

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Muestreo del material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} generado por la
molinera Induamérica Trade S.A. en Chiclayo, Lambayeque

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

Abraham Carrasco Culqui

Franklin Fernández Hoyos

ASESOR

Denis Izquierdo Hernández

Rioja, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 044 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 09:00 a.m. del miércoles 15 de noviembre de 2023, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| 1. José Luis Rodríguez Núñez | Presidente |
| 2. Wilfredo Mendoza Caballero | Primer miembro |
| 3. Weidi Flores Villanueva | Segundo miembro |
| 4. Denis Izquierdo Hernández | Asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Evaluación del material particulado PM_{2,5} y PM₁₀ generado por la molinera Induamérica Trade S.A. en Chiclayo, Lambayeque**, que presentan los bachilleres en Ciencias Ambientales, **Abraham Carrasco Culqui y Franklin Fernández Hoyos**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **SUFICIENTE** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

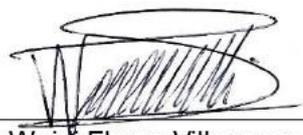
Lima, 15 de noviembre de 2023.



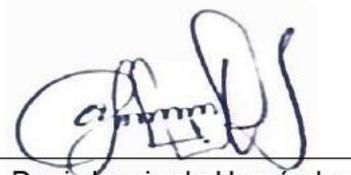
José Luis Rodríguez Núñez
Presidente



Wilfredo Mendoza Caballero
1° miembro



Weidi Flores Villanueva
2° miembro



Denis Izquierdo Hernández
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Nueva Cajamarca, 02 de abril de 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis**, bajo mi asesoría, con título: Muestreo del material particulado PM2,5 y PM10 generado por la molinera Induamérica Trade S.A. en Chiclayo, Lambayeque, presentado por **Abraham Carrasco Culqui** con código de estudiante **2010200888** y **DNI 47515090**, **Franklin Fernandez Hoyos** con código de estudiante **2010200892** y **DNI: 73389007** para optar el **título profesional de Ingeniero Ambiental** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %** (poner el valor del porcentaje)*. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y **adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin**, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Denis Izquierdo Hernández
DNI N°: 43089939
ORCID: 0000-0002-8346-6580
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales
UCSS

(*) De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, **será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.**

DEDICATORIA

A mi madre y mi esposa quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me ayudaron a lograr este gran sueño; por motivarme y tenderme la mano en los momentos difíciles que me tocó vivir. Gratitud y amor para ellas.

Abraham C. C.

A mi madre que desde el cielo siempre guía mi caminar. A mi padre y mis hermanos, sus oraciones, sus consejos y sus palabras de aliento, hicieron de mí una mejor persona, gracias por su cariño y apoyo incondicional.

Franklin F. H.

AGRADECIMIENTOS

A la industria molinera Induamerica Trade S.A., por darnos las facilidades de realizar la presente investigación. A la gerencia general, al área de salud ocupacional y los trabajadores, gracias por haber permitirlo recolectar información y así poder elaborar el presente informe de tesis.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, a todo el personal docente y administrativo, gracias por formarnos como profesionales y contribuir con el desarrollo de nuestra comunidad.

Al Ing. Denis Izquierdo Hernández por el asesoramiento durante la ejecución y elaboración del informe de tesis.

Al estadístico Paco Villalobos Villegas, por orientarnos en el procesamiento estadístico de los resultados de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Bases teóricas especializadas.....	14
1.2.1. Contaminación atmosférica.....	14
1.2.2. Origen de los contaminantes atmosféricos.....	14
1.2.3. Evaluación ambiental.....	15
1.2.4. Material particulado.....	15
1.2.5. Efectos de la contaminación por material particulado.....	17
1.2.6. Parámetros del material particulado.....	18
1.2.7. Monitoreo de material particulado.....	20
1.2.8. Calidad del aire y su relación con la industria molinera de “arroz”.....	22
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
2.1. Diseño de la investigación.....	23
2.2. Lugar y fecha.....	23
2.4. Técnicas e instrumentos.....	26
2.5. Descripción de la investigación.....	27
2.5.1. Fase preliminar de campo.....	27
2.5.2. Fase de campo.....	27
2.4.3. Fase de gabinete.....	32
2.5. Identificación de variables y su mensuración.....	33
2.6. Análisis estadístico de los datos.....	33
2.7. Materiales y equipos.....	34

