

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Factores meteorológicos y su relación con la calidad del
aire producido por PM 10 generado en la fabricación de
ladrillo artesanal en Cullpa Baja, 2017**

Erlan Hugo Cuadros Baldeón

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Anieval Peña Rojas

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera demostrar mi mayor agradecimiento a mi alma máter, la Universidad Continental, por darme la riqueza académica necesaria a lo largo de mi formación profesional. De igual manera agradezco a la Comunidad Campesina de Cullpa Baja, por haber demostrado interés y mente abierta a lo largo de mi investigación.

De igual modo agradezco al asesor de investigación, Ing. Anieval Peña Rojas por la asesoría brindada para la realización de la tesis, particularmente por su paciencia y motivación. A mis padres, por formarme como persona con valores como la responsabilidad, respeto, por su apoyo moral, su fortaleza y sobre todo su dedicación, sin la cual la presente investigación no hubiese sido posible. Por último, a Dios quien es nuestro guía en el camino de la vida.

DEDICATORIA

Dedico la investigación a la memoria de mis abuelos Hugo Baldeón y Rosa Baquerizo, los que en todo momento me impulsaron para realizarme como persona, que me encaminaron por el buen sendero de la vida.

A mi madre con el más sincero amor y respeto la cual encontró mil formas para que nunca me rindiera. A mi familia la cual es un tesoro que cada día me da su incondicional afecto y comprensión.

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1. Justificación práctica.....	4
1.3.2. Justificación metodológica.....	5
1.3.3. Justificación científica.....	5
1.3.4. Importancia.....	6
1.4. Hipótesis y variables.....	6
1.4.1. Hipótesis general.....	6
1.4.2. Hipótesis nula.....	6
1.4.3. Hipótesis específicas:.....	7
1.4.4. Operacionalización de las variables.....	8

CAPÍTULO II.....	10
2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos	10
2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis	15
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación	19
2.2.1.1. La atmósfera	19
2.2.1.2. Composición y estado físico de la atmósfera	20
2.2.1.3. Fuentes contaminantes del aire	25
2.2.1.4. Efectos de la contaminación del aire por material particulado	28
2.2.1.5. Dispersión de contaminantes en la atmósfera.....	30
2.2.2. Fundamentos metodológicos de la investigación.....	30
2.2.2.1. Valores del Índice de la Calidad de Aire (ICA).....	30
2.2.2.2. Área de influencia directa e indirecta.....	32
2.2.2.3. Dispersión de contaminantes atmosféricos	33
2.2.2.4. Muestreador de alto volumen para el material particulado	35
2.2.2.5. Cálculo de la concentración de material particulado.....	36
2.3. Definición de términos	37
CAPÍTULO III.....	40
3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.....	40
3.1.1. Métodos de la investigación.....	40
3.1.1.1. Método general de la investigación	40
3.1.1.2. Método específico de la investigación	41
3.1.2. Tipo de la investigación	49
3.1.3. Nivel de la investigación	49
3.2. Diseño de la investigación	50
3.3. Población y muestra	50
3.3.1. Población.....	50

3.3.2. Muestra	51
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	52
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	52
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	52
CAPÍTULO IV	53
4.1. Resultados de la investigación.....	53
4.1.1. Cálculo de la concentración del material particulado	53
4.1.2. Cálculo del Índice de Calidad del Aire para PM 10	57
4.1.3. Temperatura atmosférica en el área de estudio.....	57
4.1.4. Velocidad del viento en el área de estudio.....	61
4.1.5. Humedad relativa del área de estudio.....	65
4.2. Prueba de hipótesis	68
4.2.1. Hipótesis específicas.....	69
4.2.2. Hipótesis general.....	80
4.3. Discusión de resultados.....	81
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. La estructura de la atmósfera definida por la variación promedio de la temperatura con la altitud.....	21
Figura 02. Clasificación de las fuentes de contaminación de la atmósfera.....	25
Figura 03. Clasificación de las fuentes de material particulado.....	29
Figura 04. Muestreador de alto volumen Thermo Scientific High-Volume Air Samplers....	36
Figura 05. Evidencias fotográficas de los muestreadores de alto volumen en la Comunidad de Cullpa Baja.....	45
Figura 06. Esquema metodológico de la investigación.....	49
Figura 07. Puntos de monitoreo establecidos en la investigación.....	51
Figura 08. Diagrama que reporta los valores alcanzados tras el cálculo de la concentración del material particulado (PM 10).....	56
Figura 09. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-01.....	58
Figura 10. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-02.....	59
Figura 11. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-03.....	59
Figura 12. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-04.....	60
Figura 13. Rosa de vientos del punto CA-01.....	62
Figura 14. Rosa de vientos del punto CA-02.....	62
Figura 15. Rosa de vientos del punto CA-03.....	63
Figura 16. Rosa de vientos del punto CA-04.....	64
Figura 17. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-01.....	65
Figura 18. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-02.....	66
Figura 19. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-03.....	67
Figura 20. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-04.....	67
Figura 21. Gráfico cuantil-cuantil para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y temperatura.....	72
Figura 22. Gráfico cuantil-cuantil para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y velocidad del viento.....	75
Figura 23. Gráfico cuantil-cuantil para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y humedad relativa.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización de las variables.....	8
Tabla 02. Composición del aire puro seco en la atmósfera baja.....	23
Tabla 03. Focos de emisión de contaminantes.....	28
Tabla 04. Valores del Índice de Calidad del Aire.....	31
Tabla 05. Cálculo del Índice de Calidad del Aire.....	32
Tabla 06. Correlación entre los tipos de estudio y el fenómeno de dispersión de contaminantes atmosféricos.....	34
Tabla 07. Cuadro de datos técnicos de la localización de los hornos de las ladrilleras de Cullpa Baja.....	42
Tabla 08. Parámetros medios para una red mínima funcional de estaciones meteorológicas.....	46
Tabla 09. Parámetros medios para una red mínima funcional de estaciones meteorológicas en terrenos montañosos.....	47
Tabla 10. Pesos iniciales y finales de los filtros usados en el muestreador de alto volumen.....	53
Tabla 11. Concentración de material particulado por punto de monitoreo muestreado.....	55
Tabla 12. Evidencia de la comparativa de las mediciones realizadas con la normativa actual de la calidad del aire.....	56
Tabla 13. Índice de Calidad del Aire para el material particulado por punto de monitoreo muestreado.....	57
Tabla 14. Relación de temperatura y la calidad del aire.....	61
Tabla 15. Relación de la velocidad del viento y la calidad del aire.....	64
Tabla 16. Relación de la humedad relativa y la calidad del aire.....	68
Tabla 17. Índice de calidad (PM 10) y factores meteorológicos por punto de muestreo.....	68
Tabla 18. Prueba de t para una muestra para la primera hipótesis específica.....	69
Tabla 19. Prueba de normalidad para la segunda hipótesis específica.....	71
Tabla 20. Prueba de correlación de R_{H0} de Spearman para la segunda hipótesis específica.....	72
Tabla 21. Prueba de normalidad para la tercera hipótesis específica.....	74
Tabla 22. Prueba de correlación de Pearson para la tercera hipótesis específica.....	76
Tabla 23. Prueba de normalidad para la cuarta hipótesis específica.....	78
Tabla 24. Prueba de correlación de Pearson para la cuarta hipótesis específica.....	79

RESUMEN

Objetivos: se determinó la relación entre los factores meteorológicos (temperatura, velocidad del viento y humedad relativa) y la calidad del aire producido por el material particulado (PM10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017. **Métodos:** se realizó una investigación exploratoria, de tipo descriptiva y de diseño transversal. El método específico estuvo basado en el análisis observacional. Se analizaron los datos de 04 muestras de material particulado recolectadas mediante un muestreador de alto volumen. Se aplicaron listas de cotejo como evidencias de la observación. **Resultados:** el promedio validado del cálculo de concentración de PM10 fue de $199.4425 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que excede al Estándar de Calidad Ambiental (ECA); el análisis estadístico de la relación de la variación de temperatura con la calidad del aire se realizó mediante el estadístico de R_{H_0} de Spearman, obteniendo un valor de significancia estadística de 0.6 y un coeficiente de correlación de 0.4; el análisis estadístico para la relación de la variación de velocidad del viento con la calidad del aire se realizó mediante el estadístico de Pearson, obteniendo un valor de significancia estadística de 0.473 y un coeficiente de correlación de -0.527; finalmente el análisis estadístico de la relación de la humedad relativa con la calidad del aire se realizó mediante el estadístico de Pearson, obteniendo un valor de significancia estadística de 0.194 y un coeficiente de correlación de 0.806. **Conclusiones:** la calidad del aire producido por el PM10 generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 es malo, además no existe relación directa entre los factores meteorológicos (temperatura, velocidad del viento y humedad) y la calidad del aire producido por el PM10.

Palabras clave: calidad de aire, material particulado PM 10, temperatura atmosférica, velocidad del viento, humedad relativa.

ABSTRACT

Objectives: the relationship between meteorological factors (temperature, wind speed and relative humidity) and the quality of the air produced by the particulate material (PM10) generated in the artisan brick manufacturing process in the Peasant Community of Cullpa Baja in the month of April 2017. **Methods:** an exploratory, descriptive and cross-sectional research was carried out. The specific method was based on observational analysis. Data from 04 particulate matter samples collected using a high volume sampler were analyzed. Checklists were applied as evidence of the observation. **Results:** the validated average of the PM10 concentration calculation was $199.4425 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a value that exceeds the Environmental Quality Standard (ECA); the statistical analysis of the relation of the variation of temperature with the quality of the air was carried out using the R_{H_0} statistic of Spearman, obtaining a statistical significance value of 0.6 and a correlation coefficient of 0.4; the statistical analysis for the relationship of the variation of wind speed with the air quality was carried out by means of the Pearson statistic, obtaining a value of statistical significance of 0.473 and a correlation coefficient of -0.527; finally, the statistical analysis of the relationship between relative humidity and air quality was performed using the Pearson statistic, obtaining a statistical significance value of 0.194 and a correlation coefficient of 0.806. **Conclusions:** the quality of the air produced by the PM10 generated in the artisanal brick manufacturing process in the Peasant Community of Cullpa Baja in April 2017 is bad, in addition there is no direct relationship between meteorological factors (temperature, wind speed and humidity) and the quality of the air produced by PM10.

Keywords: air quality, PM 10 particulate matter, atmospheric temperature, wind speed, relative humidity.

INTRODUCCIÓN

La creciente problemática de contaminación que se vive en el planeta a causa de las actividades antropogénicas es un asunto a darle solución. Actualmente se tienen sectores olvidados o que vienen contaminando clandestinamente, propio de las actividades informales como es el caso de la producción de ladrillo artesanal en el sector de Cullpa Baja en la ciudad de Huancayo, sin embargo, no se sabe a ciencia cierta si existe contaminación a gran escala o no, es por ello que urge la necesidad de realizar estudios o investigaciones que sometan a prueba dicho escenario.

En la presente investigación se determinó la calidad del aire producido por el material particulado (PM10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 como enfoque inicial o exploratorio desde el punto de vista de la metodología de investigación científica para así tener un conocimiento verdadero y válido del escenario de contaminación, para lo cual se realizaron muestreos específicos y se analizó la concentración de material particulado, asimismo, se determinó el índice de la calidad del aire, según lo propuesto en la resolución ministerial N° 181-2016-MINAM.

En el primer capítulo se aborda la caracterización problemática, así como la formulación propia del problema de investigación, los objetivos, las hipótesis, justificaciones y variables. En el segundo capítulo se evidencian los antecedentes de la investigación y los fundamentos teóricos y metodológicos plasmados en el modelo teórico. El tercer capítulo muestra la metodología de la investigación científica formulada; y finalmente en el cuarto capítulo se presenta el reporte, validación y discusión de resultados entorno a la determinación de la calidad del aire ocasionado por la actividad ladrillera artesanal de Cullpa Baja y puesto en manifiesto tras su análisis como aporte científico de la misma.

El autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La presente investigación se fundamenta problemáticamente por estar relacionada directamente con una de las inquietudes globales a solucionar en el presente y futuro próximo: la contaminación ambiental, enfocándose directamente en un factor ambiental propio del componente físico del ecosistema: el aire, y a raíz de ello la consideración propia de uno de los contaminantes representativos y presentes en el ámbito urbano y rural: el material particulado, generado en un sector socioeconómico, a consideración, olvidado por los gobernantes: el sector productor artesanal de ladrillo propio de un sector rural colindante con la zona urbana: la Comunidad Campesina de Cullpa Alta (1).

Si bien se tiene data a nivel internacional de la presencia, comportamiento y capacidad degradativa del material particulado, en el contexto local se abordó el mencionado tema por primera vez desde el punto de vista metodológico y técnico. A nivel nacional, se considera que la depredación de los recursos naturales por parte de ladrilleros artesanales se asemeja al de los mineros ilegales (2), además de que evidencia una situación contaminante catalogada como devastadora (según la referencia inmediata antecedente) producto de que, principalmente, se tiene la

emisión de humos las 24 horas del día, los mismos que son producto de la utilización de combustibles de bajo precio y de poder calórico alto, y materiales inapropiados o residuales que presentan incompatibilidades (3).

Según el Ministerio del Ambiente, en la ciudad de Lima la exposición al material particulado genera gastos de hasta US\$ 300 millones de dólares y causa la muerte de más de 60 000 personas al año (4). Asimismo, de acuerdo al Informe Nacional de Calidad del Aire 2013-2014, el material particulado que contienen sulfuros y nitratos, y que se deposita ya sea por vía húmeda o seca en monumentos, edificios u obras de arte, representa un potencial perjudicial para estos, demostrando que la contaminación atmosférica genera daños estéticos y físicos (5); dicha institución gubernamental considera que una de las zonas de atención prioritaria respecto de la contaminación del aire es Huancayo, lo que concuerda con el Anexo 4 del Decreto Supremo Nº 074-2001-PCM, Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aire (6), el mismo que considera como uno de los contaminantes criterio (o primarios) del aire al material particulado, estableciendo un valor de concentración máxima o estándar de calidad ambiental para el PM 10, y que por ello se debería de darle la importancia del caso y más aún con una excesiva creciente poblacional y por ende fuentes móviles y estacionarias propias de una urbe en desarrollo, que para el caso es desproporcionado y desordenado. En América, uno de los riesgos ambientales más trascendentales para la salud es la contaminación atmosférica, asimismo, considera que el material particulado de 10 micras de diámetro representa uno de los contaminantes atmosféricos de mayor relevancia, recomendando una exposición máxima de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en términos de concentración de lo contrario podría acarrear problemas diversos a la salud, así como al ecosistema en general (7).

Con lo mencionado, evidencio que existe un interés relevante a por el estudio del nivel de contaminación ambiental que produce el material particulado en una zona de poco interés por parte de las autoridades, dando así un realce a la investigación, de modo que lo obtenido en la misma evidencie representatividad.

1.1.2. Formulación del problema

A) Problema general:

¿Cuál es la relación que se da entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?

B) Problemas específicos:

- ¿Cuál será la concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?
- ¿Cuál es la relación que se da entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?
- ¿Cuál es la relación que se da entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?
- ¿Cuál es la relación que se da entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la relación entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.
- Determinar la relación entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.
- Determinar la relación entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.
- Determinar la relación entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

La presente investigación se justifica prácticamente por el abordaje de un área poco estudiada y con potencial de alterar la calidad del aire como es la actividad de producción de ladrillo artesanal. El análisis propio de la investigación abarcó el entendimiento inicial en función de la determinación de la calidad del aire y con lo cual se tenga un precedente técnico validado para la tentativa solución del problema de contaminación ambiental a

posterior, así como la generación de nuevas ideas en el campo de la investigación científica. La necesidad de comprender el escenario inicial de contaminación es de vital conocimiento multisectorialmente, puesto que así se formularían instrumentos de gestión ambiental específicos que contribuirían a la mitigación de dicho escenario y consecuentemente elevarían la productividad, sosteniblemente, del ladrillo en la zona de estudio.

1.3.2. Justificación metodológica

El entorno metodológico de la investigación se justifica por el empleo de técnicas e instrumentos representativos y delimitados por el enfoque metodológico propuesto en la investigación que evidencien resultados confiables y de igual manera un aporte científico consistente. Al tratarse de un estudio exploratorio, la aplicación de las técnicas de análisis sustentadas en las bases teóricas evidenciará un abordaje oportuno al tema de investigación, sumado a, en sentido del realce del conocimiento, mecanismos propuestos metodológicamente, los cuales en conjunto difieran del reporte de resultados “prácticos”, y se abarque más allá de ello, manifestando originalidad, confiabilidad y validez en la presente.

1.3.3. Justificación científica

En el marco del método científico, y en relación de lo justificado metodológicamente, el camino seguido para la obtención de datos significativos y valederos evidenció el manejo de información desde el punto de vista científico, comprobando la realidad de una situación en particular (objeto de estudio de la presente), es decir, el conocimiento verdadero con el fin de la expansión del conocimiento, para el caso, inicial respecto del escenario de contaminación por la presencia de material particulado en la zona de estudio.

1.3.4. Importancia

La importancia de la presente investigación radica principalmente, como en lo constante actualmente respecto de la temática ambiental, en el abordaje de un problema latente en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja y alrededores (en función del área de influencia), la cual convive con la producción del ladrillo de manera artesanal, o poco tecnificada principalmente por la falta de recursos en mayor parte socioeconómicos (8), la cual tiende a generar un escenario de contaminación atribuido a factores antropogénicos y que significa la degradación del ecosistema propio del lugar y el nivel de la calidad de vida de la población del área de influencia directa. El determinar, como primer hito, la calidad del aire, para el caso por la presencia de material particulado, abrirá puertas al desarrollo de medidas de mitigación adecuadas y nuevas investigaciones, además de complementar con lo propuesto en planes y programas a nivel local, regional y nacional, de manera que se evidencie un desarrollo sostenible en varios aspectos.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

H1: Existe una relación significativa entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

1.4.2. Hipótesis nula

H₀: No existe una relación directa entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

1.4.3. Hipótesis específicas:

- a. H_1 : La concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 supera el Estándar de Calidad Ambiental ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
 H_0 : La concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 no supera el Estándar de Calidad Ambiental ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- b. H_1 : Existe una relación significativa entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.
 H_0 : No existe una relación significativa entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.
- c. H_1 : Existe una relación significativa entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.
 H_0 : No existe una relación significativa entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.
- d. H_1 : Existe una relación significativa entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

- e. H_0 : No existe una relación significativa entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

1.4.4. Operacionalización de las variables

- a. Variable independiente: factores meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento).
- b. Variable dependiente: calidad del aire (material particulado (PM 10)).

Tabla 01. *Operacionalización de las variables.*

Variable	Conceptualización	Definición operacional		
		Dimensiones	Sub dimensiones	Indicadores
Factores meteorológicos	Se refiere a la propiedad o condición de la atmósfera, cuyo conjunto define el estado físico del tiempo o del clima de un lugar determinado, para un momento o un período de tiempo dados, las variables meteorológicas, que se puede considerar una variable la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento.	Estado físico del tiempo.	Temperatura.	T° ($^{\circ}\text{C}$).
		Estado físico del clima. Variables meteorológicas.	Humedad relativa. Velocidad del viento.	% de humedad. m/s

Calidad de aire por el material particulado (PM 10)	La calidad del aire es determinada por la presencia de contaminantes atmosféricos, que pueden ser material particulado o contaminantes gaseosos. La normativa vigente en materia de calidad del aire establece unos estados de alerta calidad de aire en la protección de la salud y de los ecosistemas.	Contaminantes atmosféricos.	Concentración de PM 10	µg/m ³
		Material particulado.		
		Concentración de PM 10.		

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos

En el artículo de investigación titulado: “Caracterización de partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM 10) producidas en áreas de explotación carbonífera a cielo abierto”, presentaron una revisión bibliográfica de cuantificación y caracterización de partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM 10) generadas en áreas de explotación carbonífera a cielo abierto, concluyeron que hasta la actualidad se persiste en centrar estudios relacionados a las fuentes de generación de emisiones contaminantes móviles y fijas en especial en zonas urbanas, sin embargo, también se debería estudiar al grupo denominado como fuentes fugitivas basadas en inventarios de emisiones, para el caso, de material particulado como gran contaminante atmosférico en áreas considerables; asimismo, consideraron que la geomorfología incide significativamente en la dispersión del material particulado, evidenciando extensiones de escenario de contaminación significativas (9).

En la investigación científica titulada: “Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM 10”, se describieron los impactos causados por el material particulado presente en la atmósfera, utilizaron equipos de muestreo y herramientas

computacionales, para predecir su comportamiento, además establecieron controles; concluyeron que, desde el punto de vista de la ingeniería, se ha propagado e incentivado el estudio del comportamiento del material particulado en la atmósfera buscando el predecir potenciales impactos tras el desarrollo de medidas de control y de oportunidad de mejora en la gestión pública ambiental; de igual manera, consideraron que es fundamental implementar e innovar tecnologías en equipos que ayuden a controlar las partículas que emite el sector industrial, asimismo, es importante que el sector este comprometido en la mejora continua de sus procesos, y si bien se tiene un promedio de avance considerable respecto de métodos de análisis y control, éstos deben ser ampliados para sectores productivos específicos, de modo que se represente un escenario de sostenibilidad y responsabilidad frente al desarrollo de las actividades productivas (10).

En la investigación titulada: “*Effect of relative humidity in determining PM 10 using a DataRam 4 in coastal region of Colombia*”, analizaron las concentraciones de PM 10 en la zona urbana del municipio de Riohacha, además evaluaron el efecto de la humedad relativa sobre las concentraciones de PM 10, realizaron el estudio durante 3 meses y utilizaron el instrumento de Data Ram 4, el cual almaceno promedio horarios y diarios, obtuvieron concentraciones de PM0 de 23.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el análisis respecto a la humedad relativa encontraron que cuando esta era menor a 70 % la correlación fue débil, no existiendo diferencias significativas, sin embargo cuando la humedad relativa fue mayor al 70 % la correlación se incrementó (11).

En la investigación científica titulada “Impactos socio ambientales por la fabricación de ladrillos de Huancayo”, se identificaron los impactos socio ambientales que genera la fabricación de ladrillos en las zonas de Palián y San Agustín de Cajas de la ciudad de Huancayo. Como resultados se obtuvo que los productores de ladrillo artesanal mantienen una percepción muy alta respecto de los perjuicios a la salud de su actividad productiva (94 %), además de que perciben (81 %) que respiran aire contaminado a partir de sus actividades, además de que la flora y fauna se alteró (86 %) principalmente a causa de la presencia de ruido ambiental en la zona,

además del polvo presente. Concluyó que la actividad ladrillera en la zona de Palían y San Agustín de Cajas generó impactos sociales, en especial económicos, sin embargo, el escenario de desequilibrio ecosistémico modificó su estilo de vida significativamente (8).

En la investigación científica titulada: “Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción”, se tuvo como objetivo concientizar acerca de los impactos ambientales negativos que causan los proyectos de construcción en la Franja de Gaza, asimismo, con el fin de amenorar los impactos propusieron algunas sugerencias, sus resultados expresaron que la generación de partículas y de ruido, la pérdida de cobertura vegetal y la contaminación atmosférica tienden a considerarse como impactos ambientales significativos generados en las actividades de construcción. De igual manera, enfatizaron que los directamente perjudicados son los trabajadores del sector, debido a la exposición a contaminantes que superan los límites máximos permisibles, sin embargo, dicho dato es considerado como complementario respecto del impacto social que se pueda dar en función del análisis por componentes y factores propios de la Evaluación de Impacto Ambiental; a partir de ello, concluyeron que es imperante la protección del medio ambiente, recursos y de la salud de las personas, mediante el control de los impactos negativos, recomendaron el uso de sistemas de humectación por medio de la aspersión de agua residual tratada de modo que se evite por captación el polvo en suspensión y si bien el entorno de la Evaluación del Impacto Ambiental abarca a las distintas etapas de un proyecto, como en el caso de la construcción, deberían de concientizar a los que desarrollan el proyecto, de modo que la toma de decisiones provengan del entorno de la sostenibilidad y sean amigables con el entorno (12).

