante los monitoreos de material particulado PM10.....	60
Tabla 14	Peso inicial y final del filtro de cuarzo durante los monitoreos de material particulado PM2.5	60
Tabla 15	Calidad de aire por material particulado PM10 y PM2.5	61
Tabla 16	Resultados del AQI de material particulado PM10.....	61
Tabla 17	Índice de calidad de aire por material particulado PM10	62
Tabla 18	Concentración de material particulado PM2.5	62
Tabla 19	Índice de calidad de aire por material particulado PM2.5.....	63
Tabla 20	Concentración de material particulado PM10 en relación a los estándares de calidad ambiental	64
Tabla 21	Concentración de material particulado PM2.5 en relación a los estándares de calidad ambiental	65
Tabla 22	Prueba de normalidad para el índice de calidad de aire global para material particulado.....	66
Tabla 23	Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global.....	67
Tabla 24	Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global para PM10.....	68
Tabla 25	Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global.....	70
Tabla 26	Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global.....	71
Tabla 27	Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa temático de Sacsamarca.....	42
Figura 2 Diagrama de capacidades para relacionar el material particulado PM ₁₀ en relación a los estándares de calidad ambiental	64
Figura 3 Diagrama de capacidades para relacionar el material particulado PM _{2.5} en relación a los estándares de calidad ambiental	65



Resumen

La presente tesis “Calidad del aire por la emisión de material particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica–2021”, se planteó como problema ¿Cuál es la calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021?, con el objetivo de: Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido en Huancavelica–2021. La metodología de investigación fue de tipo aplicada, de nivel explicativo, con un diseño no experimental y un método científico, en donde se eligió 7 puntos de monitoreo mediante un muestreo no probabilístico y teniendo en cuenta el protocolo de monitoreo de aire y la recolección de datos se realizó mediante el equipo Hi-vol de alto volumen a un flujo de $1.13 \text{ m}^3/\text{s}$ y fichas de recolección de datos, de la misma forma se hizo uso de la balanza analítica para la medición de los filtros de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ para obtener las concentraciones del material particulado suspendido en la comunidad de Sacsamarca, para la determinación del AQI se hizo uso del aplicativo AQI-aire y para la obtención del AQI global se hizo uso de las formulas establecidas en el índice de calidad de aire. Los resultados de PM_{10} fueron AQI global de 158.3, 173.6, 173.6 y 188.4 con concentraciones de PM_{10} que oscilan entre 29.2 a $163.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\text{PM}_{2.5}$ oscilan entre 11.7 a $93.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se concluye que la calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ no es buena; ya que posee una escala moderada, no salubre e insalubre, lo cual indica que el aire que respira la comunidad de Sacsamarca es tolerable, pero a pesar de ello para una pequeña cantidad de personas que habitan en dicha comunidad podría ser dañino a quienes son muy susceptibles a la contaminación de aire

Palabras clave: Calidad de aire, material particulado suspendido, Hi-vol

Abstract

The present thesis "Air quality due to the emission of particulate material in the community of Sacsamarca, Huancavelica-2021", was raised as a problem: What is the quality of air in the community of Sacsamarca, due to the emission of particulate material in Huancavelica - 2021? with the objective of: Evaluating the air quality in the community of Sacsamarca due to the emission of suspended particulate matter in Huancavelica – 2021. The research methodology was of an applied type, explanatory level, with a non-experimental design and a scientific method, where 7 monitoring points were chosen through non-probabilistic sampling and taking into account the air monitoring protocol and the collection of The data was carried out using the high-volume Hi-vol equipment at a flow of 1.13 m³ / s and data collection sheets, in the same way the analytical balance was used to measure the PM10 and PM2.5 filters to To obtain the concentrations of the suspended particulate material in the community of Sacsamarca, to determine the AQI the AQI-air application was used and to obtain the global AQI the formulas established in the air quality index were used. The PM10 results were global AQI of 158.3, 173.6, 173.6 and 188.4 with PM10 concentrations ranging between 46.8 to 163.7 µg / m³ and PM2.5 ranging between 29.2 to 93.5 µg / m³. It is concluded that the quality of the air in the Sacsamarca community, due to the emission of PM10 and PM2.5 particulate matter is not good; since it has a moderate scale, unhealthy and unhealthy, which indicates that the air that the Sacsamarca community breathes is tolerable, but despite this for a small number of people who live in said community it could be harmful to those who are very susceptible to air pollution

Keywords: Air quality, suspended particulate material, Hi-vol

INTRODUCCIÓN

En el contexto ambiental, la contaminación atmosférica se define como la acumulación de contaminantes ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso, que en altas concentraciones afectan a la atmosfera, de la misma manera es el principal riesgo ambiental para la salud, y de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (2016), el contaminante más relevante es el material particulado que presenta un diámetro de 10 micras ya que penetran en los pulmones.

El gran porcentaje de MP es generado por vehículos que viajan en caminos rurales no pavimentados. Sin embargo, se conoce muy poco sobre la cantidad, composición, flujos y distancia de transporte del MP dispersado en los caminos no pavimentados y su contribución a los excedentes del PM10. La mayoría de los caminos no pavimentados consisten de grava, material de caminos compactados generalmente creados de roca madre. Las ruedas de los vehículos causan una fuerza sobre la superficie que provoca una pulverización del material del camino y lanza partículas tanto por la fuerza generada, como por la ola turbulenta causada al paso del vehículo (Environmental Protection Agency , 2006)

Es por ello que en esta investigación se plantea Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido en Huancavelica – 2021

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Según la Environmental Protection Agency (2006) señala que las emisiones de material particulado suspendido de PM10 y PM2.5 producidos en caminos no pavimentados inician con la pulverización del material superficial de suelo causado por la fuerza de las ruedas de los vehículos, al levantar y exponer el polvo a corrientes fuertes de aire detrás de las ruedas. Por lo que dicha agencia señala que el material particulado (MP) es un término utilizado para referirse a partículas suspendidas en el aire, debido tanto a causas naturales como por acciones humanas. El tamaño de MP es expresado como el diámetro aerodinámico, el cual se refiere a la unidad de densidad de partículas esféricas con las mismas propiedades aerodinámicas, tales como la velocidad de caída. El MP con diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$ (MP10) y $2.5 \mu\text{m}$ (MP2.5) pueden ser emitidas por numerosas fuentes (plantas de energía, fábricas de cemento, fábricas de diverso tipo, volcanes, incendios forestales y pastizales, atomizadores o aerosoles), fuentes no puntuales (camiones, automóviles, actividades agrícolas, caminos de terracería, ranchos ganaderos) y sitios de construcción.

Debido a su densidad y tamaño, en cuanto más pequeña es la partícula, mayor es el tiempo en que permanece en el aire. Como resultado de las velocidades de sedimentación, el MP fino es menor i.e. $\sim 0.01 \text{ cm s}^{-1}$ para una partícula con un diámetro de 2.5 mm y densidad de 1 g cm^{-3} (Flores, et al., 2011).

Así mismo Flores, et al. (2011), señala que dichas partículas pueden estar suspendidas en la troposfera por semanas y subsecuentemente pueden ser transportadas a grandes distancias. Las partículas finas son de preocupación e importancia por algunas razones tales como: existen evidencias de que las MP2.5 pueden ser depositadas en el fondo de la laringe más que las partículas grandes y su gran superficie específica tiene alta capacidad para adsorber otros químicos y transportarlos a lugares más bajos por el viento a distancias lejanas. Debido a esos riesgos ambientales y de salud, los MP10 y MP2.5 están legislados por los estándares de contaminantes de la calidad del aire nacional en los Estados Unidos de América, NAAQS (Environmental Protection Agency, 2006).

Teniendo en consideración de los autores señalados párrafos arriba se puede señalar que en la comunidad de Sacsamarca se tiene problemas muy álgidos de material particulado suspendido de PM10 y PM2.5 debido a que la vía no se encuentra pavimentada, lo que genera la alta propagación de material particulado debido a ello se planteó evaluar la calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021?

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM10 en Huancavelica – 2021?
- ¿Cuál es la calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM2.5 en Huancavelica – 2021?

- ¿Cuál es el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021?
- ¿Cuál es el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM2.5 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido en Huancavelica – 2021

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de PM10 en Huancavelica – 2021
- Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de PM2.5 en Huancavelica – 2021
- Determinar el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.
- Determinar el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM2.5 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.

1.4. Justificación

La calidad del aire es uno de los factores ambientales que tiene gran repercusión en la salud de las personas y en la disponibilidad de los diversos recursos, y uno de los factores que más contaminan el aire es el material particulado

el cual genera impactos severos en la salud cuando se encuentran en altas concentraciones, por ello es necesario evaluar la cantidad de material particulado que se genera en la comunidad de Sacsamarca y al realizar la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para la calidad de aire que se encuentra vigente en la actualidad, a partir de ello se podrá establecer si la calidad de aire es adecuada y no genera impactos severos tanto en el ambiente como en la salud de la población del entorno.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Internacional

Según Ramírez (2019) llevo a cabo el artículo científico "Contribución de fuentes y origen del material particulado atmosférico en Bogotá, Colombia" tuvo como objetivo realizar una caracterización química y un análisis de contribución de fuentes de la fracción de material particulado menores a 10 micras y 2.5 micras en una zona urbana, para ello se realizó campañas de muestreo, en una de ellas de material particulado suspendido en una urbanización de la ciudad y la otra de material particulado del polvo de una carretera. La metodología utilizada para la recolección de datos del material particulado suspendido se seleccionaron 20 muestras en las zonas residenciales, comerciales e industriales mediante el muestreador de alto volumen Hai Vol a un flujo de 1.13 m³/s.; obteniéndose como resultados que fue mayor el volumen (%) de Material particulado menores a 10 micras y 2.5 en muestras de zonas industriales. Partículas esféricas y semiesféricas de Fe, Cu y Pb, así como angulares y subangulares de Ba, Zn, Cu, Fe, Mn, Sn y Pb, fueron identificadas con tamaño <10µm. Se analizó la contribución de fuentes teniendo en cuenta la variabilidad de los perfiles químicos, los factores de enriquecimiento y las relaciones Fe/Al, K/Al, Ca/Al, Ti/Al, Cu/Sb, Zn/Sb, OC/TC y OC/EC, tuvo como conclusión: Para finalizar se tuvo que pasar por un análisis de

componentes principales en la cual se identificó 6 factores que explican sobre el origen del contaminante: erosión de suelos locales y del pavimento (63%), actividades de construcción y demolición (13%), emisiones industriales (6%), desgaste de frenos (5%), emisiones vehiculares del tubo de escape (4%) y otras fuentes (9%).

Reyes y Bernal (2019), en su artículo científico sobre “Evaluación de la calidad de aire en la Universidad Santiago de Cali” cuyo objetivo fue determinar la concentración de partículas totales en suspensión y su incidencia en la calidad de aire, la metodología fue de tipo cuantitativo descriptivo, las fuentes evaluadas fueron las móviles como los buses, camiones, motos, microbuses, todos ellos hacen un total de 63656 vehículos por día, en el primer punto obtuvo un valor de 91.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el segundo punto tuvo un valor de 103.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el tercer punto fue de 124.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el quinto punto obtuvo un valor de 100.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que la emisión diaria de contaminantes generalmente se produce por el parque automotor con un valor de 42.25 toneladas por día, el contaminante que es generado con mayor frecuencia son los materiales particulados, los niveles de emisión en cada punto superan los niveles de la norma nacional ya que solo se permite 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tarazona (2018), en su trabajo de investigación sobre “Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (PM10) en la vereda Mochuelo - Alto Bogotá D.C.” su objetivo general fue evaluar la calidad de aire con la cuantificación del material particulado (PM10), la metodología de la investigación fue de enfoque mixto, con alcance descriptivo y explicativo, los métodos aplicados fueron el deductivo y analítico, los principales resultados fueron: el PM10 en el mes de abril obtuvo un pico de 154.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de mayo no superan los límites de la normativa colombiana, en el mes de junio obtuvo un valor máximo de 158.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de julio no superan los límites establecidos en la norma, en el mes de agosto hubo un valor máximo de 47.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de setiembre excedió su valor con 103.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de octubre obtuvo un valor máximo de 115.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o cual indica que supera los límites de la norma, en el mes

de noviembre existió un valor máximo de $51.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que los resultados de las estaciones cumplen en un 89% de los días y las concentraciones PM10 se encuentran dentro de la categoría de moderada a buena conforme a los establecido por IDEAM.

Mientras que Méndez, et al. (2017), en su artículo científico “Estimación de factores de emisión de material particulado Re suspendido antes, durante y después de la pavimentación de una vía en Bogotá” en donde tuvo como Objetivo: Pronosticar la concentración de material particulado en la obra de pavimentación de la carretera provincial de Caracolí, ubicada en la ciudad de Bolívar. Metodología: La investigación fue de tipo aplicada en donde se valoró el impacto ambiental y estimación experimental del material particulado mediante el Hi-Vol de flujo de alto volumen, el análisis estadístico fue realizado mediante diagrama de tendencia central de dispersión en donde se obtuvo los siguientes Resultados: $7,8 \pm 0,5 \text{ g PM}_{10}/\text{VKT}$ y $0,6 \pm 0,2 \text{ g PM}_{2.5}/\text{VKT}$ y para vía en proceso de construcción de $28 \pm 0,27 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ y $11 \pm 0,13 \mu\text{g PM}_{2.5}/\text{m}^2$, llegando a la Conclusión: La concentración más alta de material particulado registrada en la obra de pavimentación se dieron durante las actividades de excavación y la modelación de dispersión atmosférica de material particulado suspendido mostró una disminución del área de impacto en aproximadamente 1km y más de un 95% en concentración.