CAPÍTULO III: RESULTADOS	35
3.1. Diagnóstico situacional de la emisión de material particulado dentro de la industria molinera para identificar y localizar puntos críticos de contaminación del aire	35
3.2. Determinación de los niveles de partículas de material grueso (PM ₁₀) con la fracción fina (PM _{2,5}) dentro de los ambientes de la industria molinera	46
3.3. Comparación de los niveles de partículas de material grueso (PM ₁₀) con la fracción fina (PM _{2,5}) en los ambientes internos de la industria molinera.....	48
3.4. Comparación de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. diferentes normativas	50
3.5. Evaluación de los niveles de concentración de particulado PM ₁₀ y PM _{2,5} con la salud de las personas que laboran en la industria molinera Induamerica Trade S.A. ..	56
CAPITULO IV: DISCUSION	66
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	72
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS	75
TERMINOLOGÍA	85
APÉNDICES	87

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Valores de material particulado en el aire, considerados por la OMS</i>	18
Tabla 2. <i>Valor estándar de calidad ambiental del aire para material particulado</i>	19
Tabla 3. <i>Niveles del Índice de Calidad Ambiental para material particulado PM_{10}</i>	19
Tabla 4. <i>Niveles del Índice de Calidad Ambiental para material particulado $PM_{2.5}$</i>	20
Tabla 5. <i>Coordenadas UTM de la ubicación geográfica de la industria molinera Induamerica Trade S.A.</i>	24
Tabla 6. <i>Georreferenciación de los puntos de muestreo</i>	28
Tabla 7. <i>Variables de investigación y su mensuración</i>	33
Tabla 8. <i>Nivel de Concentración de material particulado PM_{10} por punto de muestreo</i>	46
Tabla 9 <i>Nivel de Concentración de material particulado $PM_{2.5}$ por punto de muestreo</i>	47
Tabla 10. <i>Concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ por punto de muestreo</i>	48
Tabla 11. <i>Coefficiente de relación</i>	49
Tabla 12. <i>Análisis de varianza</i>	49
Tabla 13. <i>Comparación de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional</i>	51
Tabla 14. <i>Comparación de los niveles de material particulado $PM_{2.5}$ presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional</i>	52
Tabla 15. <i>Comparación de los niveles de material particulado PM_{10} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS</i>	53
Tabla 16. <i>Comparación de los niveles de material particulado $PM_{2.5}$ presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS</i>	54
Tabla 17. <i>Valores Límites Permisibles (VLP) para agentes químicos en ambiente de Trabajo</i>	55
Tabla 18. <i>Niveles del índice de calidad ambiental para material particulado PM_{10} en 24 horas</i>	56

Tabla 19. <i>Niveles del índice de calidad ambiental para material particulado PM_{2.5} en 24 horas</i>	56
Tabla 20. <i>Puesto de trabajo en la industria molinera Induamerica Trade S.A.</i>	59
Tabla 21. <i>Horario de trabajo tiene usted habitualmente.</i>	59
Tabla 22. <i>Acceso al servicio de prevención de riesgos laborales o de salud laboral</i>	60
Tabla 23. <i>Disposicipon de equipos de protección personal para realizar tareas</i>	60
Tabla 24. <i>En su puesto de trabajo, realizaron evaluaciones o mediciones sobre material PM_{2.5} y PM₁₀ en los últimos 12 meses</i>	60
Tabla 25. <i>Uso de sustancias químicas o nocivas o existencia de focos de contaminación por productos químicos</i>	61
Tabla 26. <i>Uso de extractores localizados en las zonas o puntos donde se puede producir generación y dispersión de contaminantes</i>	62
Tabla 27. <i>Disposicion de un sistema de ventilación general de los locales de trabajo</i>	62
Tabla 28. <i>Enfermedades producidas por la exposición diaria a la contaminación del aire</i>	62
Tabla 29. <i>Condiciones percibidas de la mala calidad del aire</i>	63
Tabla 30. <i>Frecuencia de tos por día y a la semana</i>	63
Tabla 31. <i>Cuadros gripales en trabajadores</i>	64
Tabla 32. <i>Enfermedades confirmadas por doctor</i>	64
Tabla 33. <i>Sintomas en las ultimas cuatro semanas</i>	65
Tabla 34. <i>Síntomas durante al menos una hora por varios días consecutivos</i>	65