En la investigación de divulgación titulada: “Análisis de la contaminación del aire con material particulado producido por la fabricación de ladrillos artesanales en los municipios de la subregión centro del departamento de Magdalena”, se determinó que la fabricación de ladrillos se realiza de forma artesanal, además, los trabajadores que lo realizan presentan una mínima escolaridad y dependen económicamente de esta labor, factores que contribuyen al desconocimiento de buenas prácticas ambientales;

utilizaron un equipo muestreador de alto volumen (Hi-Vol) equivalente a un método gravimétrico para obtener la concentración del material particulado, obteniendo así valores que no sobrepasan el nivel máximo permisible establecido por su normativa (colombiana): $< 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de igual manera, identificaron que el 100 % utiliza a la leña como combustible principal para el proceso de cocción de los ladrillos. Concluyeron que los productores de ladrillo artesanal están expuestos a riesgos por la no utilización de equipos de protección personal a lo largo de todo el proceso, además de que en la zona de estudio se tiene que la velocidad de los vientos es la menor de Colombia, lo que evidencia una menor dispersión del material particulado, así mismo, mencionan que se tiene una cobertura vegetal insignificante, característica que no ayuda al control de la contaminación del aire de forma natural (13).

En la investigación titulada: “Efecto de los parámetros meteorológicos sobre la concentración de masa de partículas finas y gruesas en un área de minería de carbón en Zonguldak, Turquía”, estudiaron el efecto de los parámetros meteorológicos y la topografía local sobre las concentraciones de masa de partículas finas (PM 2.5) y gruesas (PM 2.5 - PM 10) y su comportamiento estacional, recolectaron un total de 236 pares de muestreadores utilizando un muestreador dicotómico Anderson entre diciembre de 2004 y octubre de 2005. Las concentraciones de masa promedio de PM 2.5; PM 2.5 - PM 10, y partículas de menos de 10 micras de diámetro aerodinámico (PM10) fueron $29.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $23.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $53.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente; encontraron que las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 eran más altas en las estaciones de calefacción (diciembre a mayo) que en verano, el aumento de la humedad relativa, la nubosidad y la temperatura más baja se relacionaron en gran medida con el aumento de partículas (PM) eventos episódicos Durante los días no lluviosos, los eventos episódicos para PM2,5 y PM10 se incrementaron en 30 % y 10.7 %, respectivamente, atribuyeron este resultado al uso extensivo de combustible durante el invierno con fines de calefacción y también debido a las masas de aire estancadas formadas debido a la baja temperatura y la baja velocidad del viento sobre el área de estudio (14).

En la investigación titulada: “Contaminantes atmosféricos particulados y su relación con la meteorología en Ahmedabad”, se recolectaron datos de contaminantes en partículas en el aire por un período de 4 años (2005 - 2008) en 13 ubicaciones en Ahmedabad, una mega ciudad en el estado de Gujarat, en el oeste de India; observaron concentraciones de materia particulada suspendida (SPM) que variaron de 66.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 786.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y las concentraciones de materia particulado de diámetros aerodinámicos menores a 10 micrones (PM 10) variaron entre 17.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 327.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las concentraciones promedio estacional y anual de los dos contaminantes estaban mayormente por encima de los estándares de calidad del aire de la India y generalmente eran comparables con las observadas en la mayoría de las otras áreas urbanas de la India, compararon estas concentraciones de partículas contaminantes con variables meteorológicas como la lluvia, la humedad, la temperatura y la velocidad del viento, tanto el SPM como PM10 mostraron correlaciones negativas significativas con la lluvia (15).

En la investigación titulada: “La influencia de la meteorología en las concentraciones de materia particulada en una ubicación mediterránea urbana, midieron las concentraciones diarias de masa de PM 1, PM 2.5 y PM10 junto con parámetros meteorológicos de octubre de 2008 a octubre de 2009 en la ciudad de Elche”, se obtuvieron niveles medios anuales de 9.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 26.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM 1, PM 2.5 y PM 10, respectivamente; las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 fueron más bajas que las medidas previamente en el mismo lugar debido a condiciones climáticas inusuales que ocurrieron durante el invierno de 2009, especialmente la disminución en el número de episodios de alta estabilidad atmosférica; estudiaron la contribución de las condiciones meteorológicas a los niveles de partículas submicrónicas (PM1), finas (PM 2.5) y gruesas (PM 10), demostrando que las tres fracciones de tamaño mostraron buenas correlaciones negativas con la velocidad del viento durante el invierno, lo que sugiere que el principal efecto de los vientos de la estación fría fue la dilución de los aerosoles atmosféricos, para la fracción gruesa, obtuvieron buenos coeficientes de correlación con la temperatura y la radiación solar (0.60 y 0.70 respectivamente) debido al comportamiento

estacional idéntico del material particulado grueso y estos parámetros durante el período de estudio (16).

En la investigación titulada: “Los análisis temporales y espaciales de partículas (PM 10 y PM 2.5) y su relación con parámetros meteorológicos sobre una ciudad urbana en el noreste de China”, donde analizaron estadísticamente las características temporales y espaciales de la materia particulada atmosférica (PM 10 y PM 2.5) y su relación con la meteorología sobre Shenyang, utilizando concentraciones de masa de PM promediadas por hora y diariamente medidas en 11 ubicaciones y parámetros meteorológicos de superficie, desde enero de 2014 hasta mayo de 2016; utilizaron datos promediados de 11 estaciones en Shenyang, la relación entre las concentraciones diarias de PM y los parámetros meteorológicos mostró variaciones tanto estacionales como anuales; en general, las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 se correlacionaron negativamente con la visibilidad atmosférica, con coeficientes de correlación (R) de 0.71 y 0.56 respectivamente; en la mayoría de las estaciones, las concentraciones de PM también exhibieron correlaciones negativas con la velocidad del viento, pero mostraron correlaciones positivas con la presión del aire, la temperatura del aire y la humedad relativa, la gran humedad relativa generalmente causó aumentos en las concentraciones de PM, pero no para PM 10 en primavera y verano (17).

En el conocimiento vertido en un artículo científico expuesto en un Simposio, se determinó que la contaminación atmosférica asociada al material particulado menor a 10 micras (PM 10) lecturado en tres puntos de la ciudad de Bucaramanga con las variables meteorológicas, realizaron la recolección de data de concentraciones en el horario de 10 de la mañana a las 3 de la tarde, los resultados demostraron que la concentración del PM10 presento una asociación directa con la temperatura y la velocidad del viento mientras que presento una asociación inversa con la radiación solar y la humedad relativa (18).

2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis

En la tesis titulada: “Impacto ambiental producido por la fabricación de ladrillos en el valle del Alto Mayo - San Martín”, se planteó determinar la concentración de material particulado ocasionado por la fabricación de ladrillos y el Impacto Ambiental que ocasiona al Medio Ambiente, concluyo que en los hornos de las ladrilleras se produjeron en promedio anualmente 6 620 unidades de ladrillos artesanales, calculado en un rango de 7 000 a 25 000 unidades de capacidad por horno por año, la principal materia prima combustible fue la leña y al carbón de piedra, cuya combustión generó los siguientes contaminantes atmosféricos: dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y material particulado de diversos tamaños de partícula, esto generó impactos ambientales moderados severos, e irrelevantes, siendo necesario aplicar una medida mitigadora, plantearon establecer políticas que involucren a la ciudadanía productora y a la instancia pública fiscalizadora y formadora, de modo que las acciones proponentes evidencien una minimización de los impactos negativos (19).

En la tesis titulada: “Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles”, se tuvo el objetivo de establecer medidas de control para reducir la contaminación atmosférica de la combustión y aumentar la eficiencia productiva en las ladrilleras artesanales de la ciudad de Cuenca, concluyeron que existieron pocas referencias acerca de las emisiones que generan las ladrilleras, lo cual dificulta la gestión de calidad del aire; uno de los principales contaminantes generados por la ladrillera fue el material particulado PM 10 compuestos por sulfuros hidrocarburos y cenizas, además determinaron que si la ignición se controlaba constantemente, las emisiones se mantendrían por debajo de los límites permisibles (20).

En la tesis titulada: “Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos carbonífero del departamento de César”, se tuvo como objetivo evaluar la efectividad de las medidas de manejo ambiental en la mitigación de los impactos generados por las emisiones de material particulado, sobre la calidad del aire en el área de influencia de los proyectos carboníferos de la Zona Centro del Departamento del César con el fin de establecer

oportunidades de mejora; evaluaron datos históricos de 5 años de mediciones, evidenciando que las medias geométricas, sobrepasaron los límites máximos permisibles $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, registrando pico de valor diario de $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, corroboró que las medias geométricas excedieron la norma en el primer trimestre del año y por el contrario las medias geométricas más bajas se dieron en los meses de mayo, agosto y octubre, respecto a las concentraciones de PM₁₀, el investigador observó, que era afectado por las condiciones meteorológicas, registrando picos altos en los meses más secos del año, los valores promedios de las concentraciones oscilaron entre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ manteniéndose por debajo de los límites permisibles (21).

En la tesis titulada: "Contaminación de la industria ladrillera en el distrito de San Agustín de Cajas, provincia de Huancayo", estimaron los riesgos causados por esta industria y proponer alternativas de solución, para reducir daños ocasionados al ambiente, así como a los seres humanos, plantas y animales, concluyeron que la actividad ladrillera utiliza una materia prima especial y de gran potencial contaminante al aire, agua y suelo, como lo son los residuos de caucho (llantas), aceite residual, residuos industriales y residuos orgánicos. Además determinaron que existe una gran exposición a contaminantes propio del proceso productivo, principalmente por el trabajo manual directo (frente a la salud de los productores), además de que el suelo y el aire tienden a mantenerse en desequilibrio constante por el inexistente control (22).

En la tesis titulada: "Producción artesanal de ladrillo en Coronado Municipio de Palmira (Valle de Cauca)", relacionada con la contaminación atmosférica y su posible impacto en la salud de las personas de la comuna I, identificaron la opinión pública sobre el impacto negativo que tiene la emisión de gases producidos por la industria ladrillera, ubicada en el barrio Coronado de la comuna uno de la ciudad de Palmira, con relación a la atmósfera y la salud de las personas que viven en zonas aledañas al sitio de producción, concluyeron que los habitantes de la zona en estudio mantienen una percepción negativa sobre la actividad artesanal ladrillera, sin embargo carecen de argumentos físicos, además evidenciaron un egocentrismo que limita tener conciencia del medio ambiente respecto del

cuidado del aire y de modo consideraron que se observa que no existen políticas de sostenibilidad, sumado a esto percibieron que las productoras artesanales de ladrillo mantienen un desinterés por la preservación del ambiente evidenciado por la inexistente política de responsabilidad social que permita mitigar impactos negativos (23).

En la investigación titulada: “Comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con la calidad de aire por material particulado PM 2.5, San Juan de Lurigancho - 2016”, se evaluó la relación de las variables metodológicas con la concentración del material particulado PM 2.5, en el distrito de San Juan de Lurigancho, la evaluación la realizó durante 30 días, concluyendo que no existe correlación entre la concentración del material particulado y las variables meteorológicas, sin embargo realizó monitoreo de mañana, tarde y noche, encontrando en las mañanas correlaciones inversas débiles entre la humedad y calidad del aire y correlaciones directas débiles entre la calidad del aire y velocidad del viento, en el caso de las tardes encontró correlaciones inversas débiles entre la temperatura y la calidad del aire y una correlación directa débil con la humedad y velocidad del viento, finalmente en los monitoreos de noche concluyó que existen una correlación directa débil entre temperatura y calidad del aire, así como una correlación inversa débil con la humedad relativa y velocidad del viento (24).

En la investigación titulada: “Influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de PST y PM 10 en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda”, se determinó la influencia de las condiciones meteorológicas (velocidad de viento, temperatura y precipitación) en la concentración de PST y PM10 generado en la dispensadora de combustible Montealegre; recolectaron los datos durante 2 meses, en época de lluvias, utilizando un muestreador HI-VOL; la concentración del PM 10 se presentó en intervalos de 16.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 47.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las condiciones meteorológica no presentaron influencia significativa con la concentración del PM 10, dado que la precipitación y la concentración del PM 10 presentaron una asociación negativa baja, lo mismo ocurrió con la velocidad del viento, mientras que con la temperatura la asociación fue positiva muy baja; finalmente determinaron que los

contaminantes de la zona de estudio son arrastrados por el viento desde el sur y se dirigen al norte de la ciudad (25).

En la investigación titulada: “Estudio integrado de factores que influyen sobre la contaminación atmosférica por material particulado respirable de Pudahuel”, se identificaron los factores que originan altos niveles de contaminación de PM 10 en Pudahuel, recopilaron y realizaron un análisis crítico del PM 10, el cual presentó un aumento de sus niveles entre abril y agosto, determinaron que la velocidad del viento en Pudahuel es cercano a 0 m/s, sin embargo horas de mayor contaminación las direcciones de viento en las estaciones de la red MACAM2 se dirigen hacia Pudahuel, por lo cual infirieron que existen emisiones locales que no fueron estudiadas, concluyeron que la velocidad y dirección del viento son factores determinantes para la concentración del PM 10 tanto en Pudahuel y en otras estaciones de monitoreo; demostraron estadísticamente que la velocidad de viento en Pudahuel tiene un patrón de comportamiento distinto al del resto de las estaciones durante episodios de tipo A, lo cual favorece el aumento de las concentraciones e impide la dispersión de las emisiones desde las fuentes cercanas, es decir velocidades muy bajas durante las horas de mayor concentración, asimismo demostraron que el aumento de las concentraciones de PM 10 también ocurre en otras estaciones de monitoreo, pero con menor intensidad lo cual justifica gestionar de manera distinta el problema de la contaminación por PM 10 en Pudahuel (26).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

2.2.1.1. La atmósfera

La atmósfera es la capa de gases que rodea la Tierra. Esta capa se retiene sobre el globo, por la acción de la gravedad de la tierra. La atmósfera es como un sobre que cubre la tierra. No tiene un

corte abrupto. No existe un límite definido entre la atmósfera y el espacio exterior. Poco a poco se vuelve más delgado y se desvanece en el espacio (27).

La atmósfera es responsable de (27):

- El calentamiento desigual de la superficie de la tierra por insolación.
- Diferentes zonas de calor.
- Variación de temperatura.
- Cambios en la presión atmosférica.
- Origen de los vientos.
- Formación de nubes, lluvia y nieve.

El clima es el estado de la atmósfera en términos de temperatura, viento, humedad y condiciones del cielo. El clima es el promedio de las condiciones climáticas (27).

La atmósfera tiende a controlar el clima por la alteración de la energía solar, siendo así un componente vital para el ambiente. Los aspectos de la atmósfera son el tiempo meteorológico (estados de cielo condicionados en cierto modo por el ciclo hidrológico) y el clima (ciclo característico anual del tiempo), conocer estos dos aspectos de la atmósfera ayudan al control de los contaminantes, así como la variabilidad en la productividad y aprovisionamiento de alimentos, entre otros (28).

2.2.1.2. Composición y estado físico de la atmósfera

a) Atmósfera baja:

La variación de temperatura con la altura define las diversas capas de la atmósfera. Las principales capas atmosféricas se muestran en la figura 01.

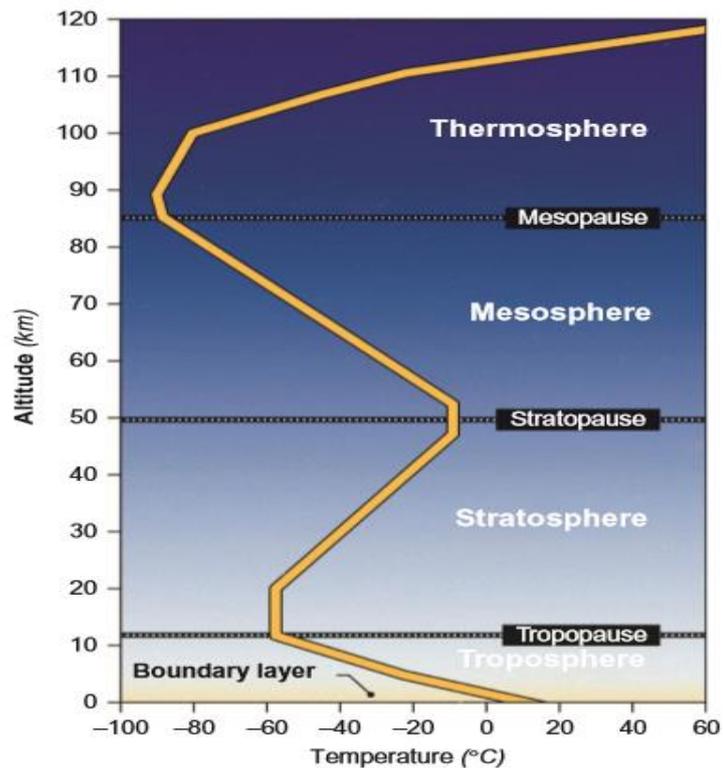


Figura 01. La estructura de la atmósfera definida por la variación promedio de la temperatura con la altitud.

Fuente: Brusseau *et. al.* (29).

La troposfera es la capa principal más baja. Dentro de la troposfera, la variación vertical de la temperatura se caracteriza por condiciones de tasa de caída; así, la troposfera es generalmente inestable y bien mezclada. La tropósfera se extiende hacia arriba desde la superficie hasta una altura de aproximadamente 10 km -15 km, dependiendo de la latitud y la estación del año. Además, la mayor parte del clima ocurre en la troposfera, incluida la formación de nubes, lluvia, vientos y otros procesos meteorológicos (29).

La tropopausa es el límite superior de la troposfera, que separa la troposfera de la estratosfera de arriba (29).

La capa límite atmosférico, que es una subcapa importante en la parte inferior de la troposfera forma la interfaz

atmosférica entre la troposfera y la superficie del suelo. En esta región de la atmósfera, los patrones de flujo de aire se ven fuertemente afectados por la flotabilidad (convección libre) y las fuerzas de corte superficial (convección forzada). Dentro de los primeros metros sobre la superficie del suelo, los gradientes verticales de temperatura del aire, velocidad del viento, humedad y otras cantidades escalares son a menudo grandes y variables con el tiempo. Estos gradientes se deben principalmente a la variabilidad temporal de los intercambios de energía e masa (por ejemplo, evaporación de agua) entre la superficie y la atmósfera. La profundidad de la capa límite varía a lo largo del día. A media tarde, el aire ascendente del suelo calentado puede extender la capa límite hasta la altura de 1 km. Esta altura a menudo se denomina profundidad de mezcla o capa mixta. Sin embargo, durante la noche, la atmósfera se enfría y el límite puede reducirse a un grosor de solo 0.1 km. La mayor parte del transporte y las transformaciones importantes de contaminantes atmosféricos ocurren dentro de la capa límite. Sin embargo, algunos gases químicamente estables se dispersan hacia arriba en gran parte de la troposfera (29).

En la parte inferior de la capa límite, directamente sobre la superficie de la tierra, hay una subcapa conocida como capa superficial. Esta subcapa generalmente se extiende hacia arriba hasta aproximadamente una décima parte de la capa límite. Las propiedades de la capa de superficie se ven más directamente afectadas por la rugosidad de la superficie y el intercambio de calor de la superficie. Los flujos de energía y masa son casi constantes con la altura en la capa superficial; así, esta subcapa se denomina la capa de flujo constante (29).

La atmósfera tiende a ser una mezcla de gases con presencia de partículas en suspensión, tal como se observa en la tabla 02.

Tabla 02. *Composición del aire puro seco en la atmósfera baja.*

Gases	Fórmula	Concentración (% en volumen)	Función ambiental
Activos			
Nitrógeno	N ₂	78.09	Indispensable para la vida como N.
Oxígeno	O ₂	20.95	Indispensable para la vida; químicamente activo.
Hidrogeno	H ₂	5 x 10 ⁻⁵	Importante en la química atmosférica.
Inertes			
Argón	Ar	0.93	Inerte.
Neón	Ne	1,8 x 10 ⁻³	Inerte.
Helio	He	5,2 x 10 ⁻⁴	Inerte, escapa de la corteza terrestre.
Variables			
Dióxido de carbono	CO ₂	3,6 x 10 ⁻²	Indispensable para la vida, ópticamente activo.
Ozono	O ₃	1,0 x 10 ⁻⁶	Toxico, óptica y químicamente activo.

Fuente: Hery y Heinke (28).

En la atmosfera baja, el aire se mueve normalmente sujeto a un equilibrio de fuerzas, lo cual para un movimiento uniforme, recto y sin fricción es expresado tal como se muestra a continuación (28):

$$2\omega \operatorname{sen}\phi\rho V_{\delta} = \frac{dp}{dn}$$

Donde:

- ω = velocidad de rotación de la Tierra (7.3×10^{-5} rad/s).
- ϕ = latitud.

- V_δ = velocidades del viento, paralela a las isobaras (líneas de presión constante en m/s).
- dp/dn = gradiente de presión (N/m^3).

b) **Atmósfera superior:**

La estratosfera es la capa estable (estratificada) de la atmósfera que se extiende desde la tropopausa hacia arriba hasta una altura de aproximadamente 50 km (figura 01). La estratosfera es altamente estable porque la temperatura del aire aumenta con la altura hasta la pausa, que es la altura de la inversión de temperatura. El aumento de la temperatura en esta capa se debe principalmente a la absorción de rayos UV por diversas especies químicas, incluido el ozono y el oxígeno molecular presentes en la estratosfera. El calentamiento máximo tiene lugar en la parte superior de la estratosfera. Debido al aire estable, la mezcla de contaminantes se suprime dentro de esta capa. Por lo tanto, los productos químicos naturales y sintéticos que llegan a la estratosfera desde la troposfera tienden a difundirse hacia arriba muy lentamente dentro de la estratosfera. El ozono se forma de forma natural y fotoquímica dentro de la estratosfera. El ozono se considera un contaminante en la troposfera, pero en la estratosfera es esencial para la vida en la tierra porque absorbe la radiación UV biológicamente dañina (29).

La mesosfera y la termosfera son dos capas atmosféricas adicionales sobre la estratosfera. Estas capas están en gran medida desacopladas de la estratosfera y la troposfera a continuación; por lo tanto, ejercen poca influencia en nuestro clima y en los procesos de transporte de contaminantes. Del mismo modo, la contaminación tiene poco o ningún efecto sobre estas dos capas superiores (29).

2.2.1.3. Fuentes contaminantes del aire

Las fuentes de contaminación del aire son dos: las naturales y las artificiales, esta clasificación se presenta en la figura 02.