Charres y Marcela (2016), en su investigación sobre “Evaluación de la calidad de aire en el municipio de Sucsca (Cundimarca)” donde su propósito fue determinar el estado de la calidad de aire en el municipio, en la metodología para el desarrollo del estudio fue identificar las fuentes de emisión, para después determinar la concentración del material articulado, analizar la dispersión de contaminantes emitidos y finalmente estimar los impactos que genera la contaminación del aire a la salud de las personas, en los resultados encontrados indica que: existen 8 fuentes puntuales y 3 fuentes de área, en las fuentes puntuales la emisión de PM10 fue de 0.017 g/s, 0.011 g/s, 0.021 g/s, 0.021 g/s, 0.011 g/s, 0.011 g/s, 0.010 g/s, concluye que existen tres tipos de fuentes de emisión en la municipalidad, puntual, lineal y de volumen, pero la fuente que genera mayor

emisión de material particulado fue la puntual con la industria del cemento, en la fuente lineal la mayor emisión se genera en las vías sin pavimentar donde se da mayor flujo de vehículos de carga pesada, de la misma manera el material particulado no supera los límites permisibles más al contrario registra valores menores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.1.2. A nivel Nacional

Alvarado (2019), en su investigación sobre “Evaluación de la calidad de aire por la emisión del material particulado en las piladoras Rey León S.A.C y Santa Clara, Cacatachi - 2018” cuyo objetivo fue determinar la calidad de aire por la emisión de material particulado en la piladora, la metodología empleada fue, de tipo correlacional, con diseño descriptivo correlacional, la población fue de 20000 m² en la piladora Rey León y 30000 m² en la piladora Santa Clara, la muestra fue de 500 m² de la piladora Rey león y 900 m² en la piladora Santa Clara, la técnica de recolección de datos fue la observación directa y la encuesta, cuyos instrumentos fueron la cadena de custodia y el cuestionario con escala dicotómica, los principales resultados fueron: sobre la calidad de aire en la piladora Rey León el PM₁₀ fue de $3494.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el PM_{2.5} fue de $418.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en la piladora Santa Clara el PM₁₀ fue de $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el PM_{2.5} fue de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que en la piladora Rey León los materiales particulado superan los parámetros de la normativa D.S. N° 003-2017-MINAM.

Motocanche (2019), en su estudio denominado “Evaluación de la influencia de las condiciones meteorológicas en los niveles de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en la construcción del Hospital Hipólito Unánue de Tacna” cuyo objetivo fue determinar la influencia de las condiciones meteorológicas en la dispersión de la concentración de contaminantes atmosféricos en la construcción del hospital, la metodología fue de tipo descriptivo, con diseño correlacional, la población fue el área geográfica en el cual se desarrolló la obra, la muestra estuvo determinada por dos puntos de monitoreo, los resultados fueron: el PM₁₀ en el mes de junio fue de $98.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de julio fue de $80.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de agosto fue de

65.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en el mes de setiembre fue de 79.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el PM_{2.5} en el mes de junio fue de 69.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de julio fue de 35.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de agosto fue de 41.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en el mes de setiembre fue de 64.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que los valores del material particulado obtuvieron valores menores a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y para el material particulado PM_{2.5} solo en el mes de junio obtuvo valores mayores que exceden a los estándares de calidad ambiental para aire.

Guzman (2019), realizó la investigación sobre “Evaluación de la calidad del aire de la Central Térmica de Ventanilla” donde el objetivo principal fue determinar la calidad ambiental del aire emitida por la empresa de Ventanilla, la metodología aplicada fue de tipo cuantitativo y nivel descriptivo, tuvo como referencia los estándares de calidad ambiental para la determinación de la calidad de aire, el monitoreo se realizó en los meses de enero a junio del 2019, los principales resultados obtenidos fueron: para el PM₁₀ en el mes de enero fue de 78.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de febrero fue de 56.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de marzo fue de 89.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de abril fue de 62.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de mayo fue de 55.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el mes de junio fue de 81.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el PM_{2.5} en el mes de enero fue de 38.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de febrero fue de 45.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de marzo fue de 29.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de abril fue de 45.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el mes de mayo fue de 39.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el mes de junio fue de 42.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que los valores identificados se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental pero es necesario que se realice reforestación en las partes superiores de los bordes donde se concentran los gases y el material particulado.

Ahuanari y Mozombite (2019), realizaron el estudio denominado “Evaluación del grado de contaminación por efecto de la emisión de gases y ruido en la ciudad de San Antonio del estrecho por edificación del Centro de Salud” con el objetivo de evaluar el grado de contaminación por la emisión de gases y ruido por la edificación del centro de salud, la metodología empleada fue de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, la población fue el área de construcción del centro de salud, los principales resultados fueron: el PM_{2.5} fue de 104.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

el monóxido de carbono fue de 12208.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el dióxido de nitrógeno fue de 274.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el dióxido de azufre fue de 319.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que los valores del PM2.5, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre superan los estándares de calidad ambiental, pero el PM10 fue de 89.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual no supera los estándares de calidad ambiental para la calidad de aire.

Vivanco (2019), en su investigación sobre “Evaluación de la concentración de PM10 y plomo en el aire ambiental, en los pueblos jóvenes cercanos a los depósitos de minerales en el Callao” donde el objetivo fue evaluar la calidad de aire generado por los depósitos de minerales en el Callao, la metodología empleada fue de tipo aplicada con diseño no experimental, realizó análisis de las variables meteorológicas tales como temperatura, humedad, viento, el muestreo se realizó cada tres días durante todo el año, en el primer punto fue de 65.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el segundo punto fue de 56.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el tercer punto fue de 78.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el cuarto punto fue de 71.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el sexto punto fue de 43.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el séptimo punto fue de 82.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el octavo punto fue de 82.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el noveno punto fue de 74.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en décimo punto fue de 80.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que los valores no superan los estándares de calidad ambiental en ninguna de las estaciones de monitoreo.

Chávez (2018), en su investigación sobre “Contaminación del aire por material particulado sedimentable en la zona urbana de Huánuco de agosto a octubre del 2016” donde el objetivo principal fue determinar la contaminación por el material particulado sedimentable en la zona de Huánuco, la metodología del estudio fue de tipo descriptivo correlacional, la muestra estuvo determinada por 7 puntos de monitoreo, los resultados fundamentales fueron: en el mes de agosto 30 días en el punto 1 fue de 4.48 mg/cm^2 , en el punto 2 fue de 9.64 mg/cm^2 , en el punto 3 fue de 5.074 mg/cm^2 , en el punto 4 fue de 10.45 mg/cm^2 , en el punto 5 fue de 6.29 mg/cm^2 , en el punto 6 fue de 4.97 mg/cm^2 , en el punto 7 fue de 5.14 mg/cm^2 , en el mes de setiembre 30 días en el punto 1 fue de 4.69 mg/cm^2 , en el punto 2 fue de 5.61 mg/cm^2 , en el punto 3 fue de 4.92 mg/cm^2 , en el punto 4 fue de 5.41 mg/cm^2 , en el punto 5 fue de 5.75 mg/cm^2 , en el punto 6 fue de 6.23

mg/cm², en el punto 7 fue de 4.77 mg/cm², finalmente concluye que en el mes de agosto el promedio fue de 6.28 mg/cm², en el mes de setiembre fue de 5.34 mg/cm² y en el mes de octubre fue de 2.99 mg/cm².

Guevara (2017), en su investigación sobre “Índice de la calidad de aire en el Distrito de Morales debido a la presencia de material particulado 2.5 microgramos” donde su objetivo primordial fue determinar el índice de la calidad de aire en relación al material particulado PM_{2.5}, la metodología fue de enfoque cuantitativo con diseño no experimental, la población fue el Distrito Morales que cuenta con 27371 habitantes, la muestra estuvo conformada por dos puntos de monitoreo, los instrumentos fueron el PM_{2.5}, manómetro, anemómetro, barómetro, higrómetro, brújula, caja Petri, flujómetro, estufa, micro balanza analítica, los principales resultados fueron: en el primer punto de monitoreo obtuvo 20.8 µg/m³, en el segundo punto el valor máximo fue de 22.5 µg/m³, finalmente concluye que los valores obtenidos se encontraban dentro de lo indicado por los estándares de calidad ambiental.

Vara (2017), en su investigación sobre “Contaminación atmosférica con material particulado en la ciudad del Cusco y su comportamiento - 2016” para obtener el grado de doctor en ciencias y tecnologías medio ambientales, el objetivo principal fue analizar la calidad de aire atmosférico de la ciudad de Cusco, la metodología empleada fue del tipo descriptivo explicativo, con nivel aplicativo, los principales resultados de la investigación fueron: para la calidad de aire de la estación Lima pampa el PM₁₀ fue de 25.8 µg/m³, el PM₁₀ en la estación de la Calle Ayacucho fue de 31.7 µg/m³, en la estación de la avenida La Cultura el PM₁₀ fue de 57.1 µg/m³, de la misma manera identificó metales pesados como el aluminio de 11.85 µg/m³, plomo de 0.0064 µg/m³ y cadmio de 0.0004 µg/m³, finalmente concluye que los materiales particulados del aire se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental que especifica que el PM₁₀ fue de 150 µg/m³ en 24 horas.

Prieto (2016), realizó la investigación sobre “Caracterización de material particulado, plomo y arsénico para la evaluación de la calidad de aire en el distrito

de Islay – Matarani”, cuyo objetivo fue determinar la relación entre las concentraciones de contaminantes con el potencial del grado de contaminación atmosférica del distrito de Islay, el estudio fue de diseño experimental con cuatro puntos de monitoreo, los equipos empelados fueron: HI-VOL PM10, estación meteorológica, manómetro, brújula, silicona para retención de partículas mayores a 10 micras, los principales resultados fueron: en el primer punto de monitoreo el PM10 fue de 43.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el segundo punto de monitoreo fue de 56.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el tercer punto de monitoreo fue de 47.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en el cuarto punto de monitoreo fue de 32.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el primer punto de monitoreo el arsénico fue de 0.00142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el segundo punto de monitoreo fue de 0.00522 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el tercer punto de monitoreo fue de 0.00309 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en el cuarto punto de monitoreo fue de 0.00232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el primer punto de monitoreo el plomo fue de 0.02487 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el segundo punto de monitoreo fue de 0.03366 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el tercer punto de monitoreo fue de 0.01078 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en el cuarto punto de monitoreo fue de 0.01523 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que los valores identificados se encuentran por debajo de los parámetros establecidos por los estándares de calidad ambiental para la calidad de aire.

2.1.3. A nivel Local

2.2. Bases conceptuales

2.2.1. Calidad de aire

2.2.1.1. Aire

El aire puro de acuerdo a Alfayate y Gonzales (2011), se define como la mezcla de gases, partículas sólidas, vapor de agua y partículas líquidas que en conjunto envuelven la tierra; los principales gases que conforman el aire son el Nitrógeno con un 78.08% y el oxígeno con un 20.95%, también intervienen otros elementos como el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, ácido sulfhídrico y el dióxido de azufre.

2.2.1.2. Calidad de Aire

La calidad de aire es una variante indispensable ya que cada individuo respira un promedio de 3000 galones de aire por día, por ello los componentes del aire deben estar en equilibrio en la atmósfera conforme a los porcentajes establecidos, pero si al aire se agrega alguna sustancia o aumenta el porcentaje de algunos de sus compuestos, este tiende a contaminar lo cual genera un peligro para el ambiente y la salud de las personas (Alfayate, y otros, 2011).

2.2.1.3. Contaminantes del aire

Los contaminantes del aire son variados, pero existen 5 tipos que afectan seriamente a la salud por medio de la inhalación: dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y material particulado (PM10 y PM2.5), también se considera contaminante al dióxido de carbono ya que tiene un gran aporte en el efecto invernadero (Aragón, 2011).

La contaminación del aire se genera a partir de la alteración de los componentes de un elemento del aire, este problema paso a tener importancia a partir del siglo XIX en eventos como Meuse Valley en donde fallecieron 60 personas debido a la emisión de dióxido de azufre, de la misma manera el evento de Donora Pennsylvania donde fallecieron 4000 personas por presencia de contaminantes en el aire, a partir de ello los diversos estados decidieron tomar medidas políticas y científicas para controlar y regular diversos eventos que pueden presentarse por la contaminación del aire (Aragón, 2011).

El 5 de junio de 1972, se realiza un evento fundamental para el ambiente ya que se firma la “Declaración de Estocolmo”, en este documento se trata temas ambientales fundamentales teniendo como objetivo un logro significativo en el uso sostenible de los recursos naturales, también en el año 1992 se realiza “La cumbre de la tierra de Rio de Janeiro” en donde se aprueba la Agenda 21, que consta de un plan de medidas para el desarrollo sostenible y la lucha contra el cambio climático, y en el año 1997 se lleva a cabo la “Cumbre de Kioto” la cual tuvo como objetivo fundamental reducir las emisiones de gases que causan el calentamiento global, este fue firmado por 160 países (Aragón, 2011).

Finalmente, en el año 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS), llevó a cabo un estudio de comparación de las concentraciones de material particulado (PM10) debido al crecimiento de la producción industrial, a partir del análisis la OMS declaró que el límite de concentración de partículas es de 24 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ en 24 horas (Aragón, 2011).

2.2.1.4. Fuentes de contaminación del aire

Existen diferentes fuentes de la contaminación del aire los cuales se pueden dividir en dos: antropogénicas y naturales, en donde la contaminación natural se da por las erupciones volcánicas, incendios forestales; la contaminación antropogénica se da por medio de la actividad humana y su intervención en los diversos procesos tales como combustión, incineraciones de residuos, humos de industrias entre otros factores (Nevers, 1998).

2.2.1.5. Procesos de la contaminación atmosférica

Los contaminantes atmosféricos se encuentran sometidos a tres procesos, emisión, en este proceso se da la expulsión del contaminante desde cualquier tipo de fuente, estas sustancias son vertidas por medio de los focos emisores, dentro de los contaminantes se encuentran los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y partículas sólidas en suspensión con diámetros que varían de 2.5 μm a 10 μm , transmisión la cual se realiza por medio de los factores atmosféricos y finalmente la inmisión es el proceso de dispersión de los contaminantes en la atmósfera (Nevers, 1998).

La concentración de contaminantes del aire va a depender de la magnitud de la fuente y la eficiencia de dispersión, por lo que las variaciones de la concentración del contaminante se encuentran relacionado directamente con las condiciones meteorológicas, donde el viento es uno de los elementos claves para la dispersión del contaminante en el aire, pero cuando existen fuentes contaminantes al nivel del suelo se genera una relación inversa con la velocidad del viento, de la misma manera la turbulencia es otro factor fundamental ya que en espacios accidentados la turbulencia incrementa como también la dispersión de los contaminantes (Nevers, 1998).