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Propósito del monitoreo de material particulado.....	21
<i>Figura 2.</i> Ubicación del molino Induamerica Trade S.A.	25
<i>Figura 3.</i> Ubicación de los puntos de muestreo Industria Molinera Induamerica Trade S.A.	29
<i>Figura 4.</i> Fuentes fijas de producción de material particulado	30
<i>Figura 5.</i> Instalación de equipos a cargo del personal técnico de la empresa Bambu Enviroware S.A.C.	30
<i>Figura 6.</i> Flujograma del proceso de recepción y secado industrial.. ..	38
<i>Figura 7.</i> Flujograma del proceso de pilado.....	39
<i>Figura 8.</i> Descarga de arroz en cáscara.....	40
<i>Figura 9.</i> Llenado de arroz en cáscara en tolva.....	41
<i>Figura 10.</i> Impurezas del proceso de prelimpia.	41
<i>Figura 11.</i> Área de secado industrial	42
<i>Figura 12.</i> Pilado de arroz.....	43
<i>Figura 13.</i> Producción del polvo durante de limpieza del arroz en cáscara.....	44
<i>Figura 14.</i> Llenado de impurezas en sacos de polipropileno.....	44
<i>Figura 15.</i> Personal de planta sin equipos de protección personal.	45
<i>Figura 16.</i> Puntos de muestreo para material particulado PM ₁₀	47
<i>Figura 17.</i> Puntos de muestreo para material particulado PM _{2,5}	48
<i>Figura 18.</i> Puntos de dispersión de las concentraciones PM ₁₀ y PM _{2,5}	50
<i>Figura 19.</i> Comparación de los niveles de material particulado PM ₁₀ presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA)	51
<i>Figura 20.</i> Comparación de los niveles de material particulado PM ₁₀ presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA).	52
<i>Figura 21.</i> Comparación de los niveles de material particulado PM ₁₀ presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS.....	53

<i>Figura 22.</i> Comparación de los niveles de material particulado PM _{2,5} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS.....	54
<i>Figura 23.</i> Sexo de los entrevistados.....	57
<i>Figura 24.</i> Edad de los encuestados.	57
<i>Figura 25.</i> Cantidad de años que trabaja en la industria molinera Induamerica Trade S.A.	58
<i>Figura 26.</i> Grado de información sobre riesgos para la salud y seguridad en el trabajo	61

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndices 1. Cuestionario para evaluación de las condiciones de trabajo en la industria Induamerica Trade S.A sobre material particulado PM _{2,5} y PM ₁₀ e influencia sobre la contaminación del aire	87
Apéndices 2. Informe de análisis de laboratorio sobre PM ₁₀ y PM _{2,5}	92

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar un análisis de los niveles de material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} emitida por fuentes difusas y puntuales para establecer el Índice de Calidad del Aire de la industria molinera Induamerica Trade S.A. Para determinar las concentraciones de material particulado de la zona interna en la molinera, se establecieron cinco puntos de muestreo, teniendo en cuenta criterios como áreas con mayor emisión de partículas, tiempo de permanencia de los trabajadores en los puntos seleccionados y dirección del viento; además, se aplicó una encuesta a 80 trabajadores para identificar y evaluar el tipo de actividad y la situación de salud de los trabajadores. Dentro del proceso productivo de la empresa se identificaron cuatro puntos críticos de producción directa y difusa de material particulado. La concentración promedio para PM_{10} fue $55,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para $PM_{2,5}$ $28,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estos los valores registrados no superaron los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el D.S. N° 003-2017-MINAM, pero si los establecidos por la Organización Mundial de la Salud. La correlación lineal para ambas concentraciones tuvo un valor de 0,66 y $F= 2,38$; existiendo una ligera relación entre PM_{10} y $PM_{2,5}$. Respecto al Índice de Calidad Ambiental (INCA), la calidad del aire dentro de la industria se encontró en la categoría Bueno. Además, se obtuvo que el 47,5 % de los trabajadores encuestados sufre molestias en las fosas nasales, el 30 % de obstrucción nasal y el 16,3 % de dolor de garganta, esto puede estar relacionado con el índice de exposición del trabajador en áreas donde hay mayor presencia de material particulado, humos y gases.