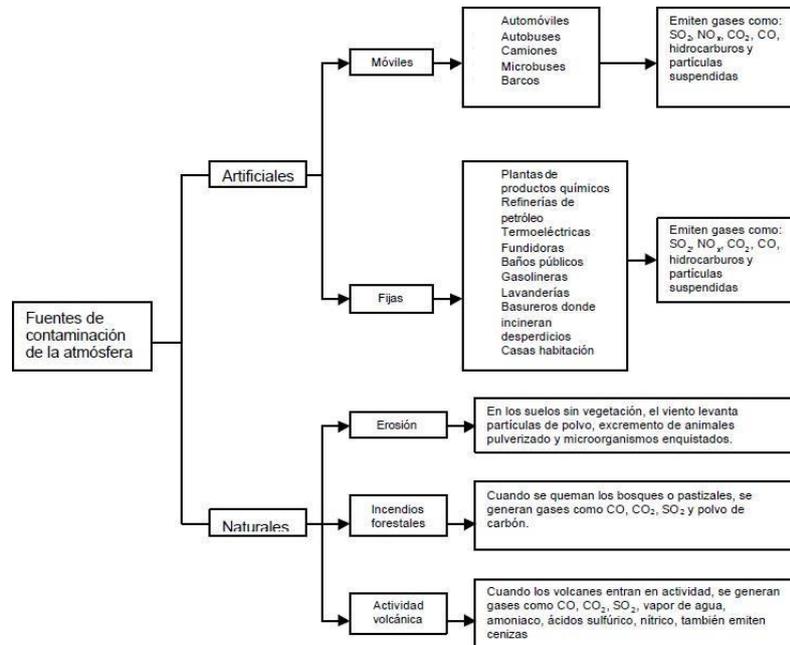


Figura 02. Clasificación de las fuentes de contaminación de la atmósfera.

Fuente: Inche (30).

Las fuentes naturales son: los compuestos liberados de actividades volcánicas como el humo negro, cenizas, metales, SO_x , CO_x y la liberación de metano de las regiones de permafrost en el hemisferio norte y humedales, incendios forestales, tormentas de polvo, rocío de mar y conversión del uso de la tierra y liberación de isoprenos y terpenos por el bosque (precursores del ozono de bajo nivel) (31).

Dentro de las fuentes artificiales se tiene:

- a) Fuentes: de generación de energía: aquí es donde se liberan CO_x y SO_x y vapor de agua en la atmósfera, ya que se utiliza una gran cantidad de carbón, petróleo, gas natural, gasolina y biocombustibles en la combustión (31).

- b) Transporte: esta es la principal fuente móvil de CO. La combustión en los motores se alimenta principalmente con gas, gasolina, diésel y queroseno. Los motores a reacción de las aeronaves subsónicas de largo alcance son la principal fuente de NO_x, el tráfico en carretera se considera como fuente no puntual o de línea, además de que los puertos y los motores de turbina de grandes barcos también emiten toneladas de gases de efecto invernadero y partículas tóxicas en el aire (31).

- c) Industria: la mayoría de las industrias dependen directa o indirectamente del combustible fósil, ya que producen CO y CO₂, hexafluoruro de azufre y partículas. Principalmente la industria del cemento libera gran cantidad de partículas en el medio ambiente. Existe una variedad de compuestos volátiles peligrosos que se liberan de pinturas, productos electrónicos, limpieza en seco, agentes reductores. Además, la utilización de HFC, óxidos de nitrógeno, PFC y SF₆ produce contaminantes (31).

- d) Hogares: aquí se puede considerar la emisión de carbón y hollín durante la cocción mediante el uso de combustibles fósiles. Los tóxicos volátiles, como los compuestos de permetrina de los insecticidas, pueden contaminar el aire o incluso los alimentos y provocar la intoxicación (31).

- e) Prácticas agrícolas: las actividades agrícolas como el uso de fertilizantes naturales liberan gases de efecto invernadero. Los pesticidas liberan contaminantes orgánicos persistentes (POP). La fermentación entérica en la ganadería produce gases de efecto invernadero principalmente metano. Los químicos tóxicos encontrados en pesticidas y herbicidas también reducen la calidad del aire inhalado (31).

- f) Minería de tierras, actividad de movimiento de tierras y canteras: proceso de extracción de grandes depósitos minerales en la tierra acompañado de emisión de polvo y otros productos químicos. La voladura, la extracción de piedra caliza en la fabricación de cemento produce partículas de polvo (31).

- g) Trabajos de construcción y reparación: las actividades de perforación, voladura, transporte, carga y descarga a menudo provocan la generación de polvo. Además, hay varias fuentes antropogénicas no puntuales relacionadas con la generación de polvo, como soldadura, pintura, reparación de automóviles, etc. (31).

- h) Quema de residuos e incineradores: esta es una amenaza más grave para el medio ambiente, ya que contamina la atmósfera con contaminantes orgánicos persistentes (COP) como las dioxinas, los furanos, probablemente las principales fuentes son los plásticos y los desechos electrónicos. Además, como en la combustión normal, el carbono se emite como óxidos y hollín. Los desechos se encuentran en una amplia gama, como plásticos, desechos electrónicos, polvo de cemento, productos químicos industriales, papel, vidrio, acero y diversos derivados de minerales del suelo, desechos biológicos y medicinales, drogas y otros productos químicos. Los incineradores destruyen el efecto peligroso de cualquier gas o partícula y la emisión de polvo restante podría ser tan pequeña como PM 2.5 - PM 10, a menos que se usen filtros de partículas correctos, también terminará con resultados adversos (31).

Complementariamente a ello, se tienen focos de emisión de contaminantes que tienden a ser puntuales y que mayoritariamente (%) son generadas por fuentes naturales, sin embargo, aquello dependería en gran modo de las actividades

realizadas en lugares específicos de estudio, donde, probablemente, se tengan mayores focos de emisión de tipo antropogénico. Lo descrito anteriormente se observa en detalle en la tabla 03.

Tabla 03. *Focos de emisión de contaminantes.*

Contaminantes	Antropogénicos (%)	Naturales (%)
Aerosoles	11.3	88.7
SO _x	42.9	57.3
CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.4

Fuente: Inche (30).

2.2.1.4. Efectos de la contaminación del aire por material particulado

Los aerosoles son una colección de partículas suspendidas sólidas y líquidas de todas las formas, tamaños y composiciones en el aire. Las condiciones brumosas y la visibilidad reducida son el resultado de altas concentraciones de material particulado (PM). Hay dos tipos de fuentes de material particulado (32):

- PM primario, partículas emitidas directamente de fuentes tales como polvo, rocío marino y volcánico y minero (32).
- PM secundario, formado a partir de la condensación de gases en la atmósfera, produciendo partículas como sulfato y aerosol orgánico (32).

Una clasificación más detallada de las fuentes de material particulado se observa en la figura 03.



Figura 03. Clasificación de las fuentes de material particulado.

Fuente: Silva (33).

Tanto las PM primarias como las secundarias tienen fuentes biogénicas y antropogénicas. Las PM secundarias se crean en la atmósfera cuando los ácidos, las bases y los COV se unen para formar un grupo sostenido por fuerzas intermoleculares débiles. La formación de estos grupos es reversible, ya que pueden disociarse. Cuando el grupo alcanza un tamaño crítico, típicamente alrededor de unos pocos nanómetros de diámetro, una partícula se nuclea y forma una nanopartícula. La nanopartícula puede crecer por aglomeración con otras partículas y/o por condensación de otros vapores en la nanopartícula existente. Las partículas se clasifican según su tamaño y se miden según su número, área de superficie y volumen de partículas, las partículas más grandes, típicamente partículas primarias, forman el modo grueso. Las partículas con diámetros inferiores a 10 μm y 2.5 μm se designan como PM 10 y PM 2.5, respectivamente. Estas categorías de tamaño son importantes para evaluar los impactos en la salud. De hecho, PM 2.5, que constituye la mayoría de la acumulación de PM, ha conocido graves efectos sobre la salud al causar estrés oxidativo en los pulmones, lo que lleva a una variedad de enfermedades relacionadas con los pulmones y complicaciones cardiovasculares, además de que pueden permanecer alojadas durante años o ser absorbidas por el torrente sanguíneo (32).

El material particulado tiende a generalizarse como un desequilibrante en el ambiente por su capacidad de transporte; mientras haya un movimiento generado por el aire de manera constante, las partículas representarán una tendencia a dejar rastros fuera de su fuente de generación, abarcando un área de influencia mayor respecto de su repercusión perjudicial; mantiene relación con la normativa nacional, que el material particulado los cuales son considerados como los de mayor potencial de perjuicio en la salud humana y al equilibrio ecosistémico (33).

2.2.1.5. Dispersión de contaminantes en la atmósfera

La concentración y el transporte de contaminantes varían en escalas espaciales y temporales dependiendo de las fuentes de contaminantes, las condiciones meteorológicas predominantes y las características topográficas en los alrededores. El viento (movimiento horizontal causado por la variación de la presión atmosférica, evidenciada en velocidad del viento. A mayor velocidad, menor será la concentración del contaminante), estabilidad atmosférica (movimiento vertical manifestado por el fenómeno de inversión térmica), la lluvia, la temperatura del aire, precipitación, radiación solar y la humedad relativa son de gran importancia para el transporte y la dispersión de contaminantes (34).

El transporte de contaminantes del aire es enorme impulsado por fenómenos climáticos, los movimientos del aire vertical junto con los vientos predominantes diluyen y dispersan las partículas y gases emitidos por cualquier fuente (35).

2.2.2. Fundamentos metodológicos de la investigación

2.2.2.1. Valores del Índice de la Calidad de Aire (ICA)

El Índice de Calidad del Aire se elabora sobre la base de información de calidad del aire que se genera en las zonas de atención prioritaria (36).

De acuerdo a los estándares de calidad ambiental para aire, el Índice de Calidad del Aire presenta valores óptimos comprendidos entre 0 y 100; dividiéndose en 4 categorías, las cuales se presentan en la tabla 4 (36).

Tabla 04. *Valores del Índice de Calidad del Aire.*

Calificación	Valores	Colores
Buena	0 a 50	Verde
Moderada	51 a 100	Amarillo
Mala	101 a valor umbral del estado de cuidado	Anaranjado
Umbral de cuidado	Mayor al umbral del estado de cuidado	Rojo

Fuente: Ministerio del Ambiente (36).

A partir del nivel del umbral de cuidado se aplica los Niveles de Estados de Alerta Nacionales por parte de la autoridad de Salud (36).

El Índice de Calidad del Aire (ICA) se calcula tomando como referencia los valores de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire (ECA aire) y como rango final el valor umbral de aplicación de los Niveles de Estados de Alerta (36).

Para determinar el Índice de Calidad del Aire por cada contaminante se relaciona los valores de la concentración del contaminante y su valor del ECA. Para el caso del material PM 10, la ecuación para hallar su Índice de Calidad del Aire y el intervalo de concentraciones se muestran en la tabla 05.

Tabla 05. *Cálculo del Índice de Calidad del Aire.*

Material particulado (PM10) promedio 24 horas		
Intervalo del Índice de Calidad del Aire	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0 - 50	0 - 75	$I(\text{PM10}) = [\text{PM10}] \times \frac{100}{150}$
51 - 100	76 - 150	
101 - 167	151 - 250	
> 167	> 250	

Fuente: Ministerio del Ambiente (36).

2.2.2.2. Área de influencia directa e indirecta

El área de influencia directa (AID) se define como el entorno del proyecto que se encuentra fuera del área del proyecto general y se extiende desde sus límites hasta una determinada distancia. Esta área debe incluirse en el análisis ambiental y deben elaborarse mapas para el estudio de impacto ambiental (37).

Existen algunos criterios para delimitar el área de influencia directa los cuales son (38):

- Impacto en el factor suelo y sobre los usos del suelo, en el lugar de operación y áreas auxiliares.
- Impacto directo sobre los ecosistemas (nichos ecológicos y formaciones vegetales).
- Emisión de PM y ruido generado en el lugar de operación.
- Riesgos de salud o integridad física a la población colindante.

El área de influencia indirecta (AII) corresponde al área fuera de la influencia directa pero donde los efectos de la actividad, trabajo o proyecto son detectables. Su extensión depende de los efectos ambientales específicos y, a su vez, de los impactos ambientales y sociales del proyecto (37).

2.2.2.3. Dispersión de contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos, son parte de los fenómenos a nivel del aire que no se pueden controlar, ni tampoco pueden ser llevados como réplicas a escala a laboratorio (39).

Los modelos matemáticos de la calidad del aire utilizan técnicas numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan los contaminantes del aire a medida que se dispersan y reaccionan en la atmósfera. Con base en los datos meteorológicos y la información de origen, como las tasas de emisión de contaminantes, estos modelos están diseñados para caracterizar contaminantes primarios que se emiten directamente a la atmósfera y, en algunos casos, contaminantes secundarios que se forman como resultado de productos químicos complejos y reacciones físicas dentro de la atmósfera (40).

El modelado de dispersión atmosférica es la simulación matemática de la dispersión de contaminantes en la atmósfera ambiental, se utilizan para estimar o predecir la concentración a favor del viento de contaminantes del aire emitido por fuentes como plantas industriales (encontrándose focos contaminantes, de carácter puntual, lineal o superficial) y tráfico de vehículos, es por esto que se considera como herramienta de los estudios de impacto ambiental (40).

Los modelos de dispersión requieren entrada de datos que incluyen (40):

- Condiciones meteorológicas como la velocidad y dirección del viento, la cantidad de turbulencia atmosférica, temperatura ambiente y altura de la capa de inversión que caracterizan la llamada altura de mezcla.
- Parámetros de emisiones, como la ubicación y altura de la fuente, el diámetro de la pila y la velocidad de salida, la temperatura de salida y el caudal másico.

- Elevaciones del terreno en la ubicación de origen y en la ubicación del receptor.
- La ubicación, altura y ancho de cualquier obstrucción (como edificios u otras estructuras) a lo largo del camino de la columna de gas emitida.
- Muchos de los programas modernos y avanzados de modelado de dispersión incluyen un módulo de preprocesador para datos meteorológicos y de otro tipo, y también un módulo de pos procesador para graficar los datos de salida y/o graficar el área afectada por los contaminantes del aire.

Los tipos de modelos de dispersión de contaminantes son los siguientes (39):

- Básico (que incluye al modelo físico y al matemático).
- Escala espacial de aplicación.
- Escala temporal.
- Matemático puro - ecuaciones de transporte.
- Según su tratamiento.
- Según su fin (de regulación, de apoyo, de información o de investigación científica).

La relación de la escala del modelo de dispersión con el tipo de estudio se presenta a continuación.

Tabla 06. *Correlación entre los tipos de estudio y el fenómeno de dispersión de contaminantes atmosféricos.*

Tipo de dispersión	Escala del fenómeno de dispersión			
	Global	Regional a continental	Local a regional	Local
Cambio climático	X			
Depleción de capa de ozono	X	X		
O ₃ troposférico		X		
Acidificación		X		

Eutrofización	X		
Smogs fotoquímico	X	X	
Contaminantes tóxicos	X	X	X
Calidad de aire urbano		X	
Contaminantes industriales		X	X
Emergencias nucleares	X	X	X
Emergencias químicas	X	X	X

Fuente: Torres (39).

2.2.2.4. Muestreador de alto volumen para el material particulado

La metodología para la recolección y determinación de masa de partículas es bastante simple. El aire se aspira a través de una entrada de tamaño selectivo y a través de algún tipo de medio filtrante. Las partículas con diámetros aerodinámicos inferiores al punto de corte de la entrada se recogen en el medio filtrante. La masa de estas partículas está determinada por la diferencia en el peso del filtro antes y después del muestreo. La concentración de partículas suspendidas en el rango de tamaño designado se calcula dividiendo la ganancia de peso del filtro por el volumen del aire muestreado (41).

Hay muchos fabricantes de una variedad de muestreadores de partículas que van desde dosímetros individuales hasta unidades continuas totalmente automatizadas. Independientemente del tipo de muestra, todos tienen en común una entrada de tamaño selectivo, un filtro u otro mecanismo para atrapar las partículas y un medio para extraer aire a través del sistema. El método principal para PM 10 utiliza un muestreador que extrae aire a través de un filtro de 20.3 cm x 25.4 cm a una velocidad de flujo que generalmente es de 1 132 L/min. Esto se conoce como un muestreador de alto volumen y a menudo se utiliza cuando se realiza un análisis químico de las partículas atrapadas o para mantener un registro continuo (41).

Los muestreadores de aire de alto volumen Thermo Scientific™ están diseñados para cumplir con los estándares de referencia internacionales y de la EPA de los Estados Unidos (42).

Disponibles como sistema de control de flujo volumétrico o de masa, el muestreador de aire de alto volumen se puede configurar para la medición de partículas en el aire para PM 10, PM 2.5 o Partículas Suspensas Totales (TSP). Los muestreadores de aire de alto volumen que utilizan control de flujo másico (MFC) son capaces de realizar mediciones continuas de 24 horas de PM 2.5; PM 10 o TSP para muestreo en interiores o exteriores; cuentan con un motor de alta velocidad, un refugio duradero para todo clima y componentes electrónicos resistentes para un muestreo preciso, están respaldados por un refugio protector que garantiza que la superficie del filtro descansa en una posición horizontal, este diseño aerodinámico permite la recolección de partículas para PM 2.5, PM 10 o TSP (42).



Figura 04. Muestreador de alto volumen Thermo Scientific High-Volume Air Samplers, serie P942.

Fuente: Thermo Scientific, cotejo de empleo de equipo propio.

2.2.2.5. Cálculo de la concentración de material particulado

Según el método para la determinación de material particulado PM 10 en la atmósfera, el cálculo de la concentración del PM 10 se realiza tras la aplicación de las siguientes fórmulas (43):

$$Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left(\frac{T_{ref}}{P_{ref}} \right) \quad [1]$$

Donde:

- Q_{ref} : flujo promedio a condiciones de referencia, m³/min.
- Q_a : flujo promedio a condiciones ambientales, m³/min.
- P_{av} : presión barométrica durante el periodo de muestreo, kPa.
- T_{av} : temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo, K.
- T_{ref} : temperatura estándar, definida = 298 K.
- P_{ref} : presión de referencia, definida = 101.3 kPa.

$$V_{ref} = Q_{ref} * t \quad [2]$$

Donde:

- V_{ref} : aire total muestreado en unidades de volumen, m³.
- t : Tiempo de muestreo, min.

$$PM_{10} = (W_f - W_i) \left(\frac{10^6}{V_{ref}} \right) \quad [3]$$

Donde:

- PM 10: concentración másica de PM 10, µg/m³.
- W_f : peso final del filtro recolector de PM 10.
- W_i : peso inicial del filtro recolector de PM 10.
- 10⁶: factor de conversión, g → µg.

2.3. Definición de términos

- Ambiente: el complejo de factores físicos, químicos y bióticos que actúan sobre organismos y comunidades individuales, incluidos los humanos, y finalmente determinan su forma y supervivencia (44).

- Área de influencia: espacio físico ocupado por componentes de un proyecto, de forma temporalmente o permanente; espacio colindante donde un factor ambiental puede verse afectado por las actividades realizadas (37).
- Aspecto ambiental: se refiere a las interacciones específicas que las operaciones de una compañía tienen con el entorno ambiental (45).
- Calidad ambiental: es una medida de la condición de un ambiente en relación con los requisitos de una o más especies y / o cualquier propósito humano necesario (46).
- Contaminante: sustancia que está, o puede estar presente en el ambiente (agua, aire y suelo) en una concentración que excede su concentración segura (35).
- Contaminante criterio: Contaminantes provenientes de una fuente identificable y se sabe o se sospecha que son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente, seis contaminantes están designados como contaminantes de criterio: PM 10 y PM 2.5; ozono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y plomo (47).
- Dispersión de contaminantes: transporte de contaminantes aéreos en la atmósfera exterior después de ser emitidos desde las fuentes (48).
- Emisión: se da al describir los gases y partículas que se emiten en el aire por diversas fuentes (49).
- Escenario de riesgo por contaminación: lugar donde interactúan diversos factores de riesgo en un determinado tiempo, herramienta esencial para la evaluación de riesgos, la gestión y las comunicaciones (38).
- Estándar de Calidad Ambiental (ECA): son límites legalmente vinculantes y se traducen en concentraciones de sustancias individuales, establece umbrales de concentración por debajo de los cuales, no se produce ningún impacto adverso en el medio, y que tiene en cuenta explícitamente la dilución disponible en diferentes lugares de descarga (50).
- Exposición: intermediación a agentes peligrosos o contacto con agentes físicos, químicos y biológicos que afecten o alteren los organismos o los recursos (38).
- Flujo continuo: estandarización respecto de los flujos ideales y reales que en campo se pretenden muestrear y que dieron cabida, en relación al análisis de un caudal de aire que pasa por celdas transversales propia del muestreador y considerando condiciones ambientales apropiadas, al valor del flujo volumétrico estandarizado (41).

- Flujo volumétrico: flujo que transcurre por un medio o sección transversal en un período de tiempo dado, calculado a partir de un valor promedio acorde al registro de flujo continuo considerando lo siguiente: exactitud, precisión, incertidumbre y un error relativo (41).
- Fuente fija: van desde grandes instalaciones de fabricación industrial hasta ubicaciones residenciales o comerciales más pequeñas y distribuidas, tiene por característica que genera las emisiones siempre en un mismo lugar (35).
- Inventario de emisiones: herramienta importante para identificar la fuente de contaminantes y la expresión cuantitativa de la carga de contaminación en un área definida en un momento determinado (49).
- Muestreo: proceso o técnica usado en análisis estadísticos para recolectar información de una proporción representativa de una población, la cual será sometida a análisis y ensayos (49).
- Partícula: Cualquier materia, sólida o líquida, con un diámetro inferior a 500 micrómetros (μm) (51).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

3.1.1.1. Método general de la investigación

Se tiene que el método general de la investigación permite identificar y analizar las diversas características o cualidades del objeto de estudio mediante un enfoque que abarca la elección de un método que se acomode adecuadamente al estudio (52).

Para la presente, y en relación al nivel y tipo de investigación, el método teórico utilizado fue el inductivo (basado en la exploración y descripción del problema, para luego generar perspectivas teóricas) e hipotético de corte mixto, por tratar a la información desde el punto de vista específico e inicial respecto del problema de contaminación del aire, numérica y cualitativamente en el sector ladrillero artesanal en estudio, sumado a ello el análisis del Índice de Calidad del Aire para así comprobar alguna de las aseveraciones tentativas, o hipótesis, planteadas inicialmente (53).

3.1.1.2. Método específico de la investigación

En relación al método general planteado, el método específico de la investigación que más se adecua a la presente es el método observacional de corte no experimental (acorde al diseño de la investigación). Para analizar adecuadamente al fenómeno de estudio (objeto) es preciso de asimilar su naturaleza mediante el acto de observar, ya sea en campo como lo desarrollado en la investigación, o de manera más estructurada como lo es en investigaciones de laboratorio (52).

El proceso metodológico que se siguió en específico fue el siguiente:

- a. Se determinó el área de potencial estudio mediante revisión bibliográfica, juicio y opinión de expertos (docentes UC) y accesibilidad según lo estipulado por el protocolo de muestreo de calidad del aire. Según el acápite selección de parámetros a monitorear del protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos, uno de los contaminantes o parámetros de la calidad de aire a monitorear es el material particulado denominado como respirable, es decir, de un diámetro menor a 10 μm , por ende, uno de los requerimientos de la investigación de lograr resultados representativos (49).
- b. Se formularon los problemas de investigación, así como los objetivos y las hipótesis.
- c. Se procedió a realizar el cotejo de información primaria y secundaria en gabinete.
- d. Se confeccionaron los instrumentos de recolección de datos (cadena de custodia y lista de cotejo de datos) (ver anexo 02).
- e. Según el protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos se realizaron el siguiente procedimiento (49):

- Selección de escalas de monitoreo: en función de lo propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) se dividen en: microescala, escala media, local, urbana, regional y nacional. Respecto de la investigación se seleccionó la escala local que hace referencia a un área con suelo uniforme que evidencie una dimensión de 0.5 km a 4.0 km.
- Determinación de representatividad: mantiene una relación con la escala de monitoreo escogida. Para la escala local, el monitoreo reunió objetivos representativos propiamente relacionados con la calidad del aire en el área de influencia directa e indirecta.
- Selección de parámetros a monitorear: se eligió al material particulado debido a que se genera en grandes cantidades, al usar leña como combustible en las ladrilleras (fuente fija).
- Determinación de los puntos de medición: determinados en función a la ubicación y localización de los hornos de las ladrilleras en Cullpa Baja (ver anexo 07) presentados en la tabla 07.