El tiempo de vida media de un contaminante se encuentra relacionado con la escala espacial y temporal de un contaminante, ya que, si se emite un contaminante a la atmosfera con un tiempo de vida largo, las corrientes atmosféricas lo transportan por diversos lugares generando una contaminación a escala global, pero cuando se emite un contaminante con tiempo de vida medio la escala espacial sería pequeña. Los contaminantes de vida media más cortas son aquellos que tienen el radical libre de hidroxilo, hidroperoxilo y nitrato, debido a que estos tienen un electrón libre y con sustancias reactivas, de la misma manera, dentro de los contaminantes de vida media se encuentra el dióxido de azufre y óxido de nitrógeno, finalmente los contaminantes de vida larga generan problemas de alcance global y perduran por muchos años (Strauss, 1990).

2.2.1.6. Normas de calidad de aire

Para poder regular la concentración de los contaminantes en el aire existen normas nacionales e internacionales, dentro de ellas se encuentra los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire, tiene un referente obligatorio para el diseño y la aplicación de los instrumentos de la gestión ambiental (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2017), tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental

PARÁMETROS	PERIODO	VALOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200
	Anual	100
Material particulado ($\text{PM}_{2.5}$)	24 horas	50
	Anual	25
Material particulado (PM_{10})	24 horas	100
	Anual	50
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000

	8 horas	10000
Ozono (O ₃)	8 horas	100
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1.5
	Anual	0.5
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150

Fuente: (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2017)

2.2.2. Material particulado

García (2008) define al material particulado como una mezcla de partículas muy finas o demasiado pequeñas que están suspendidas en el aire, poseen la capacidad de penetrar por las vías respiratorias por lo que se consideran elementos peligrosos para la salud de las personas; la contaminación por material particulado se compone por elementos como sulfatos, nitratos, metales pesados, hidrocarburos poli aromáticos y carbono orgánico.

2.2.2.1. Clasificación de partículas

La clasificación de las partículas se realiza de acuerdo al tamaño que se encuentran en el aire:

2.2.2.1.1. Partículas suspendidas totales (PTS):

Se encuentran comprendidas todas las partículas suspendidas en el aire, no se tienen en consideración el tamaño de cada partícula (García, 2008).

2.2.2.1.2. Material Particulado PM10

Partículas respirables, también denominado PM10 se clasifican aquellas partículas que poseen un diámetro menor o igual a 10 µm (García, 2008).

El material particulado PM10 o también denominado partículas gruesas, son partículas inhalables menores a 10 µm y más grandes a 2.5 µm, se encuentra considerado como partículas contaminantes que están constituidos por material sólido y líquido; se asocia a la desintegración mecánica de la materia de las partículas del ambiente, de la misma manera se encuentra constituido por sulfato de

amonio, material geológico, material orgánico, nitrato de amonio, carbón elemental, elementos trazas y sales (Martínez, 2000).

Las partículas PM10 permanecen suspendidas de acuerdo a su tamaño el cual está definido por el diámetro aerodinámico y la distribución granulométrica de las partículas; algunos de los estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a contaminantes ambientales genera asma, deterioro de la función pulmonar, irritación ocular, dolor de cabeza, también se produce daños a la vegetación, reducción de la visibilidad lluvia acida y daños a los animales (Martínez, 2000).

2.2.2.1.3. Material Particulado PM2.5

Partículas finas: también denominado PM2.5 son partículas pequeñas que tienen un diámetro menor o igual $2.5 \mu\text{m}$ (García, 2008).

El material particulado PM2.5 es aquella fracción de material respirable pequeña, se encuentra constituido por partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a $2.5 \mu\text{m}$, y son 100 veces más delgadas que el cabello humano; se origina principalmente en fuentes de carácter antropogénico como la emisión de los vehículos Diésel, partículas de polvo por las intrusiones de viento (Martínez, 2000).

Las partículas PM2.5 causan diversos efectos en la salud de las personas tales como la bronquitis, y problemas de tipo cardiovascular, generalmente este tipo de partículas provienen del tráfico urbano el cual está asociado por el creciente desarrollo del asma y alergias en la población infantil (Martínez, 2000).

En el caso del material particulado PM2.5, al tener un tamaño fino hace que sea respirable por lo que tiene la capacidad de viajar por los pulmones hasta llegar a los alveolos pulmonares e incluso en algunos casos puede llegar al torrente sanguíneo, por ello estas partículas tienen efectos más severos en la salud que las PM10, también por su tamaño pueden estar suspendidas por más tiempo en el aire y ello facilita su transporte por el viento a grandes distancias (Martínez, 2000).

2.2.2.1.4. Partículas ultra fina

Son partículas que tienen la característica particular de poseer un diámetro menor o igual 0.1 μm (García, 2008)

2.2.2.2. Efectos a la exposición de material particulado

Las partículas ejercen una gran influencia en el entorno y modo de vida que parte desde la influencia del cambio climático hasta la degradación de la visibilidad del entorno, de la misma manera ejerce efectos severos en los ecosistemas y la más primordial en la salud humana (Tabla 2), también se generan efectos a niveles crípticos sobre diversos receptores como ecosistemas, plantas y otros individuos (García, 2008).

Tabla 2

Efectos en la salud humana por exposición a material particulado PM10 y PM2.5

CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EFECTO OBSERVADO	IMPACTO
200	Disminución de capacidad respiratoria.	Moderado
250	Aumento de enfermedades respiratorias en ancianos y niños.	Moderado
400	Afecta a toda la población.	Grave
500	Aumento de mortalidad en adulto mayor y enfermos.	Muy grave

Fuente: (García, 2008)

2.1. Hipótesis

2.1.1. Hipótesis General

La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021, no es buena.

2.1.2. Hipótesis Específicas

- La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM10 en Huancavelica – 2021, no es buena
- La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM2.5 en Huancavelica – 2021, no es buena
- El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, supera los estándares de calidad ambiental.
- El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM2.5 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, supera los estándares de calidad ambiental.

2.2. Definición de términos

a) Material particulado

Es una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico.

b) Calidad del aire

El índice de calidad del aire (ICA) es una cifra que proporcionan las autoridades de una zona (normalmente urbana) y que refleja las cantidades de contaminantes presentes en el aire

c) PM 2.5

Partículas inhalables finas que tienen diámetros de, por lo general, 2,5 micrómetros y menores

d) PM10

Partículas inhalables que tienen diámetros de, por lo general, 10 micrómetros y menores

2.3. Definición operativa de variables

La presente investigación es bivalente

Variable independiente: Material particulado

- Material particulado PM10
- Material particulado PM2.5

Variable dependiente: Calidad de aire

- Índice de calidad de aire global según el método AQI Air Quality Index para PM10

2.4. Operacionalización de la variable

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala
Variable Independiente Material particulado	Se denomina material particulado a una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado forma parte de la contaminación del aire. Su composición es muy variada y podemos encontrar, entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el	El material particulado será evaluado mediante el Hi-vol de flujo de alto volumen para PM10 y PM2.5.	Material particulado 2.5	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Razón
			Material particulado 10	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Razón

polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas además producen reacciones químicas en el aire (Instituto geoambiental, 2020)

Variable Dependiente	Calidad de aire	El índice de calidad del aire es una cifra que proporcionan las autoridades de una zona y que refleja las cantidades de contaminantes presentes en el aire (Ministerio del ambiente, 2019)	Para la medición de calidad de aire se aplicará el AQI que es la metodología para determinar el índice de la calidad de aire para material particulado en suspensión PM10 y PM2.5.	Índice de calidad de aire global según el método AQI Air Quality Index para PM2.5	$AQI = \left[\frac{(PM_{obs} - P_l)}{(I)} \right]$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Intervalo
				Índice de calidad de aire global según el método AQI Air Quality Index para PM10	$AQI = \left[\frac{(PM_{obs} - P_l)}{(I)} \right]$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Intervalo

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

Según Borja S (2012), la investigación aplicada consiste en buscar, conocer, conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática. Está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes del desarrollo de un conocimiento de valor universal.

Según Tamayo (2003), la investigación de tipo aplicada es una secuencia de pasos compuestos por muchos elementos diversos. La investigación aplicada en la ingeniería, generan nuevos modos de producción de conocimientos en base a teorías ya existentes con la finalidad de contrastar una hipótesis y resolver un problema.

El presente trabajo de investigación empleara el tipo de investigación aplicada porque se buscó evaluar la calidad del aire.

3.2. Nivel de investigación

De acuerdo a Hernández Sampieri (2014), la investigación explicativa pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian, centrándose en explicar el por qué ocurre un fenómeno y en qué circunstancias se ve con claridad o por qué se establece una relación en dos o más variables. Los estudios explicativos

determinan las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales; y no solamente se queda en descripción de fenómenos como los estudios descriptivos.

La investigación explicativa se interesa más en el por qué ocurre un fenómeno y en qué circunstancias ocurre; al formularse preguntas indaga por la razón de situaciones o acontecimientos (Salazar, 2013 pág. 22). Es por ello que para demostrar la hipótesis se empleara el nivel de investigación explicativa.

3.3. Método de Investigación

3.3.1. Método general

La obtención de nuevos conocimientos se realizara siguiendo procedimientos sistematizados y ordenados de manera puntual, la cual está avalada por el método científico, este método está formado por una serie de fases que el investigador debe seguir para la creación de nuevas ideas (Alesina, y otros, 2011, pág. 10).

Se utilizó el método científico, ya que se recopilaran datos cuidadosamente autenticados, se buscara alguna relación en común entre estos hechos, se deducirá por los métodos tanto de la lógica formal como de la matemática y se sacaran conclusiones que aún no se han dado, y se contrastaron con otras para verificar si estas conclusiones son correctas (Sanford, 1899).

El trabajo de investigación empleo el método el científico, ya que ayudara a generar nuevos conocimientos asimismo nos facilitara describir el ámbito de estudio aplicando métodos ordenados para la obtención de resultados más fiables para una buena determinación de la calidad del aire.

3.3.2. Método específico

En el presente proyecto de investigación se aplicó el método hipotético deductivo, porque se buscara contrastar las hipótesis mediante la estadística inferencial (Marroquin, 2002).

3.4. Diseño de investigación

Según Hernández (2004), los estudios del diseño no experimental se realizan sin la manipulación intencionada de variables, de tal modo que se observa los fenómenos tal y como se encuentra en el entorno para posteriormente ser analizados. En un estudio experimental se observan las situaciones reales, no provocadas deliberadamente en la investigación. De acuerdo al estudio se aplicó el diseño no experimental.



Donde:

M : Muestra – Universidad Nacional de Huancavelica

O_x : Observación del material particulado (variable que influye)

O_y : Observación de la calidad del aire (variable influida)

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según Salazar (2013), se conoce como universo o población al conjunto de sujetos que serán motivo de estudio; también la población es la cantidad completa de elementos sobre la cual se realiza una inferencia fundamentándose en la información relativa de la muestra.

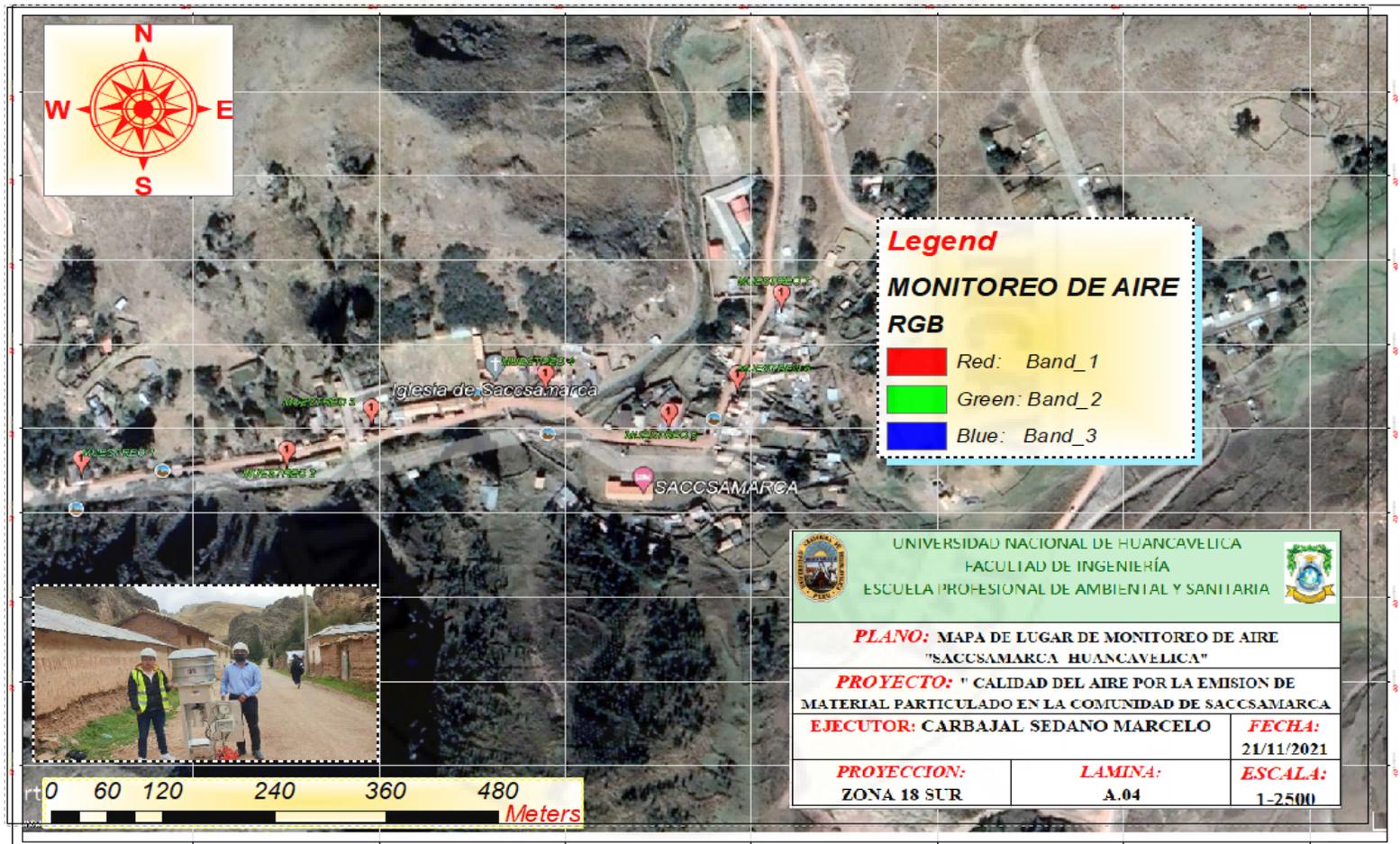
Se conceptualiza como el conjunto de elementos, cosas o seres que posee características semejantes, ya sean infinitas o finitas, por lo que puede estar determinado por familias u objetos, la cual se encuentra determinado por un espacio temporal. También es denominado al conjunto de elementos de estudio en los que el proyecto tendrá injerencia en un determinado lugar y periodo (Valderrama, 2002).