Palabras claves: Material particulado, industria molinera, contaminación del aire, $PM_{2,5}$, PM_{10} , Induamérica.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the levels of PM_{2,5} and PM₁₀ particulate matter emitted by diffuse and point sources in order to establish the Air Quality Index of the Induamerica Trade S.A. milling industry. To determine the concentrations of particulate matter in the mill's internal area, five sampling points were established, taking into account criteria such as areas with the highest particle emissions, the time workers spent at the selected points, and wind direction; in addition, a survey of 80 workers was conducted to identify and evaluate the type of activity and the health situation of the workers. Within the company's production process, four critical points of direct and diffuse production of particulate matter were identified. The average concentration for PM₁₀ was 55,21 µg/m³ and for PM_{2,5} 28,80 µg/m³. The values recorded did not exceed the Environmental Quality Standards established in D.S. N° 003-2017-MINAM, but did exceed those established by the World Health Organization. The linear correlation for both concentrations had a value of 0,66 and F= 2,38; that is, there is a slight relationship between PM₁₀ and PM_{2,5}. Regarding the Environmental Quality Index (INCA), the air quality within the industry was found to be in the good category. In addition, 47,5 % of the workers surveyed suffered from nasal discomfort, 30 % from nasal obstruction and 16,3 % from a sore throat, which may be related to the worker's exposure index in areas where there is a greater presence of particulate matter, fumes and gases.

Key words: Particulate matter, milling industry, air pollution; PM_{2,5}, PM₁₀, Induamerica.

INTRODUCCIÓN

El planeta tierra posee una capa envuelta de aire al que se le denomina atmósfera, esta contiene nitrógeno, oxígeno y vapor de agua, elementos esenciales para los seres vivos (Domínguez, 2004). Sin embargo, hoy en día la contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más graves a nivel mundial generado por la industria y agricultura, debido al efecto que produce en la salud de las personas principalmente por la emisión de material particulado liberadas por fuentes puntuales y no puntuales sin ningún mecanismo de reducción (Romero *et al.*, 2006; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017). La contaminación por material particulado hacia la atmósfera es la causante del 1,4 % de mortalidad en el mundo; esto se agrava más aún si la contaminación sucede en ambientes interiores sin ningún mecanismo de control (Jiménez, 2017; Buchelli y Reinoso, 2014).

Las actividades laborales del ser humano han permitido transformar muchos bienes; como resultado de los procesos de transformación, no sólo se han obtenido productos útiles para satisfacer nuestras necesidades, sino que también se han liberado grandes cantidades de sustancias de desecho a la atmósfera alterando su composición (Gonzales *et al.*, 2014).

De las diversas actividades humanas, la agroindustria representa un aporte significativo de contaminación a la atmósfera, sobre todo, aquellas que brindan servicios de abastecimiento y procesamiento de materia prima como los molinos de “arroz”, “trigo” y otros (Vargas y Pérez, 2018). La contaminación de la agroindustria es diversa, sin embargo, tiene más importancia las partículas sólidas de polvo disperso en el aire, al ser muchas veces son imperceptibles y fácilmente respirables por las personas, causándoles diversas enfermedades (Wendler, 2018). Por lo que es necesario realizar una evaluación permanente de las partículas en suspensión para conocer la calidad del aire que están respirando las personas en un determinado espacio (Herrera, 2018).

Las causas que alteran la calidad del aire dentro de los ambientes de una molinera son diversas; estas se encuentran asociados a la descarga, el zarandeo, el secado, el pilado, la

presencia de aire cruzado y la falta de sistemas de aspiración industrial (Herrera, 2018; Wendler, 2018). De igual forma Roy *et al.* (2017) y Laverde (2016) manifiestan que la presencia de material particulado se debe al deterioro de máquinas y equipos o al mantenimiento inoportuno de los mismos, ya que, podrían presentar daños, orificios o la falta de piezas importantes, los cuales favorecen la