Tabla 07. *Cuadro de datos técnicos de la localización de los hornos de las ladrilleras de Cullpa Baja.*

Cuadro de datos técnicos (WGS-84)			
Punto	Este	Norte	Dirección
1	478235	8670988	N
2	478147	8671052	SO
3	478134	8671080	SO
4	478121	8671095	O
5	478097	8671126	NO
6	478142	8671124	NO
7	478169	8671151	N
8	478220	8671140	NE
9	478053	8671167	NO

10	478029	8671207	NO
11	478228	8671199	NO
12	478279	8671212	NO
13	478332	8671233	NO
14	478362	8671208	E
15	478403	8671266	NE
16	478263	8671270	N
17	478457	8671241	N
18	478465	8671278	NE
19	478403	8671225	NE
20	478418	8671217	NE
21	478466	8671225	N
22	478371	8671261	NE
23	478269	8671180	O
24	478250	8671104	E
25	478200	8670936	O

Fuente: elaboración propia.

Para la designación de los puntos de monitoreo se considerando las variables meteorológicas del contexto de estudio, en sentido del barlovento y sotavento, se asignaron 04 puntos de muestreo, debido a que se monitorearon áreas asociadas a actividades productivas, tomando en cuenta la dispersión de los contaminantes y las áreas de exposición potencial de la población, tal como se ve en los anexos 06 y 07 (se cotejaron las vías apropiadas de accesibilidad a los puntos de muestreo según las coordenadas señaladas). Asimismo, los puntos de monitoreo se realizaron en las azoteas de 4 viviendas, cumpliendo lo dispuesto por el protocolo, que dispone que los equipos de monitoreo se localicen de 1.5 m a 4 m sobre el suelo, considerando que la medición está orientada a la calidad del aire que se respira. Se utilizó el equipo GPS para determinar los parámetros de ubicación geográfica de los puntos seleccionados, los resultados por puntos son los siguientes (complementados con la cadena de custodia - instrumento de recolección de datos anexo)

en fotografía, formato y registro de manera de que evidencie un control de calidad adecuado:

- Punto 01 de control de monitoreo: Estación CA - 01:
 - Punto ubicado en la azotea del hogar de la familia Nuñez Santos.
 - Datos geográficos: Coordenadas UTM: N: 8671095; E: 0478189. Altitud: 3382 msnm. Zona: 18 S. Datum: WGS 84.

- Punto 02 de control de monitoreo: Estación CA - 02:
 - Punto ubicado en la azotea del hogar de la familia Camasi.
 - Datos geográficos: Coordenadas UTM: N: 8671191; E: 0478303. Altitud: 3313 msnm. Zona: 18 S. Datum: WGS 84.

- Punto 03 de control de monitoreo: Estación CA - 03:
 - Punto ubicado en la azotea del hogar de la familia Romero.
 - Datos geográficos: Coordenadas UTM: N: 8671206; E: 0478485. Altitud: 3386 msnm. Zona: 18 S. Datum: WGS 84.

- Punto 04 de control de monitoreo: Estación CA - 04:
 - Punto ubicado en la azotea del hogar de la familia Sauñi Espíritu.
 - Datos geográficos: Coordenadas UTM: N: 8670931; E: 0478249. Altitud: 3312 msnm. Zona: 18 S. Datum: WGS 84.



Figura 05. Evidencias fotográficas de los muestreadores de alto volumen en la Comunidad de Cullpa Baja.

Fuente: propia.

- Requisitos técnicos: se evitó fuentes de emisión industrial o de gran afluencia automotriz manteniendo al menos a una distancia de 20 metros, se asumió una altura de 4 metros sobre el nivel del piso, asegurando un adecuado acceso al lugar de medición, además de seguridad, materiales y suministro eléctrico (se establecieron convenios apropiados entre los propietarios -señalados oportunamente- de los hogares que fueron empleados como puntos de monitoreo del material particulado).
- Método de medición: para el caso del material particulado, se usó un muestreador activo de alta volumen -Hi-Vol- (Thermo Scientific High-Volume Air Samplers, serie P942), que recolectó físicamente al contaminante mediante un filtro, evidenciando selectividad, especificidad, sensibilidad, exactitud, precisión y calibración (ver anexo 08) en el monitoreo propiamente dicho; durante la medición se rellenó la cadena de custodia (Ver anexo 03) y la lista de cotejo (ver anexo 05).
- Selección de los factores de operación: se seleccionó el factor manual gravimétrico, el cual requirió de un muestro por 24 horas continuas, además del requerimiento de filtros por muestra tomada.

- Frecuencia de monitoreo: las concentraciones se midieron durante 24 horas equivalentes a realizar lecturas individuales consecutivas y significativas a corto plazo, de manera que la cuantificación sea confiable.
- Variabilidad meteorológica: basándose en la metodología de los investigadores Tecer *et. al.* (14) y Li *et. al.* (54) quienes utilizaron información meteorológica de observatorios meteorológicos gubernamentales, además se tomó como base la información de López (55) que cita que la OMM considera que la red de estaciones meteorológicas deben estar convenientemente distribuidas, para que observen, midan y/o registran las diferentes variables, fenómenos y elementos atmosféricos que son necesarios en el conocimiento y la determinación del estado del tiempo y el clima de una región, asimismo, por ende, el radio de acción de estas estaciones comprendidas se muestran en la tabla 08.

Tabla 08. *Parámetros medios para una red mínima funcional de estaciones meteorológicas.*

Tipo	Distancia media (km)	Radio de acción (km)
Climatología principal y agrometeorología	150	75
Climatología ordinaria	50	25
Pluviométrica	25	13

Fuente: elaboración propia.

Basándose en la información de la tabla 08 y que las estaciones meteorológicas de la región son del tipo de climatología principal, asimismo, cabe mencionar que la orografía define el aspecto físico y climatológico del lugar, incidiendo sobre el comportamiento de las variables meteorológicas, en caso de un terreno

complejo la densidad de red disminuye entre 4 a 6 veces por debajo de la propuesta de la OMM, tal como se muestra en la tabla 09.

Tabla 09. *Parámetros medios para una red mínima funcional de estaciones meteorológicas en terrenos montañosos.*

Tipo	Distancia media (km)	Radio de acción (km)
Climatología principal y agrometeorología	20 - 30	10 - 15
Climatología ordinaria	12	6
Meteorología especial	6	3
Pluviométrica	6	3

Fuente: elaboración propia.

Es importante anotar que, en las estaciones del primer grupo, tanto la distancia entre ellas como su radio de acción obedecen más al tipo de instrumental y el número de variables observadas que a la posibilidad de tener una mayor cobertura sobre el comportamiento de los parámetros. En la presente investigación la estación meteorológica Santa Ana está dentro del rango del radio de acción, al encontrarse a una distancia de 2 kilómetros de los puntos de monitoreo, siendo la estación más cercana a la zona de investigación y fue con la cual se pudo trabajar monitoreando los factores meteorológicos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, factores que inciden en la calidad del aire, cabe mencionar que la estabilidad atmosférica no se consideró debido a que el desarrollo de la investigación solo se enmarco en los 3 factores mencionados, no pudiendo ampliar los factores a investigar por no contar con los datos respectivos.

- f. Se enviaron las muestras recolectadas a su análisis en laboratorio, de modo que se guarde representatividad se realizó propiamente una cadena de custodia (ver anexo 11) de modo que se cotejen las condiciones de campo y se refleje consistencia tras el análisis de los filtros respecto de su peso final. Las muestras que fueron enviadas al laboratorio mantuvieron el aseguramiento de preservación de calidad adecuado, así como en todo momento fueron etiquetadas y reportadas adecuadamente en la cadena de custodia empleada.
- g. Se calculó la concentración de material particulado (PM 10) para cada punto objeto de estudio. La concentración fue calculada mediante la aplicación de fórmulas propias de un entorno de Norma Técnica respetando las consideraciones necesarias de representatividad de la toma de muestras, así como las unidades respectivas y de comparación con la normatividad. Para el cálculo de la concentración de material particulado se tomó en cuenta el flujo volumétrico expresado en m^3/min (dato valedero y asignado por defecto desde el punto de vista analítico) y el de registro de flujo continuo, detallado en el informe de calibración del instrumento.
- h. Se comparó la concentración calculada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire vigentes al momento de la realización del monitoreo, de modo que se evidencien congruencias.
- i. Se cotejaron todas las evidencias objetivas del caso que sostengan las afirmaciones señaladas en los acápites de la presente investigación.
- j. Se llegó a conclusiones y recomendaciones asertivas del proceso de investigación científica.

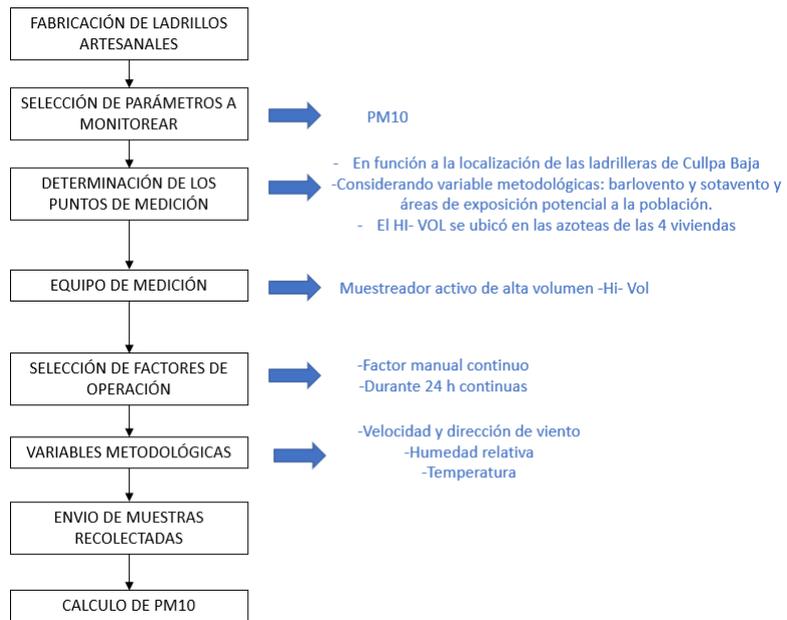


Figura 06. Esquema metodológico de la investigación.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es descriptivo, el cual describe un fenómeno y sus características, en el contexto de estudio se describen la contaminación generada por las ladrilleras. Presentando herramientas de observación y encuestas que se utilizan para recopilar datos (56). Es decir, se midió y recogió datos de las variables meteorológicas y los pesos de los filtros utilizados en el muestreador activo de alta volumen -Hi-Vol-. Este tipo de investigación demuestra con precisión los ángulos o dimensiones de las variables meteorológicas.

3.1.3. Nivel de la investigación

Al tener un primer abordaje del problema de investigación en el contexto en estudio, el nivel apropiado de la investigación es el exploratorio (52). Más allá de explicar el porqué de la calidad del aire afectada por la actividad artesanal, se buscó puntualmente determinar, cualitativamente,

dicho nivel, el cual no se evidencia como ya existente en el contexto de estudio local ni regional hasta la fecha de análisis de la presente, de modo que sea un punto de partida para otras investigaciones complementarias (correlacionales o explicativas) que abarquen alternativas de solución del problema investigado.

3.2. Diseño de la investigación

En el proceso de la investigación, el diseño de ésta tiene el propósito de encaminar el cumplimiento de los objetivos de estudio, es decir, dar una vía para responder a las preguntas de investigación de una manera adecuada dentro del punto de vista metodológico (53). El tipo de diseño de la investigación que más se acomoda a la presente es el no experimental de corte transversal, es decir, no se buscó la manipulación de la esencia de las variables de estudio para determinar relaciones, además de que se recolectaron datos en un momento en específico acorde a lo propuesto técnicamente por los fundamentos metodológicos de la investigación, acorde al nivel exploratorio del estudio; el diseño estadístico corresponde a un modelo donde la concentración del PM 10 determinada en campo acarreará el objeto de estudio que es la calidad del aire, de modo que su presentación también se relacionó con el nivel de investigación, así como con el entorno no experimental, es decir, no buscando una relación a través del tiempo, mas solo en un solo momento específico acorde a lo exploratorio (nivel) del aporte científico de la investigación.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población en la presente investigación concierne al volumen de aire monitoreado en la estación meteorológica Santa Ana (112170) y en las estaciones de monitoreo de calidad de aire.

3.3.2. Muestra

La muestra en la investigación fue no probabilística o dirigida, elegida según lo requerido por los fundamentos técnicos y metodológicos del estudio, por ende, para determinar un sentido de comprensión profunda del ambiente y el problema de investigación se determinó que la muestra fuese la misma que la población siendo el volumen de aire monitoreado en la estación meteorológica Santa Ana (112170) y en las 4 estaciones de monitoreo de calidad de aire. Dichas estaciones de monitoreo se determinaron tomando en cuenta la cantidad y distribución de los hornos presentes en el contexto de estudio, las condiciones físicas del medio, data meteorológica, representatividad en función de la generación y dispersión de PM10 y su potencial afección a la población circundante, y según el protocolo, lugares que evidencien representatividad técnica: altura respecto del suelo, distancia adecuada a la fuente de emisión y accesibilidad (área y recursos eléctricos).

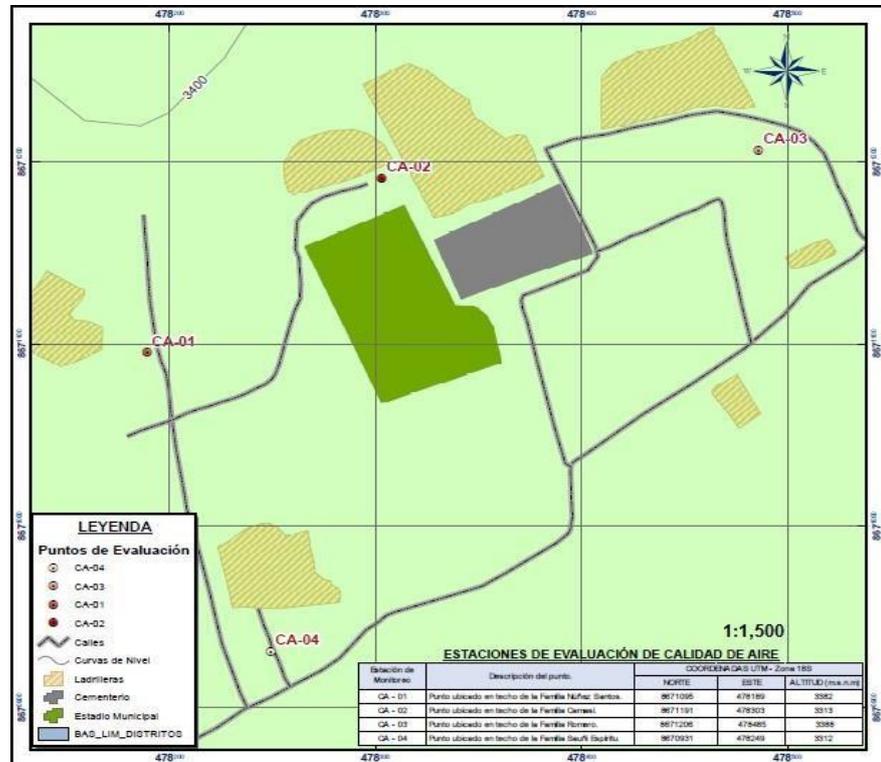


Figura 07. Puntos de monitoreo establecidos en la investigación.

Fuente: elaboración propia mediante un sistema de información geográfica.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas adecuadas para la recolección de datos utilizadas en la investigación fueron las siguientes (52):

- La observación: la cual mantuvo una forma o formato acorde a la observación estructurada, además de que fue directamente participante y propiamente en campo; dicha técnica se ve complementada por los instrumentos de recolección de datos que derivan como tal en el acápite siguiente del presente capítulo.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos propuestos en la investigación, acorde a las técnicas correspondientes a la observación anteriormente expuestas, fueron los siguientes:

- Lista de cotejo N° 01: denominada consideraciones sobre las condiciones físicas del lugar de estudio: Comunidad Campesina de Cullpa Baja (ver anexos 04 y 05), mediante la cual se procedió a identificar, delimitar y catalogar lo presente en campo durante el tiempo de muestreo por cada punto asignado.
- Lista de cotejo N° 02: denominada cadena de custodia (ver anexos 02, 03 y 11), la cual garantizó que el muestreo realizado del material particulado en campo sea el óptimo y refleje significancia en su análisis.
- Data sobre información meteorológica (ver anexo 14) la cual fue proporcionada, en fondo, por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú a razón de la solicitud enviada a la representante de la Dirección Zonal 11 - Junín, la Ingeniera Adam Ramos Cadillo (ver anexo 13). Se eligió la dirección zonal 11 por cuestión de representatividad (distancia) de la Estación Experimental de Santa Ana, para que de ese modo se pueda realizar el análisis de la dispersión del material particulado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Cálculo de la concentración del material particulado

Para la determinación de la concentración del material particulado PM10 propiamente, se procedió con el monitoreo ambiental de la calidad de aire siguiendo las especificaciones del protocolo, para ello se utilizó el muestreador de alto volumen, denominado Hi-Vol como recurso tecnológico, el cual mantuvo las consideraciones de calidad y validez en óptimas condiciones (ver anexo 08).

Los resultados presentados de parte del laboratorio V&S Lab E.I.R.L se encuentran en el informe de ensayo N°0417-208-EH, que detalla los pesos iniciales y finales de los filtros utilizados en el muestreador de alto volumen en cada punto de muestreo, asimismo, dichos datos se encuentran registrados en la tabla 10.

Tabla 10. *Pesos iniciales y finales de los filtros usados en el muestreador de alto volumen.*

Puntos	Peso inicial	Peso final
CA-01	2.7022 g/filtro	2.9344 g/filtro
CA-02	2.6807 g/filtro	2.9396 g/filtro

CA-03	2.6949 g/filtro	2.9193 g/filtro
CA-04	2.7225 g/filtro	2.9426 g/filtro

Fuente: elaboración propia.

Los pesos de los filtros presentados en la tabla 10 fueron utilizados para el cálculo propiamente de la concentración del material particulado, lo cual, se realizó siguiendo las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. El cálculo se realizó aplicando las siguientes formulas:

$$Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left(\frac{T_{ref}}{P_{ref}} \right) \quad [1]$$

Para el cálculo del flujo promedio de aire (Q_{ref}) para los puntos de selección de muestreo, se tuvo en cuenta un flujo promedio estándar a condiciones ambientales (Q_a) proporcionado por el certificado de calibración del equipo:

$$Q_a = 1.13 \text{ m}^3/\text{min}$$

La presión barométrica (P_{av}) y la temperatura en promedio llevado a unidades Kelvin (T_{av}) durante el periodo de muestreo, fueron obtenidos en base al reporte de la estación Santa Ana del SENAMHI; la temperatura de referencia (T_{ref}) y presión de referencia (P_{ref}) por defecto fueron valores predeterminados propuestos por la información bibliográfica desde el punto de vista metodológico por ende tomaron los siguientes valores:

$$T_{ref} = 298 \text{ K}$$

$$P_{ref} = 101.3 \text{ kPa}$$

Una vez obtenido el flujo promedio de aire (Q_{ref}) se aplicó la siguiente formula:

$$V_{ref} = Q_{ref} * t \quad [2]$$

Para el cálculo del volumen total de aire muestreado (V_{ref}) se multiplicaron los valores del flujo promedio de aire calculado anteriormente por el tiempo o período muestreado equivalente a 24 horas en minutos (1440 min).

Finalmente se aplicó la formula [3] para obtener la concentración de material particulado:

$$PM10 = (W_f - W_i) \left(\frac{10^6}{V_{ref}} \right) \quad [3]$$

Para el cálculo de la concentración del material particulado (PM 10) por puntos se necesitaron los datos, diferencialmente, del peso inicial (W_i) y final (W_f) de los filtros utilizados y analizados en el laboratorio, además de un factor de conversión a microgramos (10^{-6}), equivalente a la sexta potencia, de modo que exista coherencia en el cálculo, para luego dividir dicho valor entre el valor del volumen total de aire muestreado previamente calculado; se llegaron a calcular los siguientes valores (ver anexo 15 para evidenciar al detalle los cálculos por punto).

Tabla 11. *Concentración de material particulado por punto de monitoreo muestreado.*

Punto	Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CA-01	198.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CA-02	220.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CA-03	191.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CA-04	188.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fuente: elaboración propia.

Tras ello se procedió a la comparación con los valores del Estándar de Calidad de Aire que menciona un límite de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el material particulado (PM10) para el análisis sobre 24 horas, el cual no debe de exceder 03 veces al año según el D.S. 074-2001-PCM (6); es oportuno aclarar que, ya vigente otra normativa respecto de los estándares de calidad del aire para el año 2017 (equivalente a la defensa de la tesis), D.S.: 003-2017- MINAM (57) el valor límite pasó a ser $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el análisis sobre 24 horas, el cual no debe de exceder 07 veces al año, sin embargo este valor fue establecido posterior a la medición realizada, lo cual evidencia que es oportuno el realizar investigaciones posteriores que manifiesten nuevos análisis y resultados complementarios en marco de un inventario de emisiones.

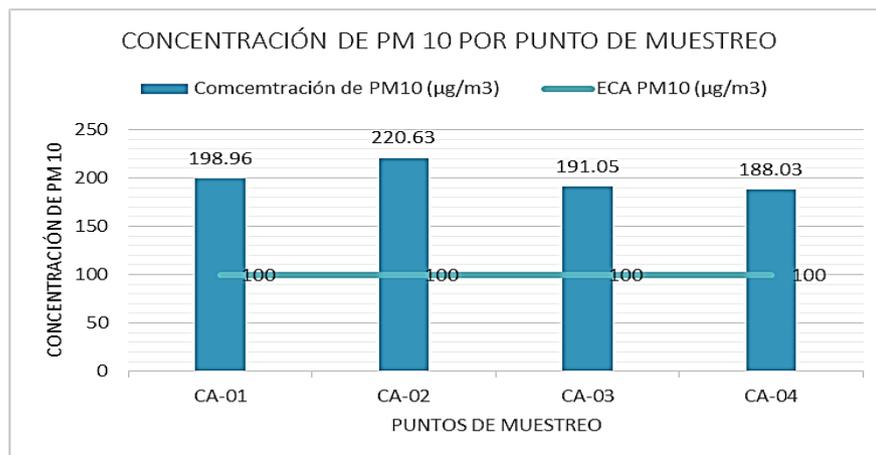


Figura 08. Diagrama que reporta los valores alcanzados tras el cálculo de la concentración del material particulado (PM 10).

Fuente: elaboración propia.

En la figura 08 se observa que las concentraciones de material particulado (PM 10) registrados en los 04 puntos de muestreo, sobrepasan el Estándar de Calidad Ambiental para PM 10, siendo el punto de muestreo CA-02 en el tejado del hogar de la familia Camasi, el que registra una mayor concentración de PM10 de 220.63 µg/m³.

Tabla 12. Evidencia de la comparativa de las mediciones realizadas con la normativa actual de la calidad del aire.

Valor de los Estándares de Calidad Ambiental para aire	Decisión
ECA anterior D.S. 074-2001-PCM	Análisis de 24 horas: sobrepasan el valor calculado; Exceden más de 03 veces al año <> Existe escenario de contaminación ambiental (calidad del aire; PM10).
ECA actual D.S: 003-2017- MINAM	Análisis de 24 horas: sobrepasan el valor calculado; De posibilidad respecto de exceder más de 07 veces al año (Recomendaciones de la Tesis) <> Riesgo de escenario de contaminación ambiental (calidad del aire; PM10).

Fuente: elaboración propia.