En este estudio la población fue conformada por el material particulado suspendido de PM_{2,5} y PM₁₀ de la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 1

Mapa temático de Sacsamarca



3.5.2. Muestra

Es un conjunto precisamente elegido, en la cual se somete a observación en representación del conjunto, con la finalidad de obtener resultados válidos para todo el universo (Salazar, 2013 pág. 25).

De igual manera Hernández R. (2014) nos dice que la población será igual a la muestra, en caso que la población sea menor a 50 elementos. Mientras que Ccanto (2010), señala que a poblaciones pequeñas se puede acceder sin restricciones y limitaciones, entonces se recomienda trabajar con toda la población.

En el presente proyecto de investigación, se empleó como muestra a la misma comunidad, en la cual se seleccionarán 7 puntos de monitoreo del material particulado suspendido de PM2.5 y PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica.

3.5.3. Muestreo

El muestreo no probabilístico no calcula el error estándar, tampoco el nivel de confianza con el que se hace la estimación. Este tipo de muestreo es muy fundamental en estudios cualitativos. En el muestreo la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino del criterio del investigador (Borja S, 2012 pág. 32).

El muestreo que se empleó en este proyecto de investigación será el no probabilístico debido a que se obtuvo de acuerdo a nuestra conveniencia 7 puntos de monitoreo del material particulado suspendido de PM2.5 y PM10, en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica.

3.5.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis es el elemento de interés que se analizara o estudiara en una investigación (Hernández, 2014). En la unidad de análisis se considerará la recolección de datos del material particulado de PM2.5 y PM10, en cada punto de monitoreo.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se utilizó en el desarrollo de la investigación, fue la observación, la cual se aplicó en cada una de las fases; mientras que el instrumento permitió recopilar la información a través de las fichas de trabajo de campo, tal como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 4

Cuadro de las técnicas e instrumento de recolección de datos

Fase	Sub-fase	Fuente	Técnica	Instrumento	Resultado
Variable 1: Material particulado					
Diseño del plan monitoreo	Propósito del monitoreo	Información bibliográfica	Documental /observación	Ficha de recolección de datos	Plan de monitoreo bien elaborado
	Periodo del monitoreo Ubicación de los puntos del monitoreo Descripción del entorno Equipos a utilizar Calibración	Protocolo de monitoreo de aire	- fichaje	- Ficha de recolección de datos	Obtención de datos de concentración de material particulado PM _{2.5} y PM ₁₀
Metodología del monitoreo	Ubicación del punto de monitoreo e instalación de Hi-vol Identificación de los niveles del material particulado Corrección de datos				
Variable 2: Calidad de aire					
Recolección de datos de la calidad del aire		FORMULA DEL AQI (índice de calidad de aire)	simulación	Formula de aqi	Obtención de datos de niveles de calidad del aire

Fuente: Elaboración propio

3.6.1. Técnicas

La técnica es una colección de elementos de instrumentos y medios que llevan a cabo el método y aplica a una sola ciencia; a diferencia del método que es

el conjunto de procedimientos y etapas en la investigación, que se aplica a más de una ciencia (Ferrer, 2010 pág. 1).

Al ser la técnica casi el último nivel del método científico, reúne los procedimientos. Las técnicas corresponden al último nivel del método científico y reúne los pasos a través del cual se analiza, se observa y se manipula la realidad (Ramírez , s/f pág. 42).

La técnica que se utilizó en la presente investigación fue la:

- **Observación**

La observación es un método de recolección de datos que se ajusta a un sistema, válido y confiable de situaciones observables y comportamientos, por medio de un conjunto de subcategorías y categorías (Hernández Sampieri, 2014).

La observación es una técnica por medio del cual el hombre explora su entorno para luego plantear de manera adecuada la problemática a estudiar, prosiguiendo con una formulación de la investigación, incorporando programas, herramientas, y técnicas a utilizar (Muñoz, 2015).

Se empleó la técnica de la observación para el análisis de los puntos de monitoreo del material particulado.

- **Documental**

Según Muñoz,(2015) la técnica del análisis documental emplea fuentes de información a través de recolección de datos escritos, guardada o recogida; recurriendo a tipos de documentos como: libros, periódicos, materiales grabados, imágenes, información estadística entre otras.

En el estudio de investigación se empleó la técnica del análisis documental, porque se realizó la recolección de datos sobre la calidad del aire y el conocimiento del material particulado en Sacsamarca, Huancavelica.

- **Fichaje**

Los investigadores utilizan el fichaje para almacenar y recolectar información a través del uso de una ficha, donde la ficha comprende una serie de datos, variable y extensión, referente a un mismo tema, de tal manera que confiere valor propio y unidad (Tenorio, 1998).

3.6.2. Instrumentos

En el estudio de investigación se empleó los siguientes instrumentos:

- **Ficha de recolección de información**

Las fichas son instrumentos donde se plasma información escrito relevante que se encuentra en las fases sucesivas de búsqueda de datos procesados que se necesitará en cualquier momento. Las fichas ayudan a organizar la información de manera fácil y concatenado del estudio, para luego encontrarlo fácilmente cuando se requiere (Castro de Reyes, 2015).

Conforme a Green Group Perú (2017), el muestreador Hi-Vol registra material particulado PM10 de alto volumen para mediciones ambientales, con aprobación de referencia método EPA. Control por flujo másico para muestreos a 1.13 m³/min, entrada para partículas PM10, cubierta en aluminio anodizado, porta filtro en acero inoxidable de 8”x10”.

En el presente trabajo de investigación se usó la ficha de datos para el registro del material particulado, donde se registró la presión atmosférica, la temperatura ambiental, concentración PM10, presión manométrica final y promedio, el flujo, Q_{real} (m³/min), Q_{std} (m³/min), el peso inicial y peso final del filtro.

Se elaboró una ficha de recolección de datos, se encuentra en el anexo 2.

- **Ficha de campo/ Hivol**

Conforme a Green Group Perú (2017), el muestreador Hi-Vol registra material particulado PM10 de alto volumen para mediciones ambientales, con

aprobación de referencia método EPA. Control por flujo másico para muestreos a 1.13 m³/min, entrada para partículas PM10, cubierta en aluminio anodizado, porta filtro en acero inoxidable de 8"x10".

3.7. Procedimiento

En el presente trabajo de investigación se aplicará los siguientes procedimientos:

- **Fase 1: Determinación del número de estaciones**

Según Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM (2019), la determinación del número de estaciones para una red de monitoreo, depende del número de habitantes donde se realiza el estudio. En el lugar de estudio Sacsamarca-Huancavelica, la población es mayor a ≥ 3500 habitantes, por lo tanto, se determinó 7 puntos de monitoreo.

Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad de aire, según el criterio poblacional, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5

Número mínimo de estaciones

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

Fuente: Directiva 2008/50/CE de la comunidad europea.

- **Fase 2: Determinación de los parámetros a monitorear**

En el presente trabajo de investigación se determinó los parámetros a monitorear según las fuentes vinculadas.

Parámetros a priorizar en función a las fuentes vinculadas, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 6

Determinación de los parámetros a monitorear

Fuentes vinculadas	Parámetros a priorizar	Referencias bibliográficas
Parque automotor, vías pavimentadas y zonas urbanas	PM ₁₀ , PM _{2.5} ,	<ul style="list-style-type: none"> EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 (I.A.3.b.i-iv Road transport 2018). <p>AP 42, chapter 13.2 1: Paved Roads .</p>

Fuente: Ministerio del ambiente

• **Fase 3: Instalación del Hi-vol**

Antes de la medición se identificará la cantidad y ubicación de puntos de monitoreo.

Para la instalación de la estación del monitoreo, se buscó lugares despejados que por lo menos 10 metros alrededor del equipo de monitoreo no se encontraron árboles, ni edificios, tampoco se instaló en la parte lateral de un edificio porque evita el paso del material particulado.

Se verificó la existencia de alguna fuente industrial, carreteras con alto tráfico vehicular o doméstica esto debido a que el material particulado podría irse por otro lado y no serían suficientemente captadas, por tal razón se instaló la estación a una distancia de 20 metros.

La medición mínima para ambos parámetros de PM_{2.5} y PM₁₀ es de 24 horas, con 5 muestras diarias contiguas o una muestra diaria cada 6 días durante un mes. Para la implementación de los filtros se tuvo que verificar la presencia de

imperfecciones. Se asignó un orden de identificación a los filtros y se estableció un registro de información del filtro.

Se equilibrará los filtros a las condiciones ambientales al menos durante 24 horas en el cuarto de pesaje. Una vez equilibrada el filtro se pesó y se registró el peso de pre-muestreo con el número de identificación del filtro. Se encendió el muestreador para establecer las condiciones de temperatura de arranque. Luego se tomó la lectura del indicador de flujo. Se determinó el flujo del muestreador (m^3/min local) dependiendo de las instrucciones del catálogo.

- **Fase 4: Calibración del Hi-vol**

El equipo muestreador de alto volumen está provisto de un dispositivo de control de flujo, cuya acción sobre el circuito eléctrico conectado al motor regula su velocidad y, por lo tanto, su capacidad de succión.

La calibración se basó en la colocación del dispositivo de control de flujo que absorbe el aire en el rango que se desea entre 1.1 a 1.7 m^3/min (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

El equipo debe ser calibrado en los siguientes acontecimientos:

- Una vez sea instalado.
- Después de cambio de motor.
- Después de cambio de escobillas.
- Cuando se cambia el sitio de muestreo.
- Periódicamente, por lo menos cada tres meses.
- Después de 360 horas de monitoreo.

Según la Agencia de Protección Ambiental (2017), la calibración del equipo depende del tipo: si es volumétrico o másico. Los procedimientos de calibración y los respectivos formatos se desarrollaron de acuerdo al documento de referencia Quality Assurance Handbook Vol II, Part II de la US EPA.

Los procedimientos de la calibración para los quipos se realizarán de la siguiente manera:

- Se registró el formato de calibración en el lugar de estudio; el formato registró, el lugar de calibración, el nombre del responsable y la identificación de los quipos.
- Se registró la temperatura ambiental promedio, cerca del equipo muestreador.
- Se registró la presión barométrica promedio del sitio de calibración.
- Se instaló un filtro limpio y se manejó el equipo por 5 minutos con el fin de estabilizar el equilibrio térmico antes de calibrar el equipo.
- Se registró el filtro y se apagó el equipo.
- Desconectamos el motor del controlador de flujo y otra vez conectamos a una fuente de energía
- Se colocó el kit de calibración
- Se encendió otra vez el equipo, verificando que no tenga alguna fuga en el sistema. Para evitar la fuga se tapó en su totalidad la entrada de aire al calibrador, luego se conectó el manómetro a la salida del motor.
- Con la ayuda del manómetro se comprobó que no había fugas en el equipo.
- Se apagó el equipo y se conectó el manómetro diferencial con un rango de 0 a 8 in de agua a la toma de presión del kit de calibración.
- Conecte el manómetro diferencial con rango de 0 – 18 in de agua a la derivación de presión que se encuentra en la parte inferior de la carcasa del motor.
- Se insertó el plato número 1, y se encendió el equipo, dejando operar entre 3 y 5 minutos con el fin de restablecer el equilibrio térmico.

- Se registró y verificó la caída de presión a través del orificio estándar de transferencia (ΔH) en in de agua, al igual que la deflexión en el manómetro del muestreador (ΔP) en in de agua.
- Para la diferencia de platos se tendrá que repetir los dos pasos anteriores.
- Se apagó el equipo y se retiró el kit de calibración, conectando otra vez el motor al controlador de flujo.
- Para el cálculo de la rata de flujo en condiciones reales por medio del calibrador en cada punto se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_a(\text{orificio}) = [[\Delta H(T_a/P_a)]^{0.5} - b]/m \quad (1)$$

Donde:

$Q_a(\text{orificio})$ = Caudal real a través del calibrador (m³ /min).

ΔH = Caída de presión a través del calibrador (mm o in de agua), si está expresada en mm se convierte ca in dividiendo por 2.54. P_a = Presión barométrica (mm Hg).

T_a = Temperatura ambiente

$(k) \times m$ =Pendiente de la relación de calibración del orificio.

b = Intercepto de la relación de calibración del orificio. (m y b son a condiciones reales para el caso de PM₁₀, para PST son a condiciones estándar).

- **Fase 5: Análisis de Laboratorio por Gravimetría**

En el Manual Activo el tiempo de medición es de un mes, esto debido a que no tiene una bomba que aspira automáticamente la cantidad o el caudal de aire necesario para que pueda reaccionar este reactor; el manual activo cuenta con una bomba gravimétrica que aspira el aire o gases para luego ser almacenados en un muestreador, después es llevado al laboratorio para verificar el peso inicial y el peso final del material particulado (Ministerio del ambiente, 2019).

Las actividades que se realizaran en el laboratorio, ya que nos facilitara la obtención de concentraciones de contaminantes monitoreados.

Las técnicas de laboratorio se empezaron con el manejo de filtros y la inspección visual del filtro, verificando defectos como agujeros pequeños, material sobrepuesto, decoloración, filtro no uniforme o cualquier imperfección.

Antes de ser pesados los filtros, se sometieron a un proceso de acondicionamiento por lo menos por 24 horas, esto se realizará en una cámara de equilibrio con un ambiente regulado.