Según lo expuesto en la tabla 12 y en base a la figura 08 es posible afirmar que existe un escenario de contaminación ambiental respecto de la generación de material particulado a causa de la actividad ladrillera artesanal en el lugar de estudio desde el punto de vista comparativo, de interacción y cuantitativo (ver anexo 06 y 07).

4.1.2. Cálculo del Índice de Calidad del Aire para PM 10

Considerando las concentraciones de PM 10 para cada punto de monitoreo, presentados en la tabla 11 y aplicando la siguiente ecuación, se halló el Índice de Calidad del Aire tal como se muestra en la tabla 13.

$$I(PM10) = [PM10] \times \frac{100}{150}$$

Tabla 13. *Índice de Calidad del Aire para el material particulado por punto de monitoreo muestreado.*

Punto	Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Índice de Calidad del Aire	Intervalo del Índice de Calidad del Aire	Calificación
CA-01	198.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	132.64		
CA-02	220.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	147.09	101 - 167	Mala
CA-03	191.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	127.37		
CA-04	188.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125.35		

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los valores del Índice de Calidad del Aire para el PM 10 se determina que la calidad del aire en el sector de las ladrilleras en Cullpa Baja es mala.

4.1.3. Temperatura atmosférica en el área de estudio

Los datos de las temperaturas atmosféricas fueron obtenidos de la base de datos de la estación experimental Santa Ana, administrado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENHAMI), tal como se muestra en los anexos 13 y 14.

a. Punto CA-01:

Las temperaturas atmosféricas registradas desde las 12:00 p.m. del día 06 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 07 de abril del 2017 en el punto CA-01, se detallan en la figura 09.



Figura 09. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-01.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

En la figura 09 se observa que en el punto CA-01 la temperatura atmosférica alcanzó un máximo valor de 16.5 °C a las 5:00 p.m. del día 06 de abril del 2017, mientras que la mínima temperatura registrada fue 7.6 °C el día 07 de abril del 2017 a las 7:00 a.m. La temperatura promedio en el punto CA-01 fue de 11.7 °C.

b. Punto CA-02:

En el punto CA-02 se registraron las temperaturas atmosféricas desde las 12:00 p.m. del día 07 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 08 de abril del 2017; las temperaturas fueron tabuladas en la figura 10.



Figura 10. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-02.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

La mayor temperatura atmosférica registrada en el punto CA-02 fue 17.9 °C a las 4:00 p.m. del día 07 de abril del 2017, mientras que la mínima temperatura registrada fue 6.1 °C el día 08 de abril del 2017 a las 5:00 a.m.; el promedio de todas las temperaturas atmosféricas registradas en el punto CA-02 fue de 11.2 °C.

c. Punto CA-03:

Las temperaturas atmosféricas en el punto CA-03 se registraron desde las 12:00 p.m. del día 08 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 09 de abril del 2017, estos datos se tabularon en un diagrama de barras, tal como se muestra a continuación.



Figura 11. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-03.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

De acuerdo a los presentado en la figura 11, la mayor temperatura atmosférica registrada en el punto CA-03, fue a las 3:00 p.m. del día 08 de abril del 2017, siendo 19.2 °C, mientras que la mínima temperatura se registró a las 7:00 a.m. el día 09 de abril del 2017, siendo 4.7 °C; finalmente la temperatura promedio en este punto de muestreo fue de 10.8 °C.

d. Punto CA-04:

En el último punto de muestreo CA-04 las temperaturas atmosféricas se registraron desde las 12:00 p.m. del día 09 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 10 de abril del 2017, tal como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Temperatura atmosférica registrada durante 24 horas en el punto de muestreo CA-04.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

Según las temperaturas atmosféricas tabuladas en la figura 12, la mayor temperatura atmosférica registrada en el punto CA-04, fue 18.7 °C registrado a las 4:00 p.m. del día 09 de abril del 2017, mientras que la mínima temperatura atmosférica fue 7.1 °C registrada a las 6:00 a.m. el día 10 de abril del 2017; finalmente la temperatura promedio en el punto CA-04 fue de 11.7 °C.

Hallando un promedio de las temperaturas registradas en cada punto de monitoreo se presentó la relación de temperatura y calidad de aire producido por PM 10, tal como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. *Relación de temperatura y la calidad del aire.*

Punto	Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Índice de Calidad del Aire	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Calificación
CA-01	198.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	132.64	11.7	Mala
CA-02	220.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	147.09	11.2	
CA-03	191.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	127.37	10.8	
CA-04	188.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125.35	11.7	

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Velocidad del viento en el área de estudio

Al igual que la temperatura atmosférica los datos de velocidad del viento en el área de estudio fueron obtenidos de la base de datos de la estación experimental Santa Ana, tal como se muestra en los anexos 13 y 14.

a. Punto CA-01:

La velocidad del viento en promedio fue de 0.5 m/s, teniendo un máximo de 1.3 m/s, registrado a las 3:00 p.m. y 4:00 p.m. del día 06 de abril del 2017 y a las 11:00 a.m. del día 07 de abril del 2017; mientras se registró un mínimo de 0 m/s a las 7:00 p.m., 8:00 p.m. y 9:00 p.m. del 06 de abril del 2017 y a las 12:00 a.m. hasta las 2:00 a.m., 4:00 a.m. y de 6:00 a.m. hasta las 8:00 a.m. del día 07 de abril del 2017. Los vientos predominantes fueron registrados desde el SE con 16.67 % de vientos predominantes y 58.33 % con vientos en calma, tal como se muestra en la figura 13.

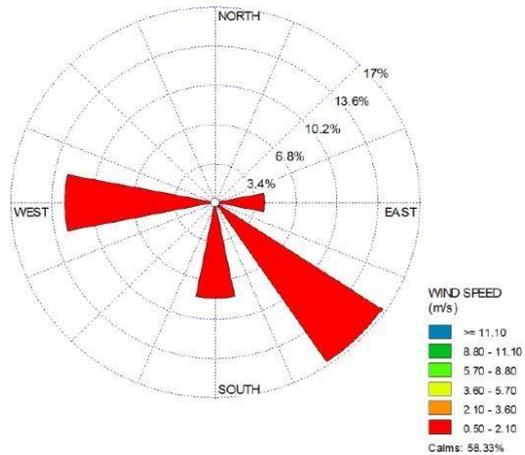


Figura 13. Rosa de vientos del punto CA-01.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana y procesada en el programa WindRose PRO3.

b. Punto CA-02:

La velocidad del viento en promedio fue de 0.7 m/s, teniendo un máximo de 2.2 m/s registrado a las 2:00 p.m. del día 07 de abril del 2017; mientras se registró un mínimo de 0 m/s a las 12:00 a.m., de 3:00 a.m., 3:00 a.m. y a las 8:00 a.m. del día 08 de abril del 2017. Los vientos predominantes fueron registrados desde el N con 12.5 % en vientos predominantes y 58.33 % con vientos en calma, según lo expuesto en la figura 14.

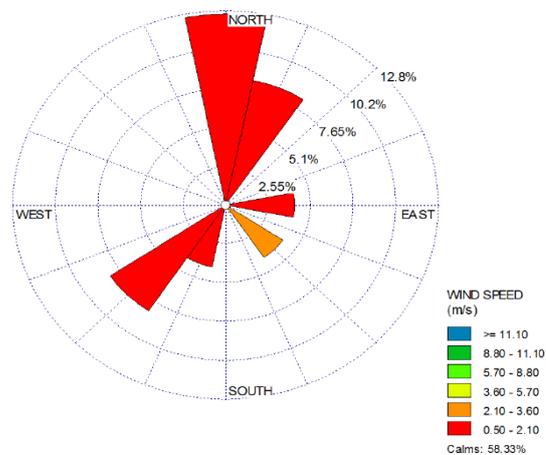


Figura 14. Rosa de vientos del punto CA-02.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana y procesada en el programa WindRose PRO3.

c. Punto CA-03:

La velocidad del viento en promedio fue de 1.0 m/s, teniendo un máximo de 3.1 m/s registrado a las 5:00 p.m. del día 08 de abril del 2017; mientras se registró un mínimo de 0 m/s, desde la 1:00 a.m. hasta las 4:00 a.m. del día 09 de abril del 2017. En la figura 15 se observa que los vientos predominantes fueron registrados desde el E y SE con 12.5 % en vientos predominantes y 37.5 % con vientos en calma.

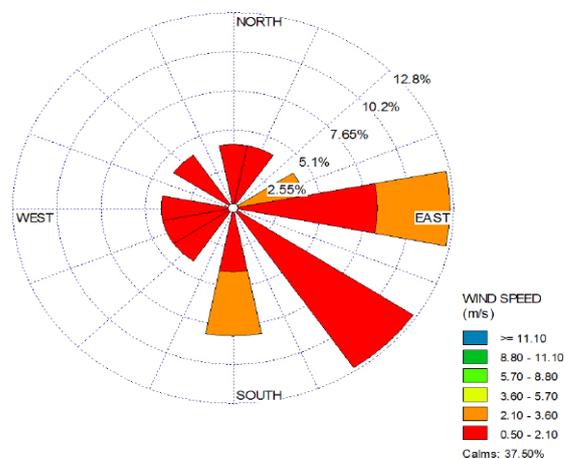


Figura 15. Rosa de vientos del punto CA-03.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana y procesada en el programa WindRose PRO3.

d. Punto CA-04:

La velocidad del viento en promedio fue de 0.9 m/s, teniendo un máximo de 2.7 m/s registrado a las 6:00 p.m. del día 09 de abril del 2017; mientras se registró un mínimo de 0 m/s desde las 2:00 a.m. hasta las 3:00 a.m. y a las 7:00 a.m. del día 10 de abril del 2017. Según la figura 16, los vientos predominantes fueron registrados desde el NE con 16.67 % en vientos predominantes y 50 % con vientos en calma.

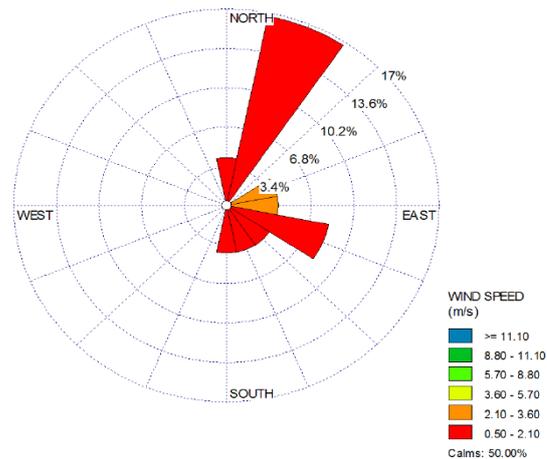


Figura 16. Rosa de vientos del punto CA-04.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana y procesada en el programa WindRose PRO3.

A continuación, en la tabla 15, se presenta la relación de la velocidad de viento y el índice de la calidad de aire, asimismo, se presenta la dirección del viento por cada punto de monitoreo.

Tabla 15. Relación de la velocidad del viento y la calidad del aire.

Punto	Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Índice de Calidad del Aire	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento	Calificación
CA-01	198.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	132.64	0.5	Sur este	Mala
CA-02	220.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	147.09	0.7	norte	
CA-03	191.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	127.37	1.0	Este y sur este	
CA-04	188.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125.35	0.9	Noreste	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 15 se observa que en el punto de monitoreo CA-02 se registró una gran concentración de PM10, que fue propagado por los vientos provenientes del norte los cuales dispersaron los contaminantes de las ladrilleras número 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 23; asimismo, en el punto de monitoreo CA-04 la concentración de PM 10 fue menor, por ende, el Índice de Calidad del Aire también fue menor en comparación a los otros puntos de monitoreo, la dirección del viento fue del noreste dispersando los contaminantes de las

ladrilleras 1, 2, 10 y 25. En el caso de los puntos monitoreo de CA-01 y CA-03 se registraron concentraciones de PM 10 de 198.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 191.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, en el punto de monitoreo CA-01 la dirección del viento que predominó fue del sur este, dispersando los contaminantes de las ladrilleras 3, 9, 24 y 8 y finalmente en el punto de monitoreo CA-03 la dirección de los vientos fue del este y sur este.

4.1.5. Humedad relativa del área de estudio

Al igual que la temperatura atmosférica y la velocidad del viento, los datos de humedad relativa en el área de estudio fueron obtenidos de la base de datos de la estación experimental Santa Ana, tal como se muestra en el anexo 13 y 14.

a. Punto CA-01:

La humedad relativa registrada en el punto CA-01, desde las 12:00 p.m. del día 06 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 07 de abril del 2017 se encuentra tabulada en la figura 17.

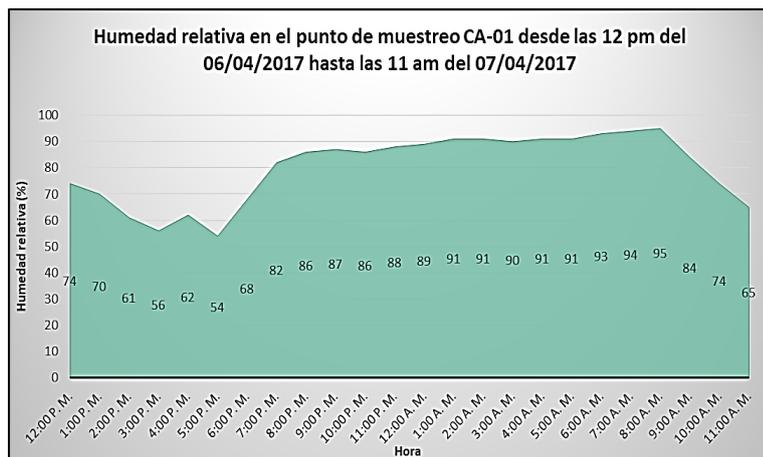


Figura 17. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-01.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

Según la figura 17, la humedad relativa registró un máximo de 95 % (a las 8:00 a.m. del día 07 de abril del 2017) y un mínimo de 54 % (a las 5:00 p.m. del día 06 de abril del 2017), mientras que la humedad relativa promedio fue de 80.08 %.

b. Punto CA-02:

La humedad relativa registrada en el punto CA-02, desde las 12:00 p.m. del día 07 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 08 de abril del 2017 se encuentra tabulada en la figura 18.

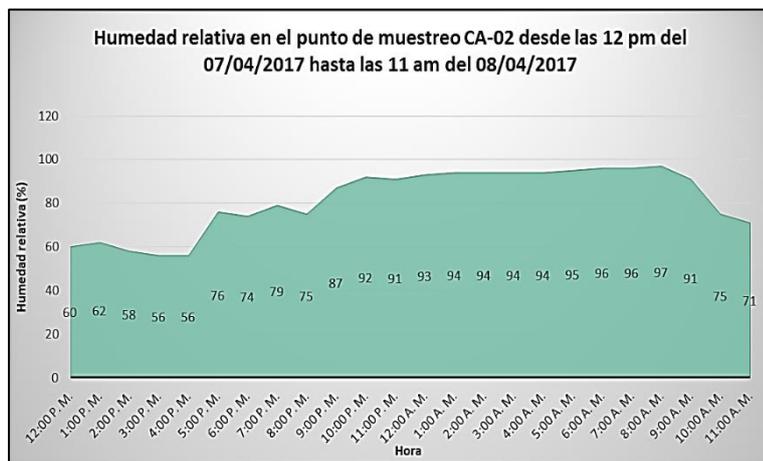


Figura 18. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-02.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

Según la figura 18, la humedad relativa registró un máximo de 97 % (a las 8:00 a.m. del día 08 de abril del 2017) y un mínimo de 56 % (a las 4:00 p.m. y 5:00 p.m. del día 07 de abril del 2017), mientras que la humedad relativa promedio fue de 81.5 %.

c. Punto CA-03:

La humedad relativa registrada en el punto CA-03, desde las 12:00 p.m. del día 08 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 09 de abril del 2017 se encuentra tabulada en la figura 19.

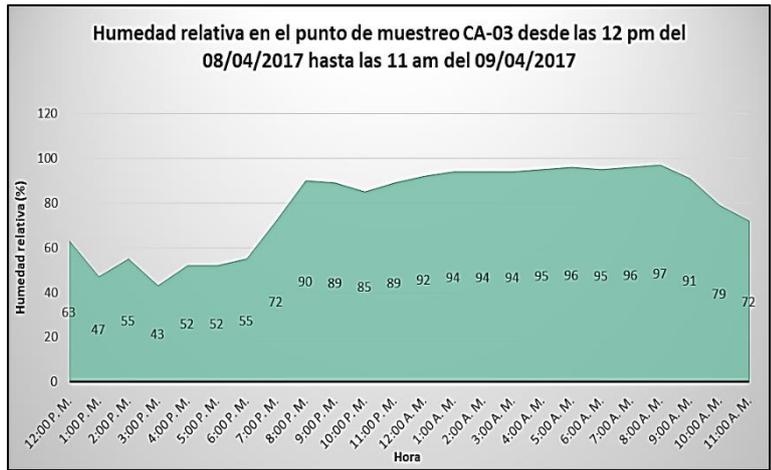


Figura 19. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-03.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

Según la figura 19, la humedad relativa registró un máximo de 97 % (a las 8:00 a.m. del día 09 de abril del 2017) y un mínimo de 43 % (a las 3:00 p.m. del día 08 de abril del 2017), mientras que la humedad relativa promedio fue de 78.6 %.

d. Punto CA-04:

La humedad relativa registrada en el punto CA-03, desde las 12:00 p.m. del día 09 de abril del 2017 hasta las 11:00 a.m. del día 10 de abril del 2017 se encuentra tabulada en la figura 19.

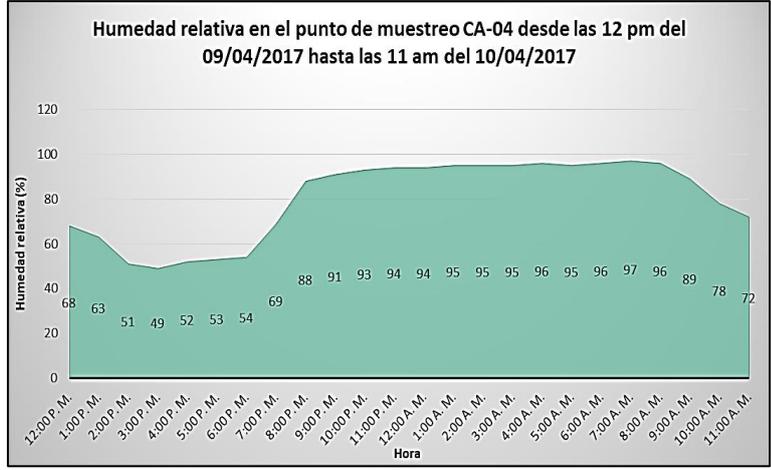


Figura 20. Humedad relativa en el punto de muestreo CA-04.

Fuente: Data meteorológica proporcionada por la Estación Santa Ana.

Según la figura 29, la humedad relativa registró un máximo de 97 % (a las 7:00 a.m. del día 10 de abril del 2017) y un mínimo de 49 % (a las 3:00 p.m. del día 09 de abril del 2017), mientras que la humedad relativa promedio fue de 80.1 %

En la tabla 16 se presenta el promedio de la humedad relativa por cada punto de monitoreo y su relación con la calidad del aire.

Tabla 16. *Relación de la humedad relativa y la calidad del aire.*

Punto	Concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Índice de Calidad del Aire	Humedad relativa (%)	Calificación
CA-01	198.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	132.64	80.08	Mala
CA-02	220.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	147.09	81.50	
CA-03	191.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	127.37	78.60	
CA-04	188.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125.35	80.10	

Fuente: elaboración propia.

4.2. Prueba de hipótesis

Para la determinación y validez de los supuestos o hipótesis planteadas en la investigación, se realizó la prueba de hipótesis estadística, considerando los siguientes parámetros: hipótesis de investigación, hipótesis nula, hipótesis alternativa, estadístico de prueba, región, valor crítico y nivel de significancia, el desarrollo de las pruebas estadísticas se realizó en el programa SPSS. Los resultados utilizados en el contraste de las hipótesis son los presentados en la tabla 17.

Tabla 17. *Índice de calidad (PM 10) y factores meteorológicos por punto de muestreo.*

Punto	I (PM10)	T (°C)	V (m/s)	Hum. r. %
CA-01	132.64	11.7	0.5	80.08
CA-02	147.09	11.2	0.7	81.5
CA-03	127.37	10.8	1.0	78.6
CA-04	125.35	11.7	0.9	80.1

Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Hipótesis específicas

- Primera hipótesis específica:

H₁: La concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 supera el ECA (100 µg/m³).

H₀: La concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 no supera el ECA (100 µg/m³).

La contrastación de la primera hipótesis específica se desarrolló con la prueba t para una muestra con un nivel de confianza del 95 %, presentando los resultados en la tabla 18.

Tabla 18. *Prueba de t para una muestra para la primera hipótesis específica.*

Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 100 µg/m ³						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95 % de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración de PM 10	13.54	3	0.001	99.667	76.252	123.082

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Cabe mencionar que para afirmar o rechazar las hipótesis se toma en cuenta la probabilidad de la prueba (Sig.), si el valor de Sig. es mayor a la significancia (Sig. > 0.05) se acepta la hipótesis nula, mientras que si el valor de Sig. es menor al nivel de significancia (Sig. < 0.05) se acepta la hipótesis alterna.

De acuerdo a lo presentado en la tabla 16 el valor de Sig. es de 0.001 al ser menor al nivel de significancia se aceptó la hipótesis alterna.

- Inferencia:

La muestra presenta evidencias suficientes para afirmar que la concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 supera el Estándar de Calidad Ambiental ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con un nivel de confianza del 95 %.

• Segunda hipótesis específica:

H_1 : Existe una relación significativa entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

H_0 : No existe una relación significativa entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

- Prueba de normalidad:

En primera instancia se realizó una prueba de normalidad para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y temperatura, con la prueba de Shapiro-Wilk (estadístico escogido por tener un número de datos menor a 50), tomando en cuenta un nivel de confianza del 95 %, por lo tanto, se tiene un nivel de significancia (α) del $0.05 = 5\%$.

Para la prueba de normalidad se tomó en cuenta las siguientes hipótesis:

H₀: Los datos de la variable tienen distribución normal.

H₁: Los datos de la variable no tienen distribución normal.

Cabe mencionar que para afirmar o rechazar las hipótesis se toma en cuenta la probabilidad de la prueba (Sig.), si el valor de Sig. es mayor a la significancia (Sig. > 0.05) se acepta la hipótesis nula, mientras que si el valor de Sig. es menor al nivel de significancia (Sig. < 0.05) se acepta la hipótesis alterna.

Los resultados después del análisis estadístico se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. *Prueba de normalidad para la segunda hipótesis específica.*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índice de Calidad del Aire para PM10	0.269	4	.	0.866	4	0.283
Temperatura	0.399	4	.	0.761	4	0.049

Fuente: elaboración propia con SPSS.

El Índice de Calidad del Aire para PM 10 tiene un Sig. de 0.283, al ser mayor al nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula, infiriendo que tiene distribución normal. La variable temperatura tiene un Sig. de 0.049, al ser menor al nivel de significancia, se acepta la hipótesis alterna, infiriendo que no tiene distribución normal.

Para corroborar lo expuesto en la tabla 19 se realizó gráficos Cuantil-Cuantil presentados en la figura 21.

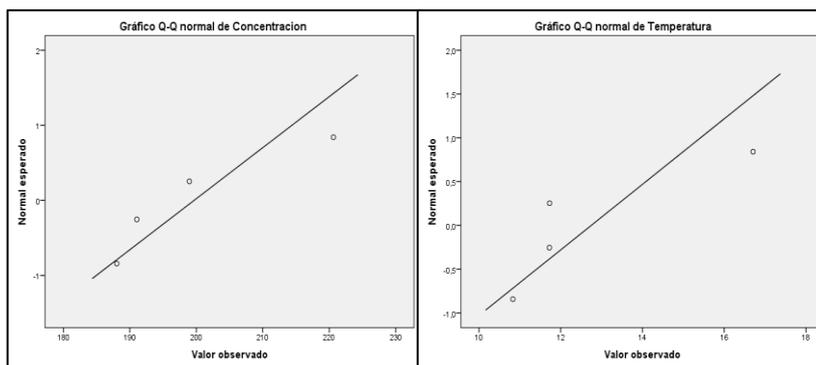


Figura 21. Gráfico cuantil-cuantil para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y temperatura.

Fuente: elaboración propia con SPSS.

En la figura 21 se observa gráficos cuantil-cuantil donde se aprecia cuan cerca está la distribución del conjunto de datos para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y temperatura a alguna distribución ideal, en el gráfico Q-Q normal para la concentración de PM 10 se observa que los puntos se encuentran cerca a la recta $y = x$, en este caso se infiere que la distribución teórica se acerca a la distribución empírica; en el caso del gráfico Q-Q normal para la temperatura se observa un datos que se aleja de la recta $y = x$ por lo cual se infiere que la los cuantiles de los datos están alejados de la distribución teórica, demostrando que no siguen una distribución normal (58).

- Contrastación de la segunda hipótesis:

Al determinar que la variable temperatura es no normal, se realizó la prueba de correlación de Spearman (no paramétrica), presentando los resultados en la tabla 20.

Tabla 20. Prueba de correlación de R_{H0} de Spearman para la segunda hipótesis específica.

Correlaciones R_{H0} de Spearman

		Índice de Calidad del Aire para PM 10	Temperatura
Índice de Calidad del Aire para PM 10	Coeficiente de correlación	1.000	0.400
	Sig. (bilateral)	.	0.600
	N	4	4
Temperatura	Coeficiente de correlación	0.400	1.000
	Sig. (bilateral)	0.600	.
	N	4	4

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La probabilidad de la prueba (Sig.) es 0.6 al ser mayor al nivel de significancia se acepta la hipótesis nula (no hay correlación).

- Inferencia:

La muestra presenta evidencias suficientes para afirmar que no existe una correlación significativa entre la variación de temperatura y el Índice de Calidad del Aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017, a un nivel de confianza del 95 %. Cabe mencionar que el coeficiente de correlación de Spearman presenta un rango desde -1 hasta +1, en el caso de que el coeficiente de correlación sea próximo a +1 se afirma que existe una fuerte asociación positiva entre las dos variables, caso contrario si el coeficiente de correlación es cercano a -1 se infiere que existe una fuerte asociación negativa entre las variables, mientras si el coeficiente de correlación es de 0 se infiere que no existe asociación (53). En base a lo afirmado y al valor del coeficiente de correlación de Spearman presentado en la tabla 20, que es de 0.4, se concluye que existe una asociación positiva débil entre la variación de temperatura y el Índice de Calidad del Aire para PM 10.

- Tercera hipótesis específica:

H₁: Existe una relación significativa entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

H₀: No existe una relación significativa entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

- Prueba de normalidad:

En primera instancia se realizó una prueba de normalidad para el Índice de Calidad del Aire de PM 10 y velocidad del viento, con la prueba de Shapiro-Wilk, tomando en cuenta un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia (α) del 0.05.

Para la prueba de normalidad se tomó en cuenta las siguientes hipótesis:

H₀: Los datos de la variable tienen distribución normal.

H₁: Los datos de la variable no tienen distribución normal.

Los resultados después del análisis estadístico se presentan en la tabla 21.

Tabla 21. *Prueba de normalidad para la tercera hipótesis específica.*

Pruebas de normalidad						
Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			
Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	

Índice de Calidad del Aire para PM10	0.269	4	.	0.866	4	0.283
Velocidad del viento	0.203	4	.	0.970	4	0.842

Fuente: elaboración propia con SPSS.

El Índice de Calidad del Aire para PM 10 tiene un Sig. de 0.283, al ser mayor al nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula, infiriendo que tiene distribución normal. La variable velocidad del viento tiene un Sig. de 0.842, al ser mayor al nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula, infiriendo que tiene distribución normal.

Para corroborar lo expuesto en la tabla 21 se realizó gráficos Cuantil-Cuantil presentados en la figura 22.

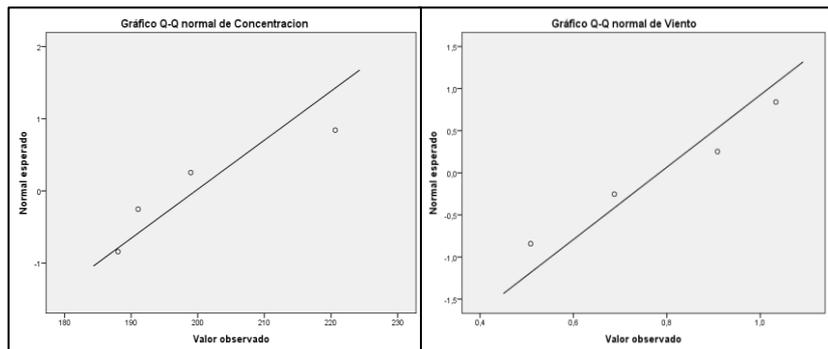


Figura 22. Gráfico cuantil-cuantil para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y velocidad del viento.

Fuente: elaboración propia con SPSS.

En la figura 22 se observa gráficos cuantil-cuantil normal para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y velocidad del viento, se observa que los puntos para ambas variables se encuentran cerca a la recta $y = x$, infiriéndose que la distribución teórica se acerca a la distribución empírica; notándose, además, la ausencia de cuantiles de datos alejados, por lo cual se demuestra que los datos de ambas variables siguen una distribución normal.

- Contrastación de la tercera hipótesis:

Al determinar que tanto el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y la velocidad del viento presentan distribución normal, se realizó la prueba de correlación de Pearson (paramétrica), presentando los resultados en la tabla 22.

Tabla 22. *Prueba de correlación de Pearson para la tercera hipótesis específica.*

Correlaciones de Pearson			
		Índice de Calidad del Aire para PM10	Velocidad del viento
Índice de Calidad del Aire para PM 10	Correlación de Pearson	1.000	-0.527
	Sig. (bilateral)	.	0.473
	N	4	4
Velocidad del viento	Correlación de Pearson	-0.527	1.000
	Sig. (bilateral)	0.473	.
	N	4	4

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La probabilidad de la prueba (Sig.) es 0.473 al ser mayor al nivel de significancia se acepta la hipótesis nula (no hay correlación).

- Inferencia:

La muestra presenta evidencias suficientes para afirmar que no existe una correlación significativa entre la variación de la velocidad del viento y el índice de la calidad del aire para PM 10 generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017. Cabe mencionar que el coeficiente de correlación de Pearson presenta un rango desde -1 hasta +1, en el caso de que el coeficiente de correlación sea próximo a +1 se afirma que existe

una relación directa entre las variables, caso contrario si el coeficiente de correlación es próximo a -1 se infiere que existe una relación entre las variables, mientras si el coeficiente de correlación es de 0 se infiere que las variables son independientes (53). En base a lo afirmado, el valor de la correlación de Pearson es de -0.527 por lo que se infiere que existe una relación inversa ligeramente fuerte entre la velocidad del viento y el índice de calidad del aire para PM 10 porque a medida que una variable aumenta, la otra variable disminuye.

- Cuarta hipótesis específica:

H₁: Existe una relación significativa entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

H₀: No existe una relación significativa entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

- Prueba de normalidad:

En primera instancia se realizó una prueba de normalidad para el índice de calidad del aire para PM10 y humedad relativa, con la prueba de Shapiro-Wilk, tomando en cuenta un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia (α) del 0.05.

Para la prueba de normalidad se tomó en cuenta las siguientes hipótesis:

H₀: Los datos de la variable tienen distribución normal.

H₁: Los datos de la variable no tienen distribución normal.

Los resultados después del análisis estadístico se presentan en la tabla 23.

Tabla 23. Prueba de normalidad para la cuarta hipótesis específica.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Índice de Calidad del Aire para PM 10	0.269	4	.	0.866	4	0.283
Humedad relativa	0.250	4	.	0.951	4	0.721

Fuente: elaboración propia con SPSS.

El Índice de Calidad del Aire para PM 10 tiene un Sig. de 0.283, al ser mayor al nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula, infiriendo que tiene distribución normal. El valor de Sig. para la humedad relativa es de 0.721, al ser mayor al nivel de significancia, se acepta la hipótesis nula, infiriendo que tiene distribución normal.

Para corroborar lo expuesto en la tabla 23 se realizó gráficos Cuantil-Cuantil presentados en la figura 23.

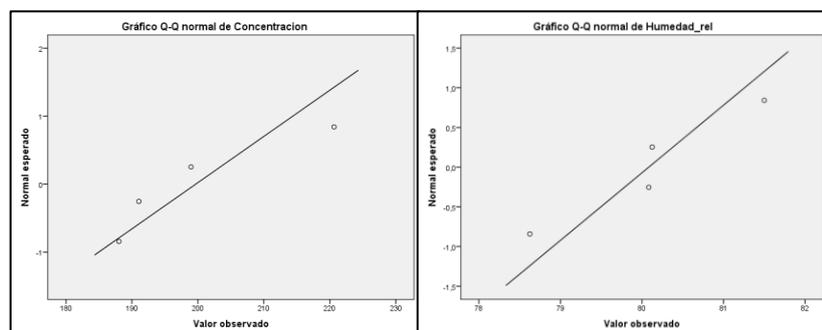


Figura 23. Gráfico cuantil-cuantil para el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y humedad relativa.

Fuente: elaboración propia con SPSS.

En la figura 23 se observa gráficos cuantil-cuantil normal para el índice de la calidad del aire para PM 10 y humedad relativa, se observa que los puntos para ambas variables se encuentran cerca a la recta $y = x$, infiriéndose que la distribución teórica se acerca a la distribución empírica; notándose, además, la ausencia de cuantiles de datos alejados, por lo cual se demuestra que los datos de ambas variables siguen una distribución normal.

- Contrastación de la cuarta hipótesis:

Al determinar que tanto el Índice de Calidad del Aire para PM 10 y la humedad relativa presentan distribución normal, se realizó la prueba de correlación de Pearson (paramétrica), presentando los resultados en la tabla 24.

Tabla 24. *Prueba de correlación de Pearson para la cuarta hipótesis específica.*

Correlaciones de Pearson			
		Índice de Calidad del Aire para PM 10	Humedad relativa
Índice de Calidad del Aire para PM 10	Correlación de Pearson	1.000	0.806
	Sig. (bilateral)	.	0.194
	N	4	4
Humedad relativa	Correlación de Pearson	0.806	1.000
	Sig. (bilateral)	0.194	.
	N	4	4

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La probabilidad de la prueba (Sig.) es 0.194 al ser mayor al nivel de significancia se acepta la hipótesis nula (no hay correlación).

- Inferencia:

La muestra presenta evidencias suficientes para afirmar que no existe una relación significativa entre la variación de la humedad relativa y el índice de calidad del aire para PM 10 generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017; sin embargo, el valor de la correlación de Pearson es de 0.806 y se concluye que existe una relación directa fuerte entre la variación de humedad y el índice de calidad del aire para PM 10; de modo que si una de las variables se incrementa la otra también.

4.2.2. Hipótesis general

H₁: Existe una relación directa entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

H₀: No existe una relación directa entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.

- Inferencia:

Según las correlaciones analizadas por cada factor en estudio se infiere que la variación de la temperatura, la variación de velocidad del viento y la variación de la humedad relativa no tienen correlación directa con la calidad del aire para PM 10 generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017, sin embargo, los resultados estadísticos muestran que existen relaciones entre la variación de la velocidad del viento y el índice de calidad del aire para PM 10,

tomando la correlación de Pearson un valor de -0.527, esto indica una relación indirecta ligeramente fuerte; asimismo la variación de la humedad con el índice de calidad del aire para PM 10, presenta una correlación de Pearson de 0.806, infiriéndose que existe una relación directa fuerte entre estas variables, lo cual es un indicador que de cierta manera tiene influencia en la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017, pero no son indicadores concluyentes para determinar la calidad del aire en la Comunidad de Cullpa Baja.

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna lo cual quiere decir que no existe relación directa entre los factores meteorológicos (temperatura, velocidad del viento y humedad) con la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017, sin embargo, la concentración del material particulado PM 10 supera el estándar de calidad ambiental de aire en la cantidad promedio de $188.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Comunidad de Cullpa Baja, siendo este indicador el más concluyente en la calidad del aire por encima del Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

4.3. Discusión de resultados

- Relación entre factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado PM10:

El contacto directo de la emisión con las condiciones atmosféricas es una prioridad por el transporte de contaminantes en función de los parámetros meteorológicos, lo cual concuerda con lo propuesto por Sanhueza (59) y Angulo *et. al.* (9) y teniendo un potencial de dispersión mayor o gran a escala que afectaría no solamente al área de influencia directa significativamente, sino también al área de influencia indirecta, tal como se observa en el reporte de

resultados respecto de la dispersión de contaminantes frente a escenarios de dispersión a causa de vientos que reflejan un potencial de dispersión considerable y considerando también que los valores de las concentraciones obtenidas en el punto CA-01, CA-02, CA-03 y CA-04 sobrepasan en $98.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $120.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $91.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en $88.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la concentración establecida y sugerida por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), degradando potencialmente zonas de protección, conservación, calidad de vida, etc. (ver anexo 06). Los valores de los índices de calidad de aire para PM10 en los puntos de monitoreo de CA-01, CA-02, CA-03 y CA-04 fueron 132.64; 147.09; 127.37 y 125.35 respectivamente, al estar estos valores en el rango de 101 a 167 se determinó que la calidad del aire para PM 10 en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja fue mala, lo cual indica que la población sensible podría experimentar problemas de salud además de que la población en general podría sentirse afectada, siendo recomendable que se mantengan atentos a los informes de calidad del aire, evitando realizar ejercicio y actividades al aire libre. Respecto a los factores meteorológicos, en el caso específico de la temperatura la cual osciló entre 10.8°C a 11.7°C , no presentó una relación significativa con el índice de calidad del aire para PM 10 sin embargo el coeficiente de correlación de 0.4 indica que existe una asociación positiva débil entre estas dos variables, este resultados también se observa en la investigación de Buitrago y Tejeiro (25) donde la temperatura y la concentración de PM 10 presentaron un asociación positiva muy baja de 0.02; por otro lado en la investigación de Villalba, Romero y Fajardo (18) la concentración del PM 10 y la temperatura están directamente relacionados. Respecto a la velocidad del viento osciló entre 0.5 m/s a 1 m/s, según el análisis estadístico, no presenta una relación significativa con el índice de calidad del aire para PM 10, sin embargo la correlación de Pearson muestra una relación inversa ligeramente fuerte, lo cual indica que al incrementarse la velocidad del viento, los índices de calidad del aire para PM 10 disminuyen, esta misma relación inversa se observa en la investigación de Buitrago y Tejeiro (25), además, en la investigación de Alvarado (26) determinaron que la velocidad de viento tiene un patrón de comportamiento que favorece el aumento de las concentraciones de PM 10 e impide la dispersión de las emisiones desde las fuentes cercanas. Finalmente respecto a la humedad relativa que presento valores que oscilaron entre 78.6 % a 81.5 %, se demostró mediante el análisis

estadístico que no presentó una relación significativa con el índice de calidad del aire para PM 10, sin embargo el coeficiente de correlación de Pearson presentó un valor de 0.806; valor que indica una relación directa fuerte entre estas dos variables, estos resultados se asemejan a los obtenidos en la investigación de Rojano, Pérez y Freyle (11), quienes determinaron que la humedad relativa mayor a 70 % origina un aumento en la concentración del PM 10, lo cual indica una fuerte influencia de la humedad relativa.

- Concentración de material particulado (PM 10):

La concentración del material particulado (PM 10), evidencia que se supera, respecto de las mediciones realizadas en 04 puntos al valor propuesto por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) vigente normativamente a nivel nacional ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dichas concentraciones de PM 10, fueron $198.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $220.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $191.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $188.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los puntos CA-01, CA-02, CA-03 y CA-04 respectivamente, notándose que en el punto CA-02 se llega a sobrepasar al doble dicha concentración. Es oportuno acotar, tal como lo menciona Alvis (21). Que existe aún una necesidad de complementar la data de emisiones en otras temporadas o estaciones del año, para determinar el escenario de contaminación persistente o permanente en el contexto de estudio; el citado autor menciona que los valores de concentración de PM 10 no son constantes a lo largo del año, teniendo picos en las épocas de mayor producción, sosteniendo que la propuesta de realizar nuevos campos de investigación respecto del objeto de estudio de la presente tiene que ser priorizado.

- Relación entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado:

De acuerdo a las pruebas estadísticas no existe una correlación significativa entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el PM10, tal como se muestra en la investigación de Bhaskar y Mehta (15), quienes no encontraron una correlación significativa entre la temperatura y la concentración del material particulado PM 10, ya que, cuando una circulación sinóptica de fondo débil se combina con una inversión de la temperatura del

aire del valle y un bloqueo orográfico circundante, el resultado es a menudo una falta de dispersión de contaminantes atmosféricos inferiores significativos lejos del centro urbano; además, los investigadores mencionan que la topografía también es uno de los parámetros a considerar en los estudios de calidad del aire. La topografía circundante restringe el transporte de contaminación fuera del área urbana. Sin embargo, el coeficiente de correlación de Spearman es 0.4 atribuyéndolo a una asociación positiva débil entre la temperatura y el índice de calidad del aire, tal como se observa en la investigación de Li *et. al.* (17) quien determinó una relación positiva entre las concentraciones de PM 10 y la temperatura del aire durante los resortes de 2014 y 2015, porque la convección térmica favoreció el transporte vertical de partículas de polvo en cierto grado. Las concentraciones de material particulado se correlacionaron positivamente con la temperatura del aire, lo que indica que las partículas secundarias se transformaron por procesos fotoquímicos en condiciones de temperatura del aire más altas. Asimismo, el monitoreo se realizó en la estación de otoño, propio de la época de estiaje, característico de temperaturas bajas tal como se ve en la tabla 14, esta condición conjuntamente con una velocidad de viento generalmente baja provocan que la capa límite planetaria disminuya por lo tanto los contaminantes no se dispersaran significativamente, generando una asociación débil entre la temperatura y la generación de material particulado (15).

- Relación entre la variación de velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado:

De acuerdo a las pruebas estadísticas no existe una correlación significativa entre la variación de velocidad del viento y la calidad del aire producido por el PM10, sin embargo, el coeficiente de correlación de Spearman atribuye una relación inversa ligeramente fuerte entre estas dos variables, lo cual indica que una variable aumenta la otra disminuye, a esta conclusión llegó Tecer *et. al.* (14) infiriendo que el efecto del viento sobre la concentración observada de material particulado sobre la ciudad no fue profundo. Esto podría deberse a la rugosidad de la superficie y la topografía de la región. El otro posible efecto limitante sobre el viento es la meteorología y los efectos de las estructuras si el área de estudio está ubicada en un área montañosa con construcciones de

viviendas no planificadas; tal como es el caso de la presente investigación; estas estructuras tienen un efecto de ruptura, dilución y divergencia en la velocidad del viento. El SENHAMI menciona también que los efectos aerodinámicos de montañas valles o edificios, a los cuales el viento incide perpendicularmente, presentan consecuencias negativas para la dispersión del contaminante. En la investigación de Dextre (24), también encuentra resultados que respalda a los obtenidos en la presente investigación observando que la correlación del material particulado y la velocidad del viento por las noches es inversa, mas no existe una correlación significativa.

- Relación entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado:

De acuerdo a las pruebas estadísticas no existe una relación o correlación significativa entre la humedad relativa y la calidad del aire producido por el PM 10, sin embargo, si existe una relación directa fuerte entre estas dos variables, de modo que si una de las variables se incrementa la otra también esta misma conclusión llego Tecer *et. al.* (14) que afirma que el aumento de la humedad relativa y nubosidad coincide con un aumento de eventos episódicos de material particulado. Cabe mencionar que la alta humedad provoca el aumento de elementos de la corteza de gran tamaño como el sodio en el rango de tamaño de partículas PM 2.5 - PM 10, tal como lo menciona Galindo (16). En la investigación de Dextre (24) la humedad relativa con el material particulado mostraron una correlación positiva débil, tanto en los monitoreos de mañana, tarde y noche. Li *et. al.* (17) determinó que las concentraciones de PM 2.5 exhibieron correlaciones positivas con la humedad relativa en todas las estaciones, excepto en el verano de 2015. Considerando que la alta humedad relativa favorece la división de especies semivolátiles en la fase de aerosol, además, las condiciones atmosféricas húmedas suelen ir acompañadas de alturas de capa límite bajas, lo que aumenta las concentraciones de material particulado en la capa de capa superficial cercana a la superficie.

CONCLUSIONES

1. No existió una relación entre los factores meteorológicos (temperatura atmosférica, velocidad del viento y humedad relativa) y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017. La calidad del aire fue mala debido a que el índice de calidad de aire para PM10 osciló entre 101 - 167, este rango advierte que la población en general se vería afectada, mientras que la población sensible podría experimentar problemas de salud.
2. La concentración media de material particulado (PM 10) en microgramos por metro cúbico generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 fue de $199.4425 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio equivalente a 04 puntos medidos (07 al 10 de abril), esta concentración de material particulado PM 10 sobrepasa en casi el doble a los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor propuesto como estándar de calidad ambiental para PM 10 en el D.S. 003-2017-MINAM.
3. No existe una relación significativa entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017, ya que el valor de Sig. para el estadístico de R_{H0} de Spearman fue de 0.6, siendo mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), por lo cual se aceptó que no existe relación; sin embargo según el coeficiente de correlación de Spearman fue de 0.4 valor que indica que existe una asociación positiva débil entre la variación de temperatura y la calidad del aire por PM 10.
4. No existe una relación significativa entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017, ya que el valor de Sig. para el estadístico de Pearson fue de 0.473, siendo mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), por lo cual se aceptó que no existe relación; sin embargo la correlación de Pearson fue de -0.527 valor que indica que existe una relación inversa ligeramente fuerte entre la variación de velocidad del viento y la calidad del aire por PM10.

5. No existe una relación significativa entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017, ya que el valor de Sig. para el estadístico de Pearson fue de 0.4194, siendo mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), por lo cual se aceptó que no existe relación; sin embargo la correlación de Pearson fue de 0.806 valor que indica que existe una relación directa fuerte entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire por PM 10.