- El valor medio constante de la humedad relativa debe encontrarse entre 20 y 45%, con variabilidad de $5\% \pm$, se trabajó con una humedad de 30%; la temperatura debe tener un promedio entre 15 y 30 °C, con una variabilidad de no más de ± 3 °C, se trabajó con 20 de Temperatura.
- La temperatura y humedad relativa debe ser registrada y verificada para asegurar la conformidad de los valores; se registraron en el formato del laboratorio observaciones del mal funcionamiento.
- Se utilizó la balanza analítica para pesar los filtros con una resolución mínima de 0.1 mg y con una precisión de 0.5 mg.
- El siguiente paso fue la determinación de la masa inicial de los filtros:
- Se verifico el formato de registro de laboratorio donde especifica si se encuentra calibrada y mantenida de acuerdo al fabricante; en caso no se encuentre calibrada se puede indicar en la bitácora, para que los responsables del laboratorio realicen la operación de acuerdo al fabricante.
- Se realizó el chequeo de control de calidad usando las masas estándar en la balanza analítica.
- Los filtros se pesaron fuera del compartimiento acondicionado, evitando alteraciones ambientales y para luego ser pesado no más que 30 segundos. Se

pesó el filtro siguiendo las indicaciones, verificando que las lecturas sean estables.

- Se aseguró que la lectura esté en 0, para luego cargar y descargar con cuidado los filtros de la balanza; se evitó chocar las esquinas del filtro en la balanza analítica porque el filtro podría dañarse.
- Luego se colocó el filtro pre-pesado, en una bolsa hermética permitiendo ver el rotulado del filtro.
- Se chequeo el control de calidad de los pesos.

Se realizó el control de calidad del laboratorio conteniendo los siguientes procesos:

- Se verifico el peso estándar
- Se verifico de cero y calibración
- Se verifico los pesos del filtro y el total
- Se registró control de calidad

La recepción de las muestras provenientes de campo tendrá los siguientes procedimientos:

- Se revisó el formato de campo.
- Se examinó si el etiquetado del filtro tenía la misma información en el formato de registro de los datos de laboratorio.
- Se removió el filtro de la bolsa hermética y examinamos el interior de la bolsa hermética.
- Se colocó los filtros sin imperfección en nuevas bolsas herméticas y se enviará al laboratorio para el respectivo proceso de análisis y pesaje.

Los procedimientos a seguir para el pesaje final de los filtros que superaron el control de calidad serán los siguientes:

- Se efectuó los pasos de acontecimiento del filtro.
 - Se repetido el mismo proceso de pesaje inicial del filtro.
 - Se registró el peso total en el formato de datos de laboratorio,
 - Se realizaron el control de calidad interno del laboratorio.
 - Se colocó el filtro dentro de una bolsa hermética y se guardó.
- **Fase 6: Determinación de PM10 y PM2.5**

Para la determinación de datos del PM10 y PM2.5 se realizará los siguientes pasos:

 - Se realizó un mapa de puntos de monitoreo
 - Se coordinó con 7 viviendas para la instalación del Hi-Vol
 - Se instaló y programo el Hi-Vol para la aspiración de material particulado en un periodo de 24 horas.
 - Se colocó el filtro en la porta filtro y aseguro todas las llaves del Hi-Vol.
 - Se midió el flujo real con el que trabaja el Hi-Vol, con el disco y con la regleta teniendo en consideración la presión atmosférica de la ciudad de Huancavelica.
 - Después de las 24 horas de recopilación de material particulado se pasó a registrar el flujo real para luego apagar el equipo.
 - La muestra del filtro se llevó al laboratorio para ser pesado.
 - Se determinó el PM10 y PM2.5 mediante el pesado inicial, pesado final y el flujo con el que se trabajó.
 - **Fase 7: Determinación de la calidad del aire para PM10, PM2.5 e ICA global**

Para la determinación de la calidad de aire para material particulado PM10, PM2.5 e ICA global se efectuó mediante una fórmula de ICA-AQI el cual se detalla a continuación.

ICA para PM_{2.5} y PM₁₀

Se determinó el estado de la calidad del aire a partir del registro del material particulado de PM_{2.5} y PM₁₀ µg/m³ proveniente de la estación del monitoreo de la calidad del aire, con la siguiente ecuación:

$$AQI = \left[\frac{(PM_{obs} - PM_{min}) \times (AQI_{max} - AQI_{min})}{(PM_{max} - PM_{min})} \right] + AQI_{min} \quad (2)$$

Donde:

PM_{obs} = Concentración promedio observada en 24 horas (en µg/m³)

PM_{max} = Concentración máxima en la categoría AQI que contiene la lectura PM_{obs}

PM_{min} = Concentración mínima en la categoría AQI que contiene la lectura PM_{obs}

AQI_{max} = Valor AQI máximo para la categoría AQI que contiene la lectura PM_{obs}

AQI_{min} = Valor AQI mínimo para la categoría AQI que contiene la lectura PM_{obs}

Al obtener la concentración del contaminante del material particulado de PM_{2.5} y PM₁₀ en el monitoreo, se identificará los datos de la ecuación en la siguiente tabla de puntos de cortes por contaminante para el cálculo del ICA para después obtener la calidad del aire, el color y la categoría (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018).

Tabla 7

Puntos de corte de Índice de Calidad del Aire-ICA

Índice de la calidad del aire			Puntos de Corte del ICA						
ICA	COLOR	CATEGORÍA	PM10 ug/m ³ 24 horas	PM2.5 ug/m ³ 24 horas	CO ug/m ³ 8 horas	SO ₂ ug/m ³ 1 horas	NO ₂ ug/m ³ 1 horas	O ₃ ug/m ³ 1 horas	O ₃ ⁽¹⁾ ug/m ³ 1 horas
0-50	Verde	Buena	0-54	0-12	0-5094	0-93	0-100	0-106	-
50-100	Amarillo	Aceptable	55-154	13-37	5095-10819	94-197	101-189	107-138	-

101-150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	155-254	38-55	10820-14254	198-486	190-677	139-167	245-323
151-200	Rojo	Dañina a la salud	255-354	56-150	14255-17688	487-797	678-1221	168-297	324-401
201-300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355-424	151-250	17689-34862	798-1583	1222-2349	208-393	402-794
301-500	Marrón	Peligrosa	425-604	251-500	34863-57703	1584-2629	2350-3853	394 ⁽²⁾	795-1185

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018

AQI global logarítmica

Se utilizará la fórmula concentración promedio con anterioridad para cada contaminante siendo la siguiente:

$$I = (\sum_i^n (AQI_i)^\rho)^{\frac{1}{\rho}} \quad (3)$$

$\sum_i^n (AQI_i)$ = Sumatoria de los parámetros

ρ = Densidad poblacional

I = Índice de Calidad

Con el resultado obtenido se identificará los valores del AQI, la categoría descriptiva del AQI y el color del AQI, como se detalla en las 3 tablas siguientes.

La escala de colores es clave para la comunicación.

- Escala numérica de 0 a 500.
- Indicador de la calidad del aire y sus efectos sobre la salud.
- 101 representa el nivel que infringe la norma sanitaria federal (con la excepción del PM_{2.5}).

Tabla 8*Valores de la Calidad del aire*

Valores AQI	Categoría Descriptiva del AQI	Color AQI
0-50	Buena	Verde
51-100	Moderada	Amarillo
101-150	Insalubre para personas sensibles	Anaranjado
151-200	Insalubre	Rojo
201-300	Muy Insalubre	Morado
301-500	Peligrosa	Marrón

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018

Tabla 9*Umbrales del AQI para el PM2.5*

Categoría Descriptiva	Número AQI	Promedio para 24 horas (ug/m ³)
Buena	0-50	0-15.4
Moderada	51-100	15.5-40.4
Insalubre para Personas Sensibles	101-150	40.5-65.4
Insalubre	151-200	65.5-150.4
Muy Insalubre	201-300	150.5-250.4
Peligrosa	301-500	250.5-500.4

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018

Tabla 10*Umbral del AQI para el PM10*

Categoría Descriptiva	Número AQI	Promedio para 24 horas (ug/m³)
Buena	0-50	0-54
Moderada	51-100	55-154
Insalubre para Personas Sensibles	101-150	155-254
Insalubre	151-200	255-354
Muy Insalubre	201-300	355-424
Peligrosa	301-500	425-604

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se llevará a cabo mediante el Software SPSS ver 23, asimismo mediante este software se realizará el análisis inferencial para aceptar o rechazar la hipótesis planteada por los investigadores de este estudio.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

1.4.1. Aspectos generales del monitoreo de material particulado

Tabla 11

Datos generales del monitoreo de material particulado para material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}

Etiqueta	Valores obtenidos en campo
Temperatura ambiental promedio	13 °C
Presión Atmosférica	767mmHg
Diferencia de presión manométrica	10.4
Caudal real	1.13 m ³ /min
Tiempo de monitoreo	24 horas

En la presente tabla se muestran los datos que se tuvieron en consideración en el monitoreo de material particulado en la comunidad de Sacsamarca, en donde para la determinación del flujo se tuvo en consideración la temperatura ambiental promedio, la presión atmosférica del lugar dicha presión fue tomada como referencia de la ciudad de Huancavelica y el tiempo de monitoreo fue de 24 horas como lo estipula el protocolo de monitoreo de aire.

Tabla 12

Peso inicial y final del filtro de cuarzo durante los monitoreos de material particulado PM₁₀

	N°	PESO INICIAL	PESO FINAL
1er monitoreo	1	3.50g	3.72g
2do monitoreo	2	3.50g	3.78g
3er monitoreo	3	3.50g	3.58g
4to monitoreo	4	3.51g	3.75g
5to monitoreo	5	3.52g	3.65g
6to monitoreo	6	3.50g	3.55g
7mo monitoreo	7	3.52g	3.76g

En la presente tabla se muestra el peso inicial de los filtros de cuarzo antes del monitoreo que oscila entre 3.50 a 3.52 gramos y el peso final después del monitoreo, que oscila entre 3.55 a 3.78 gramos y con la diferencia de estas se pasa a determinar la concentración del material particulado PM₁₀.

Tabla 13

Peso inicial y final del filtro de cuarzo durante los monitoreos de material particulado PM_{2.5}

	N°	PESO INICIAL	PESO FINAL
1er monitoreo		3.50g	3.59g
2do monitoreo		3.50g	3.66g
3er monitoreo		3.51g	3.56g
4to monitoreo		3.50g	3.62g
5to monitoreo		3.52g	3.58g
6to monitoreo		3.51g	3.53g
7mo monitoreo		3.51g	3.63g

En la presente tabla se muestra el peso inicial de los filtros de cuarzo antes del monitoreo que oscila entre 3.50 a 3.52 gramos y el peso final después del monitoreo, que oscila entre 3.53 a 3.66 gramos y con la diferencia de estas se pasa a determinar la concentración del material particulado PM_{2.5}.

1.4.2. Resultados de la evaluación de la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido en Huancavelica – 2021

Tabla 14

Calidad de aire por material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}

Punto de monitoreo	AQI PM10	(AQI PM10)p	AQI PM2,5	(AQI PM2,5)P	SUMA DE AQI	AQI GLOBAL	Escala AQI global	Implicaciones para la salud
Pm1	87	70598	143	244534	315133	158,3	150 - 200	Insalubre
Pm2	104	110301	170	376809	487111	188,4	150 - 200	Insalubre
Pm3	43	12124	87	70598	82723	92,7	150 - 200	Moderado
Pm4	93	83407	158	313792	397200	173,6	150 - 200	Insalubre
Pm5	61	29061	99	97518	126580	109,9	150 - 200	Insalubre para grupo sensible
Pm6	27	3787	49	16807	20594	53,2	150 - 200	Moderado
Pm7	93	83407	158	313792	397200	173,6	150 - 200	Insalubre

En el presente apartado se muestra que cuatro puntos de monitoreo son insalubres para la salud de las personas con AQI global de 158.3, 173,6, 173.6 y 188.4, lo que indica que las personas que presenten problemas respiratorios no pueden estar expuestos por mucho periodo de tiempo ya que les generaría problemas, dos puntos de monitoreo tienen la calidad de aire moderados y un punto de monitoreo su calidad de aire es insalubre para grupos sensibles por lo que se puede indicar que la calidad de aire por material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca tiende a ser moderado hasta insalubre.

1.4.3. Resultados de la evaluación de la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de PM₁₀ en Huancavelica – 2021

Tabla 15

Resultados del AQI de material particulado PM₁₀

N°	N°	PESO INICIAL	PESO FINAL	PM10 (µg/m3)	AQI PM10
1er monitoreo	1	3.50g	3.72g	128,6	87
2do monitoreo	2	3.50g	3.78g	163,7	104
3er monitoreo	3	3.50g	3.58g	46,8	43

4to monitoreo	4	3.51g	3.75g	140,3	93
5to monitoreo	5	3.52g	3.65g	76	61
6to monitoreo	6	3.50g	3.55g	29,2	27
7mo monitoreo	7	3.52g	3.76g	140,3	93

En este apartado se muestra la concentración del material particulado en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) que oscilan entre 29.2 a 163.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales fueron determinados a partir de la presión atmosférica de 767mmHg, con una temperatura promedio de 13 °C, diferencia de presión manométrica de 10.4, caudal real de 1.13 m^3/min con una duración de 24 horas de monitoreo. De la misma forma se determinó mediante la fórmula del AQI el índice de calidad de aire para el material particulado PM_{10} obteniendo como resultado entre 43 y 104.

Tabla 16

Índice de calidad de aire por material particulado PM_{10}

N°	PESO INICIAL	PESO FINAL	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AQI PM10	Categoría	Color
1er monitoreo	3.50g	3.72g	128,6	87	Moderado	
2do monitoreo	3.50g	3.78g	163,7	104	Dañina	
3er monitoreo	3.50g	3.58g	46,8	43	Buena	
4to monitoreo	3.51g	3.75g	140,3	93	Moderado	
5to monitoreo	3.52g	3.65g	76	61	Moderado	
6to monitoreo	3.50g	3.55g	29,2	27	Buena	
7mo monitoreo	3.52g	3.76g	140,3	93	Moderado	

En este apartado se observa el índice de calidad de aire para el material particulado PM_{10} en donde en el segundo monitoreo la calidad de aire es dañina para la salud de las personas y el primer, cuarto, quinto y séptimo monitoreo se obtuvo que la calidad de aire fue moderada para la salud de las personas y tan solo en el tercer y sexto monitoreo se obtuvo una buena calidad de aire por material particulado PM_{10} .

1.4.4. Resultados de la evaluación de la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de $\text{PM}_{2.5}$ en Huancavelica – 2021

Tabla 17

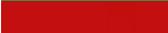
Concentracion de material particulado PM_{2.5}

N°	PESO INICIAL	PESO FINAL	PM _{2,5} (µg/m ³)
1er monitoreo	3.50g	3.59g	52,6
2do monitoreo	3.50g	3.66g	93,5
3er monitoreo	3.51g	3.56g	29,2
4to monitoreo	3.50g	3.62g	70,1
5to monitoreo	3.52g	3.58g	35,1
6to monitoreo	3.51g	3.53g	11,7
7mo monitoreo	3.51g	3.63g	70,1

En este apartado se muestra la concentración del material particulado en (µg/m³) que oscilan entre 11.7 a 93.5 µg/m³ los cuales fueron determinados a partir de la presión atmosférica de 767mmHg, con una temperatura promedio de 13 °C, diferencia de presión manométrica de 10.4, caudal real de 1.13 m³/min con una duración de 24 horas de monitoreo. De la misma forma se determinó mediante la fórmula del AQI el índice de calidad de aire para el material particulado PM_{2.5} obteniendo como resultado entre 49 y 170.

Tabla 18

Índice de calidad de aire por material particulado PM_{2.5}

N°	PESO INICIAL	PESO FINAL	PM _{2,5} (µg/m ³)	AQI PM _{2,5}	Categoría	Color
1er monitoreo	3.50g	3.59g	52,6	143	Poco dañina	
2do monitoreo	3.50g	3.66g	93,5	170	Dañina	
3er monitoreo	3.51g	3.56g	29,2	87	Moderado	
4to monitoreo	3.50g	3.62g	70,1	158	Dañina	
5to monitoreo	3.52g	3.58g	35,1	99	Moderado	
6to monitoreo	3.51g	3.53g	11,7	49	Buena	
7mo monitoreo	3.51g	3.63g	70,1	158	Dañina	

En este apartado se observa el índice de calidad de aire para el material particulado PM_{2.5} en donde tan solo en el sexto monitoreo se obtuvo una buena calidad de aire, mientras que en las demás fechas de monitoreo se obtuvieron entre moderadas hasta dañinas para la salud de las personas que habitan en ese lugar.

1.4.5. Resultados de la determinación del índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.

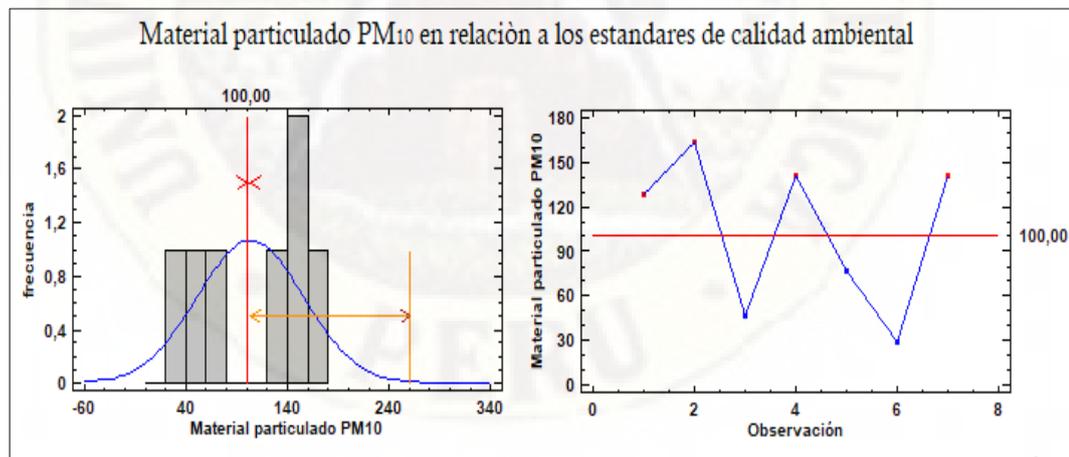
Tabla 19

Concentración de material particulado PM₁₀ en relación a los estándares de calidad ambiental

N°	N°	PESO INICIAL	PESO FINAL	PM10 (µg/m3)	ECA
1er monitoreo	1	3.50g	3.72g	128,6	100
2do monitoreo	2	3.50g	3.78g	163,7	
3er monitoreo	3	3.50g	3.58g	46,8	
4to monitoreo	4	3.51g	3.75g	140,3	
5to monitoreo	5	3.52g	3.65g	76	
6to monitoreo	6	3.50g	3.55g	29,2	
7mo monitoreo	7	3.52g	3.76g	140,3	

Figura 2

Diagrama de capacidades para relacionar el material particulado PM₁₀ en relación a los estándares de calidad ambiental



Como se muestra en el presente apartado existen 4 puntos de monitoreo que superan los estándares de calidad ambiental. Mientras que hubo presencia de 3 puntos de monitoreo en donde no superaron dichos estándares de calidad, esto debido a que en los puntos donde superan están más cercanas a la vía de acceso o carretera por

donde transitan los vehículos y mientras que los tres puntos de monitoreo que no superan los ECAs se encuentran distantes a la vía de acceso.

1.4.6. Resultados de la determinación del índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM2.5 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.

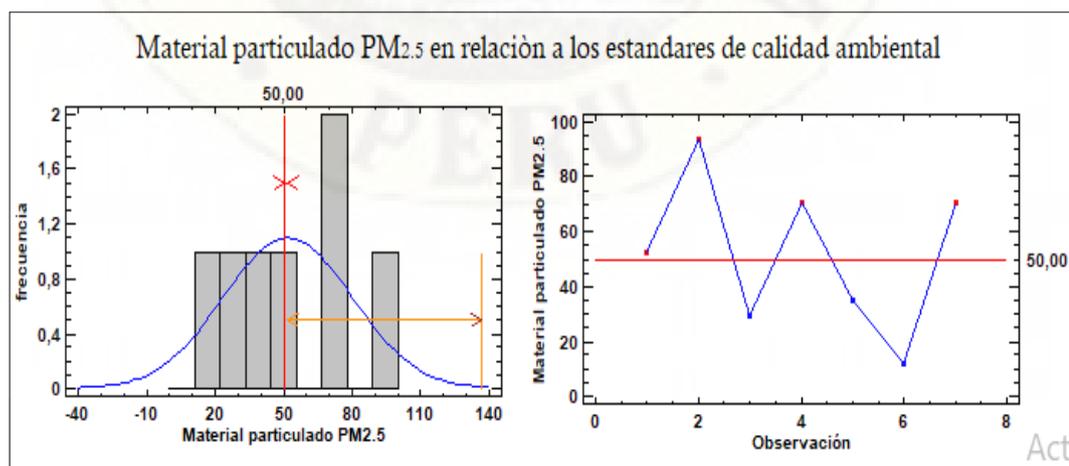
Tabla 20

Concentración de material particulado PM_{2.5} en relación a los estándares de calidad ambiental

N°	PESO INICIAL	PESO FINAL	PM _{2,5} (µg/m ³)	ECA
1er monitoreo	3.50g	3.59g	52,6	50
2do monitoreo	3.50g	3.66g	93,5	
3er monitoreo	3.51g	3.56g	29,2	
4to monitoreo	3.50g	3.62g	70,1	
5to monitoreo	3.52g	3.58g	35,1	
6to monitoreo	3.51g	3.53g	11,7	
7mo monitoreo	3.51g	3.63g	70,1	

Figura 3

Diagrama de capacidades para relacionar el material particulado PM_{2.5} en relación a los estándares de calidad ambiental



Como se muestra en el presente apartado existen 4 puntos de monitoreo que superan los estándares de calidad ambiental. Mientras que hubo presencia de 3 puntos de monitoreo en donde no superaron dichos estándares de calidad, esto debido a que en los puntos donde superan están más cercanas a la vía de acceso o carretera por donde transitan los vehículos y mientras que los tres puntos de monitoreo que no superan los ECAs se encuentran distantes a la vía de acceso.

4.2. Prueba de hipótesis

Hipótesis para el objetivo general

a) Formulación de la hipótesis nula y alterna según al problema.

H0: La calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021, es buena

$$\mu \leq 50$$

Ha: La calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021, no es buena

$$\mu > 50$$

b) Escoger el riesgo o nivel de significancia

El presente proyecto de investigación se analizara a un nivel de confianza del 95% con un riesgo u error del 5% por lo que; $\alpha = 0.05$ y $NC = 1 - \alpha$ (0.95), entonces el proyecto de investigación debe de ser menor al nivel de confianza para ser aceptado.

c) Prueba de normalidad

Tabla 21

Prueba de normalidad para el índice de calidad de aire global para material particulado

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Índice calidad de aire global para material particulado	,896	7	,095

En el presente apartado se observa que; los datos obtenidos del índice de calidad de aire global para PM₁₀ y PM_{2.5} en donde se observa que los datos si cumplen con el supuesto de normalidad ya que el P valor fue de 0.095 mayor al nivel de significancia de 0.05. los datos si provienen de una distribución normal.

d) Prueba T de Student para una muestra

Tabla 22

Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ	Valor T	P valor
7	135,7	50,8	19,2	98,3	4.46	0.002

En el presente apartado se observa un P valor de 0.002 menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

e) Decisión estadística

Se concluye que el p valor fue menor al nivel de significancia de 0.05 por lo que se acepta la hipótesis alterna el que menciona que; la calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021, no es buena.

Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 1

a) Formulación de la hipótesis nula y alterna según al problema.

H0: La calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM₁₀ en Huancavelica – 2021, es buena

$$\mu \leq 50$$

Ha: La calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM₁₀ en Huancavelica – 2021, no es buena

$$\mu > 50$$

b) Escoger el riesgo o nivel de significancia

El presente proyecto de investigación se analizó a un grado de confianza de 95% con un riesgo u error del 5% por lo que; $\alpha = 0.05$ y $NC = 1 - \alpha$ (0.95), entonces el proyecto de investigación debe de ser menor al nivel de confianza para ser aceptado.

c) Prueba de normalidad

Tabla 20.

Prueba de normalidad para el índice de calidad de aire global para material particulado PM₁₀

	Shapiro-Wilk				
	Estadístico	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índice calidad de aire global para PM ₁₀	,114	,200*	,982	7	,098

En el presente apartado se observa que; los datos obtenidos del índice de calidad de aire para PM₁₀ en donde se observa que los datos si cumplen con el supuesto de normalidad ya que el P valor fue de 0.098 mayor al nivel de significancia de 0.05. los datos si provienen de una distribución normal.

d) Prueba T de Student para una muestra

Tabla 23

Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global para PM₁₀

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ	Valor T	P valor
7	72,6	29,2	11,0	51,1	2.05	0.043

En la presente tabla se muestra que; un p valor inferior al grado de significancia de 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

e) Decisión estadística

Concluye que el P valor fue menor al nivel de significancia por lo que se acepta la hipótesis alterna el que menciona que; La calidad del aire en la Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM₁₀ en Huancavelica – 2021, es buena

Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 2

f) Formulación de la hipótesis nula y alterna según al problema.

H0: La calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de PM_{2.5} en Huancavelica – 2021, no es buena

$$\mu \leq 50$$

Ha: La calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de PM_{2.5} en Huancavelica – 2021, no es buena

$$\mu > 50$$

g) Escoger el riesgo o nivel de significancia

El presente proyecto de investigación se analizará a un grado de confianza del 95% con un riesgo u error del 5% por lo que; $\alpha = 0.05$ y $NC = 1 - \alpha (0.095)$, entonces el proyecto de investigación debe de ser menor al nivel de confianza para ser aceptado.

h) Prueba de normalidad

Tabla 22.

Prueba de normalidad para el índice de calidad de aire global para material particulado PM_{2.5}

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Indice de calidad de aire global para material particulado PM _{2.5}	,748	7	,120

En el presente apartado se observa que; los datos obtenidos del índice de calidad de aire para PM_{2.5} en donde se observa que los datos si cumplen con el supuesto de normalidad ya que el P valor fue de 0.120 mayor al nivel de significancia de 0.05. los datos si provienen de una distribución normal.

i) Prueba no paramétrica de Signos para una muestra

Tabla 24

Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ	Valor T	P valor
7	123,4	45,5	17,2	90,0	4.27	0.003

En el presente apartado se muestra un p valor menor al nivel de significancia de 0.05 por lo que se niega la hipótesis nula y se puede admite la hipótesis alterna.

j) Decisión estadística

Concluye que el P valor fue menor al nivel de significancia por lo que se acepta la hipótesis alterna el que menciona que; La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM_{2.5} en Huancavelica – 2021, no es buena

Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 3

a) Formulación de la hipótesis nula y alterna según al problema.

H0: El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, no supera los estándares de calidad ambiental.

$$\mu \leq 100$$

Ha: El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, supera los estándares de calidad ambiental.

$$\mu > 100$$

b) Escoger el riesgo o nivel de significancia

El presente proyecto de investigación se analizará a un grado de confianza del 95% con un riesgo u error del 5% por lo que; $\alpha = 0.05$ y $NC = 1 - \alpha (0.095)$, entonces el proyecto de investigación debe de ser menor al nivel de confianza para ser aceptado.

c) Prueba de normalidad

Tabla 24

Prueba de normalidad para para la concentración de material particulado PM10

	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Estadístico	gl	Sig.
Concentracion de material particulado PM10	,108	,984	7	,120

En la presente tabla se muestra que los datos recolectados con respecto a la concentración de material suspendido PM10 tiene una distribución normal debido a que el P valor de 0.120 es mayor al nivel de significancia de 0.05.

d) Prueba T de Student para una muestra

Tabla 25

Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ	Valor T	P valor
7	103,6	52,4	19,8	65,1	0.18	0.0432

En el presente apartado se observa que; un p valor inferior menor al nivel de significancia de 0.05 por lo que se niega la hipótesis nula y se admite la hipótesis alterna.

e) Decisión estadística

Concluye que el p valor fue menor al nivel de significancia de 0.05 por lo que se admite la hipótesis alterna el que indica que; El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, supera la normativa de calidad ambiental.

Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 4

a) Formulación de la hipótesis nula y alterna según al problema.

H0: El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire de PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, no supera los estándares de calidad ambiental.

$$\mu \leq 50$$

Ha: El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, supera los estándares de calidad ambiental.

$$\mu > 50$$

b) Escoger el riesgo o nivel de significancia

El presente proyecto de investigación se analizara a un grado de confianza del 95% con un riesgo u error del 5% por lo que; $\alpha = 0.05$ y $NC = 1 - \alpha$ (0.095), entonces el proyecto de investigación debe de ser menor al nivel de confianza para ser aceptado.

c) Prueba de normalidad

Tabla 26

Prueba de normalidad para para la concentración de material particulado PM₁₀

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de material particulado PM2.5	,868	7	,155

En el presente apartado se muestra que los datos obtenidos de la concentración de material suspendido PM_{2.5} en donde se observa que los datos tienen una distribución normal ya que el P valor es de 0.155 mayor al nivel de significancia de 0.05.

d) Prueba T de Student para una muestra

Tabla 26

Prueba estadística de T de Student para una sola muestra para el AQI global

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ	Valor T	P valor
7	51,8	28,3	10,7	31,0	0.16	0.0437

En el presente apartado se observa que; un p valor inferior menor al nivel de significancia de 0.05 por lo que se niega la hipótesis nula y se admite la hipótesis alterna.

e) Decisión estadística

Concluye que el p valor fue menor al nivel de significancia de 0.05 por lo que se admite la hipótesis alterna el que menciona que; El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, supera los estándares de calidad ambiental.

4.3. Discusión de resultados

En la presente investigación titulada “Calidad del aire por la emisión de material particulado en la comunidad de sacsamarca, Huancavelica – 2021” se obtuvo el AQI global de 158.3, 173,6, 173.6 y 188.4, lo que indica que las personas que tienen problemas respiratorios no pueden estar expuestos por mucho periodo

de tiempo ya que les generaría problemas, dos puntos de monitoreo tienen la calidad de aire moderados y un punto de monitoreo su calidad de aire es insalubre para grupos sensibles por lo que se puede indicar que la calidad de aire por material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la comunidad de Sacsamarca tiende a ser moderado hasta insalubre, lo cual concuerda con Alvarado (2019), donde se obtuvieron en la piladora Rey León, índices de calidad muy poco saludable, puesto que existe la posibilidad que la población que habita en este lugar se ve afectada, mientras que en la piladora Santa Clara se obtuvo índices de calidad del aire buenas, ya que la calidad era satisfactoria. Asimismo Reyes y Bernal (2019) determinó que el parque automotor fue el causante de la contaminación del aire, ya se determinó de la calidad del aire se encontraba en un rango moderado, ya que los valores se encontraban en un rango de 50 a 100 y se consideraba que la calidad era aceptable. Lo que contrasta con Ahuanari y Mozombite (2019) donde determinó que la calidad del aire global es Buena, ya que pertenece a un rango moderado en la ciudad de San Antonio del estrecho por edificación del Centro de Salud.

Se evaluó que la calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM_{10} en Huancavelica – 2021, donde se obtuvo la concentración del material particulado en ($\mu g/m^3$) que oscilan entre 29.2 a 163.7 $\mu g/m^3$ los cuales fueron determinados a partir de la presión atmosférica de 767mmHg, con una temperatura promedio de 13 °C, diferencia de presión manométrica de 10.4, caudal real de 1.13 m^3/min con una duración de 24 horas de monitoreo; lo cual concuerda con Alvarado (2019), donde se obtuvieron índices de calidad insalubre en la piladora Rey León, mientras que en la piladora Santa Clara se obtuvo índices de calidad buenos. Además Tarazona (2018) al determinar la calidad del aire en la vereda Mochuelo- Alto Bogotá, determinó que la calidad del aire en correlación al material particulado se encontraba dentro de la categoría moderada conforme a lo establecido por IDEAM. Lo que contrasta con Ahuanari y Mozombite (2019) al determinar el nivel de alteración a consecuencia de la emanación de gases y ruido en la ciudad de San Antonio del estrecho por edificación del Centro de Salud, donde determinó que el grado de contaminación por la emisión de material particulado de PM_{10} se encuentra dentro del rango de

Moderado, ya que los datos indican que la calidad del aire se encuentra en un rango de 50 a 100, y por ende la calidad es aceptable.

Se evaluó que la calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM_{2.5} en Huancavelica – 2021, donde se obtuvo la concentración del material particulado en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) que oscilan entre 11.7 a 93.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales fueron determinados a partir de la presión atmosférica de 767mmHg, con una temperatura promedio de 13 °C, diferencia de presión manométrica de 10.4, caudal real de 1.13 m³/min con una duración de 24 horas de monitoreo. De la misma forma se determinó mediante la fórmula del AQI el índice de calidad de aire para el material particulado PM_{2.5} obteniendo como resultado entre 49 y 170, lo cual concuerda con Tarazona (2018) donde determino que la calidad del aire por la emanación de material particulado de PM 2.5 en Bogotá, se encontraba dentro de la categoría moderada conforme a lo establecido por IDEAM, lo cual indica que la calidad del aire es aceptable; ya que los contaminantes pueden generar problema a la salubridad de grado moderado para aquella población vulnerable. Asimismo, Prieto (2016) al realizar la cuantificación de material particulado, plomo y arsénico para la estimación de la calidad de aire en el distrito de Islay – Matarani, obtuvo que la calidad del aire se encontraba dentro del rango no es saludable para grupo que son sensibles, ya que los valores fluctuaban entre 100 a 150, lo cual significaba que las personas vulnerables son capaces de ejercer daños a la salud, donde el público restante no se ve afectado.

Se evaluó que el índice de concentración del material particulado PM₁₀, supera los estándares de calidad ambiental del aire para material particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, donde se identificaron 4 puntos de monitoreo que superan los estándares de calidad ambiental. Mientras que hubo presencia de 3 puntos de monitoreo en donde no superaron dichos estándares de calidad, esto debido a que en los puntos donde superan están más cercanas a la vía de acceso o carretera por donde transitan los vehículos y mientras que los tres puntos de monitoreo que no superan los ECAs se encuentran lejanas a la vía de acceso, lo cual concuerda con el estudio “Evaluación de la calidad de aire por la emisión del material particulado en las piladoras Rey León S.A.C y Santa Clara, Cacatachi - 2018” de Alvarado (2019), donde se obtuvieron concentraciones de 3494.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la piladora Rey León las cuales superan los parámetros de la

normativa del D.S. N° 003-2017-MINAM, mientras que en la piladora Santa Clara el PM10 se registró 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales se encuentran dentro del valor establecido. Asimismo Reyes y Bernal (2019), en su artículo científico “Evaluación de la calidad de aire en la Universidad Santiago de Cali”, obtuvo en el primer punto de monitoreo 91.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el segundo punto tuvo un valor de 103.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el tercer punto fue de 124.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el quinto punto registro 100.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, donde concluye que lo niveles de emisión de material particulado supera los niveles de la norma nacional ya que solo se permite un valor de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además Tarazona (2018) al determinar la calidad del aire en la vereda Mochuelo- Alto Bogotá, determino que el valor del PM10 en el mes de abril obtuvo un pico de 154.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en mayo y junio los datos no superaron los límites de la normativa colombiana, en junio se obtuvo un valor máximo de 158.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en agosto se registró 47.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en setiembre se excedió su valor con 103.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en octubre se registró un valor máximo de 115.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual indica que supera los límites de la norma, en el mes de noviembre existió un valor máximo de 51.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente concluye que en la mayoría de los meses se supera la normativa colombiana. Lo que contrasta con Ahuanari y Mozombite (2019) al realizar la determinación del grado de alteración por consecuencia de emanación de gases y ruido en la ciudad de San Antonio del estrecho por edificación del Centro de Salud, donde se obtuvo que el PM10 fue de 89.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual no supera la normativa de calidad ambiental para aire.

Se evaluó que el índice de concentración de PM2.5, supera la normativa de calidad ambiental de aire para material particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, ya que se identificaron que existen 4 puntos de monitoreo que superan los estándares de calidad ambiental. Mientras que hubo presencia de 3 puntos de monitoreo en donde no superaron dichos estándares de calidad, esto debido a que en los puntos donde superan están más cercanas a la vía de acceso o carretera por donde transitan los vehículos y mientras que los tres puntos de monitoreo que no superan los ECAs se encuentran distantes a la vía de acceso, lo cual concuerda con Alvarado (2019), donde se obtuvieron concentraciones de 418.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la piladora Rey León las cuales superan los parámetros de la

normativa del D.S. N° 003-2017-MINAM, mientras que en la piladora Santa Clara el PM10 se registró $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales se encuentran dentro del valor establecido; por lo que se concluye que el índice de concentración del PM2.5 supera los ECA de calidad de aire del material particulado. Asimismo Prieto (2016) al realizar la cuantificación del material particulado, plomo y arsénico para la determinación de la calidad de aire en el distrito de Islay – Matarani, obtuvo que en el primer punto de monitoreo el PM2.5 fue de $43.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el segundo fue de $56.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el tercer fue de $47.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en el cuarto fue de $32.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que concluye que los valores identificados se hallan debajo de los parámetros establecidos por la normativa de calidad ambiental para la calidad de aire. Además, Ahuanari y Mozombite (2019) obtuvo que el PM2.5 fue de $104.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual supera la normativa de calidad ambiental para aire.

CONCLUSIONES

La presente tesis concluye indicando que existen puntos de monitoreo en la comunidad de Sacsamarca que tienen una calidad de aire insalubre con AQI global de 158.3, 173.6, 173.6 y 188.4, lo que indica que las personas que presenten problemas respiratorios no pueden estar expuestos por mucho periodo de tiempo ya que les generaría problemas, dos puntos de monitoreo tienen la calidad de aire moderados y un punto de monitoreo su calidad de aire es insalubre para grupos sensibles por lo que se puede indicar que la calidad de aire por material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la comunidad de Sacsamarca tiende a ser moderado hasta insalubre, lo que indica que el ser humano puede experimentar problemas de salud y una escala moderada para PM_{10} .

La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM_{10} en Huancavelica – 2021, no es buena; ya que las concentraciones oscilan entre 29.2 a 163.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales fueron determinados a partir de la presión atmosférica de 767mmHg, con una temperatura promedio de 13 °C, diferencia de presión manométrica de 10.4, caudal real de 1.13 m^3/min con una duración de 24 horas de monitoreo. De la misma forma se determinó mediante la fórmula del AQI el índice de calidad de aire para el material particulado PM_{10} obteniendo como resultado entre 43 y 104.

Se concluye que la calidad del aire en la comunidad Sacsamarca por la emisión de material particulado de $PM_{2.5}$ en Huancavelica – 2021, no es buena debido a que se registraron concentraciones que oscilan entre 11.7 a 93.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales fueron determinados a partir de la presión atmosférica de 767mmHg, con una temperatura promedio de 13 °C, diferencia de presión manométrica de 10.4, caudal real de 1.13 m^3/min con una duración de 24 horas de monitoreo. De la misma forma se determinó mediante la fórmula del AQI el índice de calidad de aire para el material particulado $PM_{2.5}$ obteniendo como resultado entre 49 y 170.

El índice de concentración del material particulado PM_{10} , supera estándares de calidad ambiental del aire para material particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, ya que se idéntico que existen 4 puntos de monitoreo que superan los estándares de calidad ambiental. Mientras que hubo presencia de 3 puntos de monitoreo en donde no superaron dichos estándares de calidad, esto debido a que en los puntos donde superan están más cercanas a la vía de acceso o carretera por donde transitan los vehículos y mientras que los tres puntos de monitoreo que no superan los ECAs se encuentran distantes a la vía de acceso.

El índice de concentración de material particulado $PM_{2.5}$, supera estándares de calidad ambiental del aire para material particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, ya que existen 4 puntos de monitoreo que superan los estándares de calidad ambiental. Mientras que hubo presencia de 3 puntos de monitoreo en donde no superaron dichos estándares de calidad, esto debido a que en los puntos donde superan están más cercanas a la vía de acceso o carretera por donde transitan los vehículos y mientras que los tres puntos de monitoreo que no superan los ECAs se encuentran distantes a la vía de acceso.

RECOMENDACIONES

En investigaciones futuras considerar los factores meteorológicos como, dirección del viento, velocidad del viento, humedad relativa, precipitación, etc con la finalidad de elaborar una rosa de viento para determinar el sotavento y barlovento y evaluar de donde y para donde se desplaza el material particulado en suspensión PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la comunidad de Sacsamarca de la ciudad de Huancavelica, por lo que se debe hacer uso de una estación meteorológica mecánica o portátil convencional para el registro de dichos parámetros.

Considerar equipos de laboratorios como hornos y balanzas analíticas con mayor precisión que ayuden a obtener menor grado de error con la finalidad de que los filtros pasen por un buen proceso de secado, pesado inicial y pesado final y de esta forma se obtenga resultados más precisos.

Tener en consideración el estado del equipo Hi-vol que garantice el funcionamiento adecuado con sus diferentes accesorios como regleta, disco, etc con el fin de obtener adecuadamente el flujo con el que este funciona las 3 horas de monitoreo.

Asimismo, se recomienda a la comunidad de Sacsamarca pavimentar sus pistas y veredas con el fin de evitar la propagación de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ y de esta forma mitigar los impactos ambientales que este genere hacia el medio ambiente y por ende a la población.