RECOMENDACIONES

- Realizar un inventario de emisiones que involucre un muestreo en distintos períodos del año en función de la producción de las ladrilleras artesanales y la estación climática.
- Realizar nuevas investigaciones proponiendo y poniendo en práctica las alternativas de mitigación de la contaminación ambiental producida por el material particulado (PM 10) en el sector ladrillero artesanal de Cullpa Baja.
- Muestrear los otros parámetros considerados por el Estándar de Calidad Ambiental, de preferencia el material particulado de 2.5 micras (PM 2.5) y realizar comparaciones respecto de la calidad del aire.
- Proponer la formulación directa de medidas de urgencia para la mitigación del escenario de contaminación persistente en la zona de estudio.
- Evaluar la incidencia de la estabilidad atmosférica y aspectos topográficos en la calidad del aire enfocado principalmente a la concentración de material particulado PM 10.
- Realizar estudios o investigaciones complementarias que evalúen y propongan el empleo de materiales e insumos amigables con el ambiente desde el punto de vista de la Ingeniería de los Procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LEÓN, J. En 7 actividades económicas explotan laboralmente a menores. *El Comercio* [online]. La Libertad, 17 de mayo de 2014. Disponible en: <https://elcomercio.pe/peru/la-libertad/7-actividades-economicas-explotan-laboralmente-menores-320678-noticia/?ref=ecr>
2. FERNÁNDEZ, L. Ladrilleros generan grave contaminación con hornos que funcionan sin control. *La República* [online]. Puno, 22 de diciembre de 2013. Disponible en: <https://larepublica.pe/archivo/760199-ladrilleros-generan-grave-contaminacion-con-hornos-que-funcionan-sin-control/>
3. MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales. *Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales*. 2010. p. 1 de 67.
4. PACSI, S. y LLANOS, C. Evaluación de la composición química del material particulado PM 2.5 en la Universidad Nacional Agraria La Molina. *Anales Científicos*. 2017. **78**, 2, p. 210. DOI 10.21704/ac.v78i2.1058.
5. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Informe nacional de la calidad del aire 2013-2014. [online]. 2014. P. 52. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2635-informe-nacional-de-la-calidad-del-aire-2013-2014%0Ahttp://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
6. COMISIÓN NACIONAL DEL AMBIENTE. Decreto Supremo N° 074-2001-PCM Reglamento de Estandares Nacionales De Calidad Ambiental del aire. *El Peruano*. 2001. p. 1-16.
7. OPS. Contaminación del Aire Ambiental. *Organización Panamericana de la Salud* [online]. 2017. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es
8. CONDORI, M. Impactos socioambientales por la fabricación de ladrillos en Huancayo. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*. 2013. **03**, 02, p. 117-123. DOI 10.18259/acs.2013015.

9. ANGULO, L., HUERTAS, J. y RESTREPO, G. Caracterización de partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM 10) producidas en áreas de explotación carbonífera a cielo abierto. 2011. **22**, 4, p. 23-34. DOI 10.4067/S0718-07642011000400004.
10. ARCINIÉGAS, C. Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*. 2012. 34, p. 195-213. DOI 10.17151/luaz.2012.34.12.
11. ROJANO, R., PÉREZ, J. y FREYLE, E. *Effect of relative humidity in determining PM10 using a DataRam 4 in coastal region of Colombia* | Efecto de la humedad relativa en la determinación de PM 10 utilizando un DataRam4, en una zona costera de Colombia. *Revista Tecnica de la Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia*. 2012. **35**, 2, p. 204-212.
12. ENSHASSI, A., KOCHENDOERFER, B. y RIZQ, E. Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista Ingenieria de Construccion*. 2014. **29**, 3, p. 234-254. DOI 10.4067/s0718-50732014000300002.
13. MEZA, K. y RUDAS, A. Análisis de la contaminación del aire con material particulado producido por la fabricación de ladrillos en los municipios de la subregión centro del departamento del Magdalena. *Revista TECKNE*. 2016. **14**, 2, p. 19-26.
14. TECER, L., SUREN, P., ALAGHA, O., KARACA, F. y TUNCEL, G. Effect of meteorological parameters on fine and coarse particulate matter mass concentration in a coal-mining area in Zonguldak, Turkey. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 2008. **58**, 4, p. 543-552. DOI 10.3155/1047-3289.58.4.543.
15. BHASKAR, B. y MEHTA, M. Atmospheric particulate pollutants and their relationship with meteorology in Ahmedabad. *Aerosol and Air Quality Research*. 2010. **10**, 4, p. 301-315. DOI 10.4209/aaqr.2009.10.0069.
16. GALINDO, N., VAREA, M., GILMOLTO, J., YUBERO, E. y NICOLAS, J. The influence of meteorology on particulate matter concentrations at an urban mediterranean location. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2011. **215**, 1-4, p. 365-372. DOI 10.1007/s11270-010-0484-z.

17. LI, X., MA, Y., WANG, Y., LIU, N. y HONG, Y. *Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM 10 and PM 2.5) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China. Atmospheric Research* [online]. 2017. **198**, p. 185–193. DOI 10.1016/j.atmosres.2017.08.023. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.08.023>
18. VILLALBA, D., ROMERO, H. y FAJARDO, E. XXVIII Simposio Internacional de Estadística 2018. Guía para autores. 2018.
19. GARCÍA, J. *Estudio ambiental como mecanismo de sostenibilidad del proyecto de instalación de la fábrica de ladrillos de arcilla al vacío en Habana, distrito de Moyobamba, San Martín - Perú*. 2011.
20. JAYA, J. y VÁSQUEZ, J. *Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles*. 2012.
21. ALVIS, E. *Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos carboníferos del departamento del Cesar*. 2012.
22. MEDINA, J. *Contaminación de la industria ladrillera en el distrito de San Agustín de Cajas, provincia de Huancayo*. Universidad Alas Peruanas, 2013.
23. ARIAS, L. y ARIAS, I. Producción artesanal de ladrillo en coronado municipio de Palmira (valle del cauca), relacionado con la contaminación atmosférica y su posible impacto en la salud de las personas de la comuna 1. 2014. p. 150.
24. DEXTRE, E. *Comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con la calidad de aire por material particulado PM 2.5, San Juan de Lurigancho - 2016*. 2016.
25. BUITRAGO, A. y TEJEIRO, J. Influencia de las condiciones meteorológicas en La concentración de PST y PM 10 en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda. *Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás*. 2019. **53**, 9, p. 1689-1699. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.
26. ALVARADO, G. Estudio integrado de factores que influyen sobre la contaminación atmosférica por material particulado respirable de Pudahuel. 2010. p. 117.

27. BALASUBRAMANIAN, A. *Atmosphere Documentary*. 2016.. DOI 10.13140/RG.2.2.28235.80161.
28. HERY, G. y HEINKE, G. *Ingeniería Ambiental*. 1999.
29. BRUSSEAU, M., MATTHIAS, A., MUSIL, S. y BOHN, H. *Physical-Chemical characteristics of the atmosphere* [online]. 3. Elsevier Inc., 2019. ISBN 9780128147191. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00004-5>
30. INCHE, J. *Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones*. [online]. Lima : Ins. Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM, 2004. Available from: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/Geologia/gestion_calidad/ficha.htm
31. SIVARAMANAN, S. *Air Pollution sources, pollutants and mitigation measures. Central Environmental Authority (Sri Lanka)* [online]. 2014. p. 1–11. DOI: 10.13140/2.1.5106.8485. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269333871_Air_Pollution_sources_pollutants_and_mitigation_measures
32. BORDUAS, N. y DONAHUE, N. *The natural atmosphere. Green Chemistry: an inclusive approach* [online]. 2018. p. 131–150. DOI 10.1016/B978-0-12-809270-5.00006-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00006-6>
33. SILVA, V. Contaminación del aire por material particulado (PM 10 y PM 2.5). *Obervatorio León* [online]. 2012. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/005493971f794f9006c44>
34. ONGOMA, V., OTIENO, G. y OMONDI, O. *An investigation of the transport and dispersion of atmospheric pollutants over Nairobi City. Journal of Environmental and Agricultural Sciences*. 2014. **1**, 10, p. 1-10.
35. PHALEN, R. *Sources and emissions of air pollutants. Introduction to air pollution science a public health perspective*. 2013. p. 21-40.
36. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM. Índice de Calidad del Aire. *MINAM* [online]. 2016. p. 1-6. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N°-181-2016-MINAM.pdf>

37. IISD. *Environmental impact assessment training manual*. 2016.
38. ESPINOZA, G. *Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. 2002.
39. TORRES, A. Aplicación práctica del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos - ISCST3. *Escuela de negocios* [online]. 2013. p. 1-35. Disponible en: <https://docplayer.es/2252274-Aplicacion-practica-del-modelo-de-dispersion-de-contaminantes-atmosfericos-iscst3-autor-agustin-torres-jerez.html>
40. VERMA, V., SRIVASTAVA, U. y BHANDARI, P. Mathematical model on dispersion of air pollutants. *International journal of science and research (IJSR)*. 2015. **4**, 12, p. 1904-1907. DOI 10.21275/v4i12.nov152364.
41. PFEIFFER, R.L. *Sampling for PM 10 and PM 2.5 particulates*. 2015. p. 227-245. DOI 10.2134/agronmonogr47.c11.
42. THERMO SCIENTIFIC. *Thermo scientific high volume air samplers. Ambient and area monitor*. 2013. DOI 10.1021/es00029a027.
43. EPA. *National ambient air quality standards for particulate matter; Final Rule. Federal Register*. 1997. **78**, 10, p. 3086-3287.
44. RANDALL, J. Review for environmental impact assessment review. *Environmental impact assessment review*. 2008. **28**, p. 226-227. DOI 10.1016/j.eiar.2007.11.002.
45. CHEREMISINOFF, N. y HADDADIN, M. *Components of an environmental management system. Beyond Compliance*. 2006. p. 113-172. DOI 10.1016/b978-0-9765113-9-7.50008-0.
46. JOHNSON, D., AMBROSE, S., BASSETT, T., BOWEN, M., CRUMMEY, D., ISAACSON, J., JOHNSON, D., LAMB, P., SAUL, M. y WINTER, A. *Meanings of environmental terms. Journal of Environmental Quality*. 1997. **26**, 3, p. 581-589. DOI 10.2134/jeq1997.00472425002600030002x.
47. SUH, H., BAHADORI, T., VALLARINO, J. y SPENGLER, J. D. Criteria air pollutants and toxic air-pollutants. *Environmental Health Perspectives*. 2000. **108**, 4, p. 625-633. DOI 10.1289/ehp.00108s4625.

48. NI, J. *Research and demonstration to improve air quality for the U.S. animal feeding operations in the 21st century - A critical review. Environmental Pollution* [online]. 2015. **200**, p. 105-119. DOI 10.1016/j.envpol.2015.02.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.003>
49. DIGESA. *Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire* [online]. 2005. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf
50. INGLEZAKIS, V., POULOPOULOS, S., ARKHANGELSKY, E., ZORPAS, A. y MENEGAKI, A. *Aquatic environment* [online]. Elsevier B.V., 2016. ISBN 9780444627339. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-62733-9.00003-4>
51. SMIL, V. *International encyclopedia of the social & behavioral sciences. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* [online]. 2001, p. 355-359. DOI 10.1016/B0-08-043076-7/04187-5. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0080430767041875>
52. ARROYO, J. *¿Cómo ejecutar un plan de investigación?* Huancayo, 2012.
53. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M. *Metodología de la investigación*. México, 2010. ISBN 9786071502919.
54. LI, Y., CHEN, Q., ZHAO, H., WANG, L. y TAO, R. *Variations in PM 10, PM 2.5 and PM 1.0 in an urban area of the sichuan basin and their relation to meteorological factors. Atmosphere*. 2015. **6**, 1, p. 150-163. DOI 10.3390/atmos6010150.
55. LÓPEZ, V. Propuesta metodológica para el rediseño de una red meteorológica en un sector de la región andina colombiana. *Publicaciones e Investigación*. 2014. **8**, 1, p. 55. DOI 10.22490/25394088.1281.
56. NASSAJI, H. *Qualitative and descriptive research: Data type versus data analysis. Language Teaching Research*. 2015. **19**, 2, p. 129-132. DOI 10.1177/1362168815572747.
57. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano*. 2017. p. 6-9.

58. CASTILLO, S. y LOZANO, E. Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. *Iniciación a la Investigación*. 2010. **0**, 2, p. 1-20.
59. SANHUEZA, P., VARGAS, C. y MELLADO, P. Impacto de la contaminación del aire por PM 10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1986. **22**, 3, p. 268-275. DOI 10.1007/BF00514993.

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL:</p> <p>- ¿Cuál es la relación que se da entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>- Determinar la relación entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL:</p> <p>H₁: Existe una relación directa entre los factores meteorológicos y la calidad del aire producido por el material particulado (PM10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>Factores meteorológicos.</p>	<p>Nivel de investigación:</p> <p>Exploratorio.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</p> <p>- ¿Cuál será la concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?</p> <p>- ¿Cuál es la relación que se da entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?</p> <p>- ¿Cuál es la relación que se da entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?</p> <p>- ¿Cuál es la relación que se da entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <p>- Determinar la concentración de material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p> <p>- Determinar la relación entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p> <p>- Determinar la relación entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p> <p>- Determinar la relación entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p>	<p>HIPOTESIS ESPECÍFICAS:</p> <p>H₁: La concentración de material particulado (PM10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017 supera el ECA (100 µg/m³).</p> <p>H₁: Existe una relación directa entre la variación de temperatura y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p> <p>H₁: Existe una relación directa entre la variación de la velocidad del viento y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p> <p>H₁: Existe una relación directa entre la variación de la humedad relativa y la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja en el mes de abril del año 2017.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <p>Calidad de aire por PM 10.</p>	<p>Método General y específico:</p> <p>Método inductivo, observacional.</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>Diseño No experimental.</p> <p>Tipo de investigación:</p> <p>Investigación descriptiva.</p> <p>Población y muestra:</p> <p>- Volumen de aire monitoreado en la estación meteorológica Santa Ana 112170 y en las estaciones de monitoreo de calidad de aire.</p> <p>TÉCNICA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS:</p> <p>- La observación. - Hi-Vol. - Estaciones Meteorológicas.</p> <p>INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS:</p> <p>- Fichas de campo. - Lista de cotejo. - Plantilla de datos meteorológicos.</p>

Anexo 02. Cadena de custodia - Instrumento de recolección de datos.

Objetivo: Evidenciar mediante la cadena de custodia las condiciones respecto del muestreo de calidad de aire para material particulado mediante el empleo del Hi-Vol (PM 10) respecto de la calidad de aire en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja, de modo que se logre estimar adecuadamente la concentración del mencionado material particulado.

CADENA DE CUSTODIA		V: 001-2017-EHCB							
CONSIDERACIONES GENERALES									
RESPONSABLE									
ACCION									
UNIDAD DE MUESTREO									
ESTUDIO									
ITEM	CÓDIGO DE PUNTO	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO*	INICIO DEL MUESTREO		FIN DEL MUESTREO		TIPO DE MUESTRA	COORDENADAS UTM	
			Fecha (dd-mm-aa)	Hora (12:00)	Fecha (dd-mm-aa)	Hora (12:00)		NORTE	ESTE
TOTAL DE MUESTRAS									
OBSERVACIONES									

Fuente: elaboración propia. *Incluye asignación de punto respecto del lugar y altitud

Anexo 03. Cadena de custodia - Instrumento de recolección de datos rellenado.

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS – CADENA DE CUSTODIA

Lista de cotejo: Cadena de custodia para la evaluación de la calidad de aire de la Comunidad Campesina de Cullpa Baja.

Objetivo: Evidenciar mediante la cadena de custodia las condiciones respecto del muestreo de calidad de aire para material particulado mediante el empleo del Hi-Vol (PM 10) respecto de la evaluación del impacto en la calidad de aire en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja, de modo que se logre estimar adecuadamente la concentración del mencionado material particulado.

CADENA DE CUSTODIA

V:001-2017-EHCB

CONSIDERACIONES GENERALES									
RESPONSABLE		BACH. ERLAN HUGO CUADROS BALDEÓN							
ACCIÓN		MONITOREO AMBIENTAL DE CALIDAD DEL AIRE							
UNIDAD DE MUESTREO		CC CULLPA BAJA, DISTRITO: EL TAMBO, PROVINCIA: HUANCAYO.							
ESTUDIO		INVESTIGACIÓN: IMPACTO CALIDAD DEL AIRE - ACTIVIDAD LADRILLERÍA ARTESANAL							
ITEM	CÓDIGO DE PUNTO	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO*	INICIO DEL MUESTREO		FIN DEL MUESTREO		TIPO DE MUESTRA	COORDENADAS UTM	
			Fecha (dd-mm-aa)	Hora (12:00)	Fecha (dd-mm-aa)	Hora (12:00)		NORTE	ESTE
01	CA-CB-01	F. NUÑEZ SANTOS 3382 mms	06-04-17	11:00am	07-04-17	11:00am	CALIDAD/AIRE	8671095	0478184
02	CA-CB-02	F. CAMASI 3313 mms	07-04-17	11:00am	08-04-17	11:00am	CALIDAD/AIRE	8671910	0478303
03	CA-CB-03	F. DOMERO ALFARO 3385 mms	08-04-17	11:00am	09-04-17	11:00am	CALIDAD/AIRE	8671206	0478485
04	CA-CB-04	F. SAUZI ESPIRITU 3312 mms	09-04-17	11:00am	10-04-17	11:00am	CALIDAD/AIRE	8670931	0478244
TOTAL DE MUESTRAS		04 (cuatro muestras)							
OBSERVACIONES		ADJUNTO - LISTA DE COTEJO.							

Fuente: elaboración propia.

*Incluye asignación de punto respecto del lugar y altitud

Anexo 04. Lista de cotejo.

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS - LISTA DE COTEJO

Tesista: Bach. Erlan Hugo Cuadros Baldeón

Fecha: Abril/17

En función de lo considerado en la parte metodológica de la investigación (Capítulo III de la Tesis), se consideró la siguiente técnica y el siguiente instrumento de recolección de datos:

- Técnica de recolección asumida: observación.
- Instrumento de recolección correspondiente: lista de cotejo.

Objetivo: determinar las condiciones, consideraciones y/u observaciones respecto de la toma de muestra en campo, CC Cullpa Baja, mediante la utilización de un equipo muestreador de alto volumen (PM 10) + objetivo específico 2 de la investigación.

Detalle del equipo:

Fecha	Consideraciones/Observaciones
06/04/17	
07/04/17	
08/04/17	
09/04/17	

Consideraciones/observaciones obligatorias: Ubicación geográfica (GPS), condiciones ambientales, condiciones sociales, principal material o insumo utilizado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal, demás datos a consideración propia.

Anexo 05. Lista de cotejo rellena.

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS - LISTA DE COTEJO

Tesista: Bach. Erlan Hugo Cuadros Baldeón **Fecha:** Abr-17

En función de lo considerado en la parte metodológica de investigación (Capítulo III - de la tesis), se considero la siguiente técnica y el siguiente instrumento de recolección de datos:

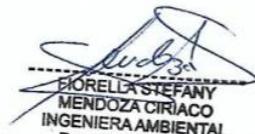
- Técnica de recolección asumida: Observación
- Instrumento de recolección correspondiente: Lista de cotejo

Objetivo: Determinar las condiciones, consideraciones y/u observaciones respecto de la toma de muestra en campo, CC Cullpa Baja, mediante la utilización de un equipo muestreador de alto volumen (PM 10)

Tipo de Componente ambiental	Criterio	si	no	Observaciones
Aire	Realizan quema en hornos que hemanan humos de las chimeneas de las ladrilleras durante los dias de monitoreo en la zona	X		

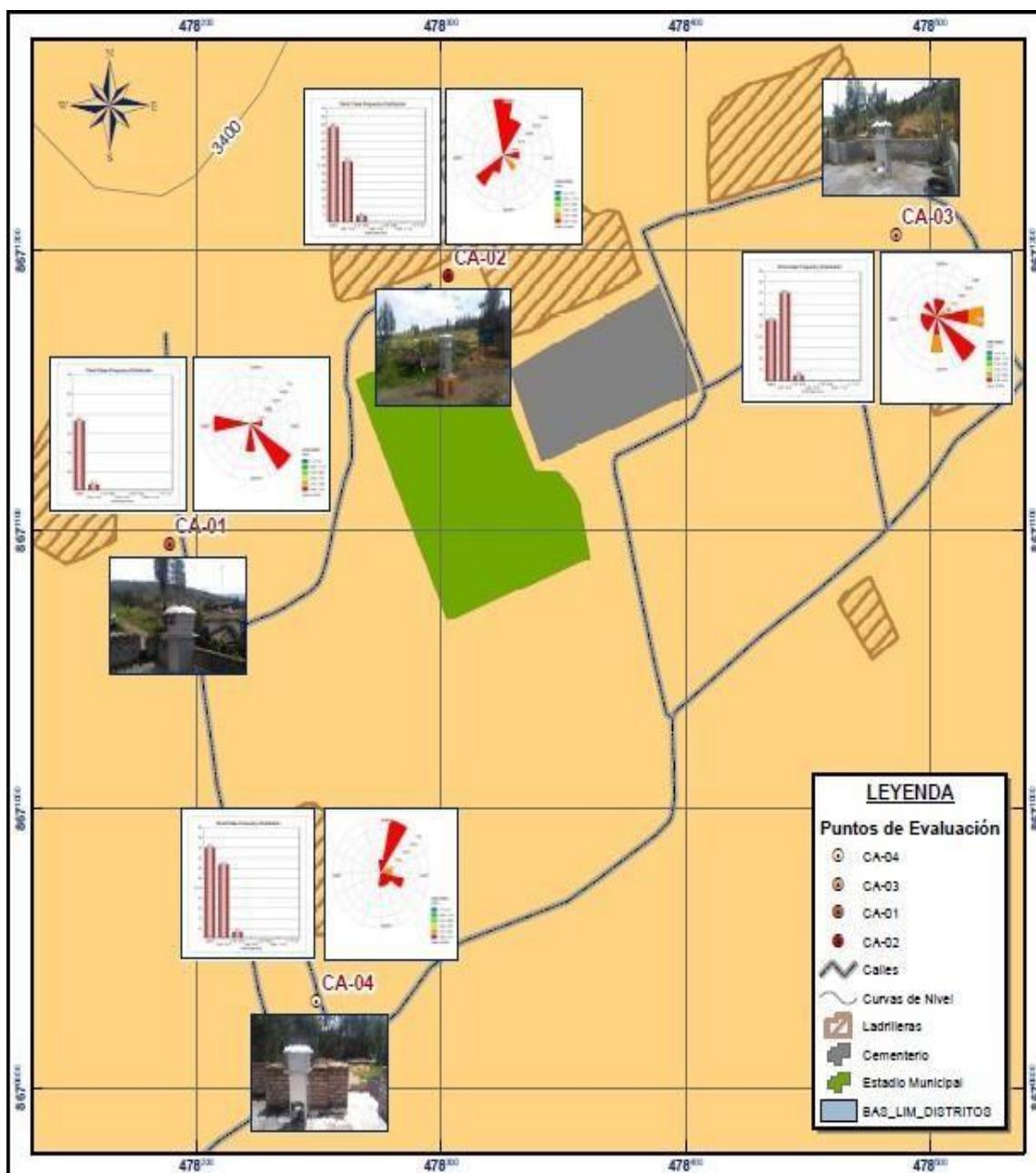
Fecha	Consideraciones Observaciones
6/04/2017	Familia : Muñoz Santos Ubicación Geografica : Norte : 8671095 Este : 0478189 Altitud : 3382 msnm Condicion Climatica : Nublado Condiciones del Area : Vegetación en los alrededores arboles de eucalipto típica del lugar Material utilizado en el Proceso: Arena, Agua, Arcilla - Comsustible : Plastico , Madera , Llantas , Arbustos Actividades Cercanas : Trabajo en hornos de ladrilleras cercanas durante 3 horas consecutivas aprox.
7/04/2017	Familia : Camasi Ubicación Geografica : Norte : 8671191 Este : 0478303 Altitud : 3313 msnm Condicion Climatica : Sol intenso - Cielo Despejado Condiciones del Area : Poca presencia de vegetacion Material utilizado en el Proceso: Arena, Agua, Arcilla - Comsustible : Plastico , Madera , Llantas , Arbustos Actividades Cercanas : Trabajo en hornos de ladrilleras cercanas durante 2 horas consecutivas aprox.
8/04/2017	Familia : Romero Alfaro Ubicación Geografica : Norte : 8671206 Este : 0473485 Altitud : 3386 msnm Condicion Climatica : Sol intenso - Cielo Despejado Condiciones del Area : Poca presencia de vegetacion , Arboles de Eucalipto Cercanas Material utilizado en el Proceso : Arena, Agua, Arcilla - Comsustible : Plastico , Madera , Llantas , Arbustos Actividades Cercanas : Trabajo en hornos de ladrilleras cercanas durante 2 horas consecutivas aprox.
9/04/2017	Familia : Saufi Espiritu Ubicación Geografica : Norte : 8670931 Este : 0478249 Altitud : 3312 msnm Condicion Climatica : Sol intenso - Cielo Despejado Condiciones del Area : Presencia de vegetacion , Arboles de Eucalipto Cercanas Material utilizado en el Proceso : Arena, Agua, Arcilla - Comsustible : Plastico , Madera , Llantas , Arbustos Actividades Cercanas : Trabajo en hornos de ladrilleras cercanas durante 4 horas consecutivas aprox.