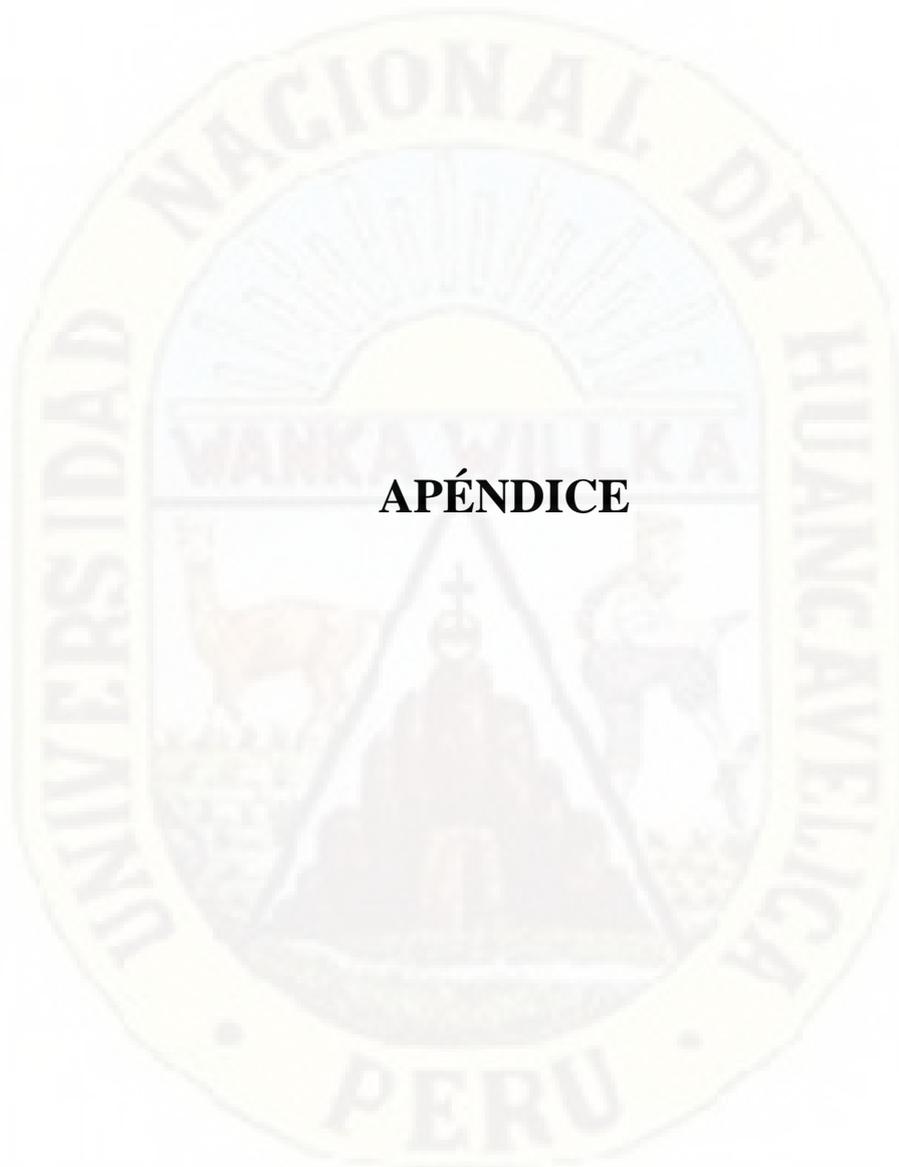
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental. (2017). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems* (Vol. Volume II). Obtenido de https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/qa/Final%20Handbook%20Document%201_17.pdf
- Ahuanari, R., & Mozombite, D. (2019). *Evaluación del grado de contaminación por efecto de la emisión de gases y ruido en la ciudad de San Antonio del estrecho por edificación del Centro de Salud*. San Juan Bautista: Universidad Científica del Perú.
- Alesina, L., Bertoni, M., Mascheroni, P., Moreira, N., Piacasso, F., & Ramirez, J. (2011). *Metodología de la investigación en ciencias sociales*. Montevideo: Universidad de la República.
- Alfayate, J., & Gonzales, M. (2011). *Contaminación ambiental*. España: Editorial paraninfo.
- Alvarado, R. (2019). *Evaluación de la calidad de aire por la emisión del material particulado en las piladoras Rey León S.A.C y Santa Clara, Cacatachi - 2018*. Tarapoto - Perú: Universidad César Vallejo.
- Aragón, P. (2011). *Problemas de la contaminación ambiental*. España: Editorial Fecus.
- Borja S, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Castro de Reyes, A. (2015). *Recolección de datos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <https://melpe025.files.wordpress.com/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>
- Ccanto Mallma, G. (2010). *Metodología de la investigación científica en contabilidad*. Huancayo : Vision peruana.
- Charres, I., & Marcela, D. (2016). *Evaluación de la calidad de aire en el municipio de Sucsa (Cundimarca)*. Bogotá - Colombia: Universidad Libre de Colombia.
- Chávez, P. (2018). *Contaminación del aire por material particulado sedimentable en la zona urbana de Huánuco de agosto a octubre del 2016*. Tingo María - Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM. (2 de Diciembre de 2019). *Ministerio del Ambiente*. (MINAM) Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad>
- Environmental Protection Agency . (2006). *Unpaved roads. U.S. EPA office of Air and Radiatio*. USA: EPA.

- Ferrer, J. (2010). *Higiene y seguridad Industrial*. Obtenido de Conceptos básicos de metodología de la investigación : <http://metodologia02.blogspot.com/p/tecnicas-de-la-investigacion.html>
- García, J. (2008). *Contaminación atmosférica*. México: Editorial Trillas.
- Green Group Perú. (2017). *Laboratorio de Calibración de Gases acreditado con ISO/IEC 17025 en el Perú y el segundo en Sudamérica*. Obtenido de <https://www.greengroup.com.pe/equipos/calidad-de-aire/muestreador-de-particulas-hi-vol/detalle#:~:text=Muestreador%20para%20material%20particulado%20PM10,inoxidable%20de%208%E2%80%9Dx10%E2%80%9D>.
- Guevara, J. (2017). *Índice de la calidad de aire en el Distrito de Morales debido a la presencia de material particulado 2.5 microgramos*. Tarapoto - Perú: Universidad Peruana Unión.
- Guzman, J. (2019). *Evaluación de la calidad del aire de la central térmica de ventanilla*. Lima - Perú: Universidad Nacional Federico Villareal.
- Hernández, R. (2004). En *Metodología de la Investigación* (Vol. Cuarta edición). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA DE C.V. Obtenido de <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPLERI.pdf>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. Sexta edición). México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernandez, O. J. (2019). Contribución de fuentes y origen del material particulado atmosférico en bogotá, colombia. *Dialnet*.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación (6.a ed.)*. México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. México.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Sistema Nacional Ambiental*. Obtenido de http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/aprendizaje.xhtml?de=indice_calidad
- Instituto geoambiental. (Noviembre de 2020). *Material particulado*. Obtenido de <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
- Marroquin, R. (2002). *Metodología de la investigación*. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzman y Valle.

- Martínez, A. (2000). *Introducción al monitoreo atmosférico producido por partículas en suspensión*. Madrid: Editorial Ciemat.
- Mendez Espinoza, J. F., Pinto Herrera, L. C., Galvis Remolina, B. R., & Pachon, J. E. (2017). Estimación de factores de emisión de material particulado resuspendido antes, durante y después de la pavimentación de una vía en Bogotá . *Dialnet*.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire* . Bogotá. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. *Ambiente*, pág. 4.
- Ministerio del ambiente. (Noviembre de 2019). *Protocolo de monitoreo de la calidad de aire*. Obtenido de [file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/protocolo_monitoreo_aire%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/protocolo_monitoreo_aire%20(4).pdf)
- Motocanche, D. (2019). *Evaluación de la influencia de las condiciones meteorológicas en los niveles de material particulado PM10 y PM2.5 en la construcción del Hospital Hipólito Unánue de Tacna*. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Muñoz, C. (2015). *Metodología de investigación-ciencia sociales*. México: Oxford University Press México, S.A. de C.V. Obtenido de <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2019/08/56-Metodologia-de-la-investigacion-Carlos-I.-Munoz-Rocha.pdf>
- Nevers, N. (1998). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. México: Editorial McGraw-Hill.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Impacto del medio ambiente en la salud. *Actualización mundial*, 23.
- Prieto, O. (2016). *Caracterización de material particulado, plomo y arsénico para la evaluación de la calidad de aire en el distrito de Islay - Matarani*. Arequipa - Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Ramírez , A. (s/f). *Metodología de la investigación científica*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/1.pdf>
- Reyes, T., & Bernal, D. (2019). Evaluación de la calidad de aire en la Universidad Santiago de Cali. *Universidad Santiago de Cali*, 12.
- Sabino, C. (1992). *El proceso de la investigación*. (primera, Ed.) Panapo: Editorial panamericana.
- Salazar, H. (2013). *Manual de Metodología de la investigación*. Huaráz.

- Strauss, W. (1990). *Contaminación del aire, causas, efectos y soluciones*. México: Editorial Trillas S.A.
- Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación Científica*. México: Limusa S.A.
- Tarazona, P. (2018). *Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (PM10) en la vereda Mochuelo - Alto Bogotá D.C.* Bogotá - Colombia: Universidad El Bosque.
- Tenorio, B. (1998). *Técnicas de investigación documental*. Trillas.
- Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos.
- Vara, M. (2017). *Contaminación atmosférica con material particulado en la ciudad del Cusco y su comportamiento - 2016*. Arequipa - Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Vivanco, E. (2019). *Evaluación de la concentración de PM10 y plomo en el aire ambiental, en los pueblos jóvenes cercanos a los depósitos de minerales en el Callao*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.



APÉNDICE

APÉNDICE 1

Matriz de Consistencia

TÍTULO: “Calidad del aire por la emisión de material particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGÍA
Problemas general	Objetivos general	Hipótesis general					Tipo de Investigación: - Aplicada Nivel de Investigación - Explicativo Método de investigación - Método científico Diseño: - Diseño no experimental Técnica e instrumento de recolección Técnicas - Observación Instrumento Ficha de observación Muestreador de partículas “Hi Vol” Población: 5 kilómetros - Muestra: 7 puntos de monitoreo Muestreo: aleatorio Técnicas de procesamiento de datos: - T de Student para muestras dependientes.
¿Cuál es la calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021? Problemas específicos: ¿Cuál es la calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM ₁₀ en Huancavelica – 2021? ¿Cuál es la calidad del aire en la comunidad de Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM _{2.5} en Huancavelica – 2021? ¿Cuál es el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM ₁₀ en la comunidad	Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido en Huancavelica – 2021 Objetivos específicos: Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de PM ₁₀ en Huancavelica – 2021 Evaluar la calidad de aire en la comunidad de Sacsamarca por la emisión del material particulado suspendido de PM _{2.5} en Huancavelica – 2021 Determinar el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del	La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado en Huancavelica – 2021, no es buena Hipótesis específica: La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM ₁₀ en Huancavelica – 2021, es buena La calidad del aire en la comunidad Sacsamarca, por la emisión de material particulado de PM _{2.5} en Huancavelica – 2021, es buena El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM ₁₀ en la comunidad de Sacsamarca,	Variable independiente: Material particulado Variable dependiente: Calidad de aire	Material particulado PM ₁₀ Material particulado PM _{2.5} Índice de calidad de aire global según el método AQI Air Quality Index para PM10	Partículas gruesas Partículas finas $AQI = \left[\frac{(PM_{obs} - PM_{min}) \times (AQI_{max} - AQI_{min})}{(PM_{max} - PM_{min})} \right]$	Razón Razón Intervalo	

<p>de Sacsamarca, Huancavelica – 2021?</p> <p>¿Cuál es el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021?</p>	<p>material particulado PM10 en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.</p> <p>Determinar el índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021.</p>	<p>Huancavelica – 2021, supera los estándares de calidad ambiental.</p> <p>El índice de concentración con relación al ECA de calidad de aire del material particulado PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021, supera los estándares de calidad ambiental.</p>		<p>Índice de calidad de aire global según el método AQI Air Quality Index para PM_{2.5}</p>	$AQI = \left[\frac{(PM_{obs} - PM_{min}) \times (AQI_{max} - AQI_{min})}{(PM_{max} - PM_{min})} \right]$	<p>Intervalo</p>	
--	--	--	--	---	---	------------------	--

APÉNDICE 2
Propuesta de Instrumento

Anexo N° 01 INSTRUMENTO DE MONITOREO DE AIRE									
Distrito:				Provincia:					
Metodo: Alto volumen ()				Metodo: Bajo volumen ()					
Fuente Generadora de material particulado:									
(Marca con un aspa x)									
Fija ()				Movil ()					
Descripción de la Fuente:									
Croquis de la Ubicación de la Fuente y del Punto de Monitoreo:									
PUNTO DE MONITOREO DE AIRE PARA MATERIAL PARTICULA			EVIDENCIA FOTOGRAFICA						
COORDENADAS									
N									
E									
A									
Registro de datos de Material Particulado PM 10									
Punto de Monitoreo	Peso Inicial del filtro	Peso final del filtro	Concentración de PM10	AQI	Escala	Nivel de Contaminación del aire	Implicaciones para la salud	Declaración de precaución para PM10	Observaciones

APÉNDICE 3

Ficha de determinación de la concentración de material particulado

Empresa:		Unidad o Proyecto:	
Estación	Fecha:	Código de Filtro	Pesos (gr)
			Inicial: Final: Diferencia:
Horómetro		Funcionamiento	
Inicial:	Final:	Horas:	Minutos:
Diferencia de Presión Manométrica		Presión ATM. (mmHg)	Temperatura (°C):
			Razón de Presión:
Inicial	Final	Promedio	Qreal (m3/min):
			Qstd (m3/min)
			VOLstd (m3)
Concentración de Material Particulado PM-2.5 y PM10			
Concentración PM10.(ug/m3N)	As (ug/muestra)	As (ug/m3N)	Pb (ug/muestra)
			Pb (ug/m3N)

APÉNDICE 4:
PANEL FOTOGRÁFICO



Figure 1 Instalación de equipo H-VOL :fuente propia Figure 2 Instalación de equipo H-VOL : fuente propia



Figure 1 Instalación de equipo H-VOL fuente: propia



Figure 4 Equipo H-VOL instalado fuente: propia Figure 2 Medición de calidad de aire fuente:propia



Figure 3 Medición de calidad de aire con el equipo H-VOL fuente:propia



Figure 5 Foto de monitoreo de aire en sacsamarca fuente: propia