Consideraciones/observaciones obligatorias: Ubicación geográfica (GPS), condiciones ambientales, principal material o insumo utilizado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal, demas datos a consideración propia

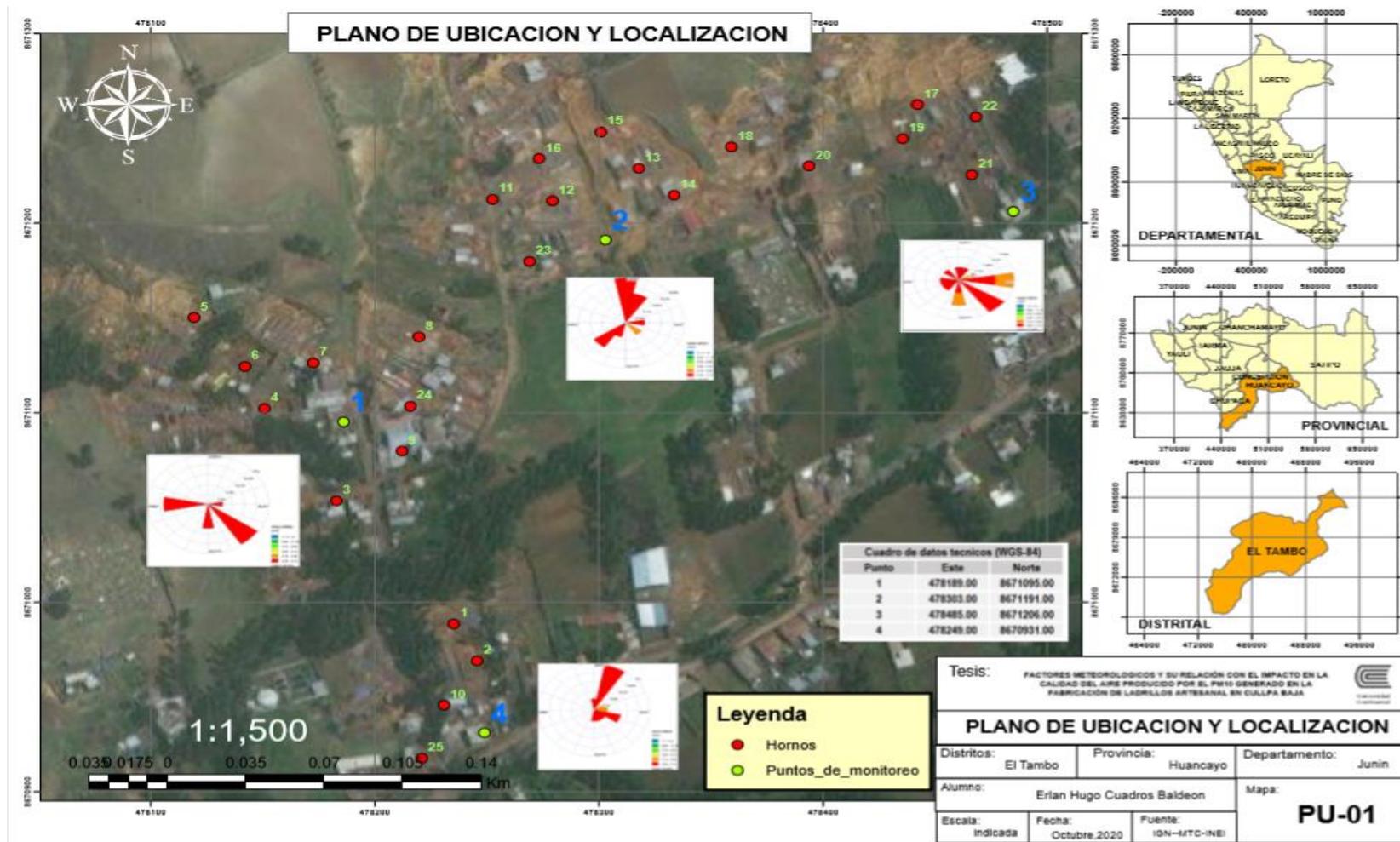


BIORELLA STEFANY
MENDOZA CIRIACO
INGENIERA AMBIENTAL

Anexo 06. Ubicación de las estaciones objeto de estudio al detalle respecto de la dispersión del PM 10.



Anexo 07. Plano de ubicación y localización de los hornos de las ladrilleras cercanas a las estaciones objeto de estudio.



Anexo 08. Certificación de calibración del equipo utilizado.



ENVIROGROUP

ENVIRONMENTAL GROUP TECHNOLOGY

CERTIFICADO DE CALIBRACION

N° EQT02012017

Cliente	:	DELIA BLAS PARRA
----------------	---	------------------

Instrumento	:	Muestreador de partículas	Especificación del Instrumento
Marca	:	THERMO SCIENTIFIC	Flujo: 1.13 m3/min
Modelo	:	HIVOL	Operación con cabezales PM10 y PM2.5
Serie	:	P9242	Motor 1 Hp/ 220V
Código Interno	:	EQ-HV-01	
Condición	:	Usado	

Lugar de Calibración	:	ENVIROGROUP SRL
Fecha de Calibración	:	02 de Enero del 2017
Próxima Calibración	:	02 de Enero del 2018

Condiciones Ambientales

Temperatura: 24.8-25.3 °C	Humedad relativa: 67-68%	Presión: 999-1005 mbar
---------------------------	--------------------------	------------------------

Procedimientos Utilizados

Calibración fue realizado de acuerdo al EPA Compendium Method IO-2.1

Patrones Utilizados:

Descripción	Marca/Modelo	Serie o Lote	Vencimiento
Calibrador Variflow	Tisch/TE-5028A	1837	02-oct-17
Barómetro/Termómetro	Control Company/4247	122277812	16-may-17

Resultados

Ta(k°):	295	Presión(in Hg):	29.5	Slope:	1.01129
Ta(C°):	22	Pa(mm Hg):	750	Int:	0.00429

Run	Calibrador	Qa	Muestreador	Pf	Pa/Pa	Look Up - Qa	% off
Number	°H2O	m3/min	°H2O	mm.Hg		m3/min	Diff
1	3.80	1.205	10.00	18.663	0.975	1.188	1.384
2	3.70	1.189	13.50	25.195	0.966	1.177	0.981
3	3.60	1.172	17.50	32.660	0.956	1.164	0.719
4	3.50	1.156	21.20	39.565	0.947	1.152	0.344
5	3.40	1.139	24.00	44.791	0.940	1.143	0.327
						Promedio	0.751

Observaciones

El Método de Referencia establece que se debe tener un % de diferencia menor al +/-4%

Realizado por: 

Marcó Valencia Huerta
Ing. CIP 152207

Fecha: 02/01/2017

104

Anexo 09. Informe de ensayo - laboratorio acreditado.



**INFORME DE ENSAYO
Nº 0417-208-EH**

Página 01/02

Solicitante : Erian Hugo Cuadros Baldeón
Dirección : Calle Esperanza # 306 - Sicaya - Huancayo
Atención : Erian Hugo Cuadros Baldeón
Muestreo realizado por : Erian Hugo Cuadros Baldeón
Fecha de muestreo : 06,07,08,09 y 10 de Abril 2017
Procedencia : Huancayo
Proyecto : Monitoreo Ambiental
Referencia : Cotización N° 110
Tipo de muestra : Aire (Filtros)
Fecha de recepción de la muestra : 12 de Abril 2017

Ensayos realizados:

Análisis	Método
PM ₁₀ (peso inicial y final)	EPA CFR 40 Part 50 Appendix J Reference Method for the Determination of particulate Matter as PM 10 in the Atmosphere.

Emitido en San Juan de Lurigancho, 21 de Abril del 2017.



Ana Belén Sinche Jimenez
Área Administrativa

Código de Laboratorio		01	02	03	04
Código de Muestra		CA-01	CA-02	CA-03	CA-04
Tipo de Muestra		Aire	Aire	Aire	Aire
Fecha Inicial / Hora de muestreo		06-04-2017 / 11:00 a.m.	07-04-2017 / 11:00 a.m.	08-04-2017 / 11:00 a.m.	09-04-2017 / 11:00 a.m.
Fecha Final / Hora de muestreo		07-04-2017 / 11:00 a.m.	08-04-2017 / 11:00 a.m.	09-04-2017 / 11:00 a.m.	10-04-2017 / 11:00 a.m.
Parámetro de ensayo	Unidades	Resultados			
PM ₁₀ (Peso Inicial)	g/filtro	2.7022	2.6807	2.6949	2.7225
PM ₁₀ (Peso Final)	g/filtro	2.9344	2.9396	2.9193	2.9426

Emitido en San Juan de Lurigancho, 21 de Abril del 2017.

Zaida Contreras Pacheco
Quím. Zaida C. Contreras Pacheco

CQP 1162

Jefe de Laboratorio



Anexo 10. Acreditación del laboratorio por INACAL.

Certificado

 **INACAL**
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

V&S LAB E.I.R.L.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Pasaje Manuel Gonzales Prada Nro. 108, urbanización Chacarilla de Otero, distrito de San Juan de Lurigancho, departamento de Lima.

Con base en la norma
NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la renovación otorgada que se detalla en el DA-acr-05P-17F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 13 de julio de 2017
Fecha de Vencimiento: 12 de julio de 2021


JUANA HIDALGO MURRIETA
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL



Cédula N° : 0348-2017-INACAL/DA
Contrato N° : 022-2017-INACAL-DA
Registro N° : LE- 081

Fecha de emisión: 16 de agosto de 2017

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 02

Anexo 12. Panel fotográfico.



Anexo 13. Solicitud de acceso a información meteorológica.



**Universidad
Continental**

"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

Solicito: Acceso a información meteorológica.

Ing. Adam Yanina Ramos Cadillo
Representante Dirección Zonal 11 – SENAMHI
El Tambo - Huancayo, Junín

Con todo respeto me dirijo a Ud. con el objeto de solicitarle datos respecto de una estación meteorológica en específico (detallada en la tabla 01) con la finalidad de utilizarlos en mi proyecto de investigación (tesis) titulado: "El impacto en la calidad del aire producido por el material particulado (PM 10) generado en el proceso de fabricación de ladrillo artesanal en la comunidad de Cullpa Baja en el año 2017". Los datos a solicitar son los siguientes:

Tabla 01. Datos específicos a solicitud.

Datos de la estación meteorología
- Estación: Santa Ana – 112170
- Tipo: Automática – Davis, Meteorología.
- Latitud: 12°0'15"
- Longitud: 75°13'15"
- Departamento: Junín.
- Provincia: Huancayo.
- Distrito: El Tambo.
Datos en específico a solicitud
- Temperatura (°C).
- Humedad (%).
- Presión (mb).
- Velocidad del viento (m/s).
- Dirección del viento.
Periodo a considerar en solicitud
- Del 05 al 10 de abril de 2017 (a 24 horas).

Fuente: SENAMHI (2008) / SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ. 2008. <http://www.senamhi.gob.pe>. [En línea] 2008. [Citado el: 24 de 4 de 17.] <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0601>

Por lo expuesto, ruego a Ud. acceder a la presente solicitud.

Huancayo, 25 de abril de 2017.

Atte.

Bach. Ing. Erian Hugo Cuadros Baldeón

DNI 47135582

Cel: 998988589 / Correo electrónico: erlanquadros1991@gmail.com

Nota: se adjunta la Resolución de Inscripción del Plan de Tesis – Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental (15/04/17) como evidencia objetiva del caso.

Anexo 14. Planilla de datos meteorológicos proporcionados por el SENAMHI.

Fecha	Hora	Temperatura atmosférica (°C)	Presión atmosférica	Viento		Humedad relativa (%)
				Velocidad (m/s)	Dirección	
06/04/17	12:00 pm	13.4	699.1	1.3	W	74
06/04/17	1:00 pm	13.9	698.4	0.9	W	70
06/04/17	2:00 pm	15.2	697.7	0.9	W	61
06/04/17	3:00 pm	16.4	696.6	1.3	E	56
06/04/17	4:00 pm	16.4	695.7	1.3	SE	62
06/04/17	5:00 pm	16.5	695.5	0.9	SE	54
06/04/17	6:00 pm	16.1	695.8	0.4	SE	68
06/04/17	7:00 pm	12.3	696.2	0	SE	82
06/04/17	8:00 pm	10.2	696.8	0	SE	86
06/04/17	9:00 pm	10.1	697.7	0	SE	87
06/04/17	10:00 pm	10.6	698.1	0.9	SE	86
06/04/17	11:00 pm	10.1	698.1	0.4	SE	88
07/04/17	12:00 am	9.8	697.8	0	SE	89
07/04/17	1:00 am	9.2	697.3	0	SE	91
07/04/17	2:00 am	8.9	696,8	0	SE	91
07/04/17	3:00 am	9	696,4	0,9	SE	90
07/04/17	4:00 am	9.2	696,3	0	SE	91
07/04/17	5:00 am	9.1	696,7	0,4	SE	91
07/04/17	6:00 am	8.1	697,4	0	SE	93
07/04/17	7:00 am	7.6	698,1	0	SE	94
07/04/17	8:00 am	8.7	698,3	0	SE	95

Fecha	Hora	Temperatura atmosférica (°C)	Presión atmosférica	Viento		Humedad relativa (%)
				Velocidad (m/s)	Dirección	
07/04/17	9:00 am	11.5	698.6	0.4	SE	84
07/04/17	10:00 am	13.7	698.5	0.9	S	74
07/04/17	11:00 am	15.3	698.2	1.3	S	65
07/04/17	12:00 pm	17	697.2	0.9	N	60
07/04/17	1:00 pm	17.1	696.1	0.9	N	62
07/04/17	2:00 pm	16.3	695.1	2.2	SE	58
07/04/17	3:00 pm	16.9	694.7	1.8	E	56
07/04/17	4:00 pm	17.9	694.4	0.4	E	56
07/04/17	5:00 pm	16.6	694.5	0.4	E	76
07/04/17	6:00 pm	14.7	694.8	0.4	E	74
07/04/17	7:00 pm	11.5	695.9	1.8	NNE	79
07/04/17	8:00 pm	11.6	697.4	1.3	SW	75
07/04/17	9:00 pm	10.1	697.9	0.9	N	87
07/04/17	10:00 pm	9.3	697.6	0.9	NNE	92
07/04/17	11:00 pm	8.7	697.6	0.4	NNE	91
08/04/17	12:00 am	8.2	697.6	0	NNE	93
08/04/17	1:00 am	7.6	697.2	0.4	NNE	94
08/04/17	2:00 am	7.6	696.7	0.4	NNE	94
08/04/17	3:00 am	7.2	696.4	0	NNE	94
08/04/17	4:00 am	6.7	696.4	0	NNE	94
08/04/17	5:00 am	6.1	696.6	0	---	95
08/04/17	6:00 am	6.2	696.9	0.4	NNE	96
08/04/17	7:00 am	7	697.4	0.4	NNE	96
08/04/17	8:00 am	8.1	697.8	0	---	97
08/04/17	9:00 am	9.7	698.2	0.4	NNE	91

Fecha	Hora	Temperatura atmosférica (°C)	Presión atmosférica	Viento		Humedad relativa (%)
				Velocidad (m/s)	Dirección	
08/04/17	10:00 am	12.4	698.3	0.9	SSW	75
08/04/17	11:00 am	14.1	697.7	1.3	SW	71
08/04/17	12:00 pm	15.3	696.6	0.9	NNE	63
08/04/17	1:00 pm	15.8	695.5	0.9	N	47
08/04/17	2:00 pm	18.2	694.7	1.8	WSW	55
08/04/17	3:00 pm	19.2	693.9	1.8	W	43
08/04/17	4:00 pm	18.8	693.5	1.8	SW	52
08/04/17	5:00 pm	17.2	693.3	3.1	NW	52
08/04/17	6:00 pm	16.1	693.8	2.7	E	55
08/04/17	7:00 pm	14.8	695.5	1.3	S	72
08/04/17	8:00 pm	10.2	697.4	1.3	E	90
08/04/17	9:00 pm	8.6	698.3	2.7	E	89
08/04/17	10:00 pm	7.9	698.3	0.9	ENE	85
08/04/17	11:00 pm	7.7	698.1	0.9	S	89
09/04/17	12:00 am	7.4	697.6	0.9	SE	92
09/04/17	1:00 am	7.3	697.1	0	SE	94
09/04/17	2:00 am	7.2	696.5	0	SE	94
09/04/17	3:00 am	6.8	696.2	0	SE	94
09/04/17	4:00 am	6,3	696.2	0	SE	95
09/04/17	5:00 am	6,2	696	0.4	SE	96
09/04/17	6:00 am	5,3	696.1	0.4	SE	95
09/04/17	7:00 am	4,7	697	0.9	SE	96
09/04/17	8:00 am	6,9	698	0.4	SE	97
09/04/17	9:00 am	8,8	698.1	0.4	SE	91
09/04/17	10:00 am	10,6	698.2	0.4	SE	79

Fecha	Hora	Temperatura atmosférica (°C)	Presión atmosférica	Viento		Humedad relativa (%)
				Velocidad (m/s)	Dirección	
09/04/17	11:00 am	12.6	697.6	0.9	SE	72
09/04/17	12:00 pm	14.3	696.8	0.9	ESE	68
09/04/17	1:00 pm	15.7	695.8	1.3	NNE	63
09/04/17	2:00 pm	17.4	694.8	1.3	SSE	51
09/04/17	3:00 pm	17.8	693.6	1.8	ESE	49
09/04/17	4:00 pm	18.7	693	1.3	SE	52
09/04/17	5:00 pm	18.2	693.4	1.3	S	53
09/04/17	6:00 pm	15.9	693.9	2.7	ENE	54
09/04/17	7:00 pm	14.9	695	2.2	E	69
09/04/17	8:00 pm	11.6	696.4	1.8	NNE	88
09/04/17	9:00 pm	9.9	697.1	1.8	NNE	91
09/04/17	10:00 pm	9.5	697.7	0.4	NNE	93
09/04/17	11:00 pm	9.3	697.9	0.4	NNE	94
10/04/17	12:00 am	8.8	697.5	0.9	NNE	94
10/04/17	1:00 am	8.6	697.1	0.4	NNE	95
10/04/17	2:00 am	8.3	696.7	0	---	95
10/04/17	3:00 am	8.2	695.9	0	---	95
10/04/17	4:00 am	7.9	696.2	0.4	NNE	96
10/04/17	5:00 am	7.6	696	0.4	NNE	95
10/04/17	6:00 am	7.1	696.4	0.4	NNE	96
10/04/17	7:00 am	7.2	697.2	0	NNE	97
10/04/17	8:00 am	9.2	697.8	0.4	NNE	96
10/04/17	9:00 am	10	698	0.9	N	89
10/04/17	10:00 am	11.6	697.9	0.4	NNW	78
10/04/17	11:00 am	13.7	697.5	0.4	NNW	72

Anexo 15. Cálculo total de las concentraciones de PM 10.

Punto	Formula	Equivalencias	Resultados			
CA-01	$Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left(\frac{T_{ref}}{P_{ref}} \right)$ $V_{ref} = Q_{ref} * t$ $PM10 = (W_f - W_i) \left(\frac{10^6}{V_{ref}} \right)$	$Q_{ref} = 0.814 \text{ m}^3/\text{min}$ $Q_a = 1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ $P_{av} = 69.73 \text{ kPa}$ $T_{av} = 284.85 \text{ K}$ $T_{ref} = 298 \text{ K}$ $P_{ref} = 101.3 \text{ kPa}$ $V_{ref} = 1172.38 \text{ m}^3$	PM 10 = 198.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		$Q_{ref} = 0.814 \text{ m}^3/\text{min}$ $t = 1440 \text{ min}$ $W_f = 2.9344 \text{ g/filtro}$ $W_i = 2.7022 \text{ g/filtro}$				
		$10^{-6} = \text{factor de conversión, g} \rightarrow \mu\text{g}$				
		$V_{ref} = 1172.38 \text{ m}^3$				
		<hr/>				
		CA-02		$Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left(\frac{T_{ref}}{P_{ref}} \right)$ $V_{ref} = Q_{ref} * t$ $PM10 = (W_f - W_i) \left(\frac{10^6}{V_{ref}} \right)$	$Q_{ref} = 0.815 \text{ m}^3/\text{min}$ $Q_a = 1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ $P_{av} = 69.67 \text{ kPa}$ $T_{av} = 284.8 \text{ K}$ $T_{ref} = 298 \text{ K}$ $P_{ref} = 101.3 \text{ kPa}$ $V_{ref} = 1173.43 \text{ m}^3$	PM 10 = 220.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
					$Q_{ref} = 0.815 \text{ m}^3/\text{min}$ $t = 1440 \text{ min}$ $W_f = 2.9396 \text{ g/filtro}$ $W_i = 2.6807 \text{ g/filtro}$	
					$10^{-6} = \text{factor de conversión, g} \rightarrow \mu\text{g}$	
					$V_{ref} = 1173.43 \text{ m}^3$	
					<hr/>	

Punto	Formula	Equivalencias	Resultados	
CA-03	$Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left(\frac{T_{ref}}{P_{ref}} \right)$ $V_{ref} = Q_{ref} * t$ $PM10 = (W_f - W_i) \left(\frac{10^6}{V_{ref}} \right)$	$Q_{ref} = 0.816 \text{ m}^3/\text{min}$ $Q_a = 1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ $P_{av} = 69.64 \text{ kPa}$ $T_{av} = 283.95 \text{ K}$ $T_{ref} = 298 \text{ K}$ $P_{ref} = 101.3 \text{ kPa}$ $V_{ref} = 1\ 174.58 \text{ m}^3$	PM 10 = $191.05 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$	
		$Q_{ref} = 0.818 \text{ m}^3/\text{min}$ $t = 1\ 440 \text{ min}$ $W_f = 2.9193 \text{ g/filtro}$ $W_i = 2.6949 \text{ g/filtro}$		$10^{-6} = \text{factor de conversi3n,}$ $\text{g} \rightarrow \mu\text{g}$
		$V_{ref} = 1\ 174.58 \text{ m}^3$		
		$Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left(\frac{T_{ref}}{P_{ref}} \right)$		$Q_{ref} = 0.813 \text{ m}^3/\text{min}$ $Q_a = 1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ $P_{av} = 69.62 \text{ kPa}$ $T_{av} = 284.85 \text{ K}$ $T_{ref} = 298 \text{ K}$ $P_{ref} = 101.3 \text{ kPa}$ $V_{ref} = 1\ 170.53 \text{ m}^3$
CA-04	$V_{ref} = Q_{ref} * t$ $PM10 = (W_f - W_i) \left(\frac{10^6}{V_{ref}} \right)$	$Q_{ref} = 0.813 \text{ m}^3/\text{min}$ $t = 1\ 440 \text{ min}$ $W_f = 2.9426 \text{ g/filtro}$ $W_i = 2.7225 \text{ g/filtro}$	$10^{-6} = \text{factor de conversi3n,}$ $\text{g} \rightarrow \mu\text{g}$	
		$V_{ref} = 1\ 170.53 \text{ m}^3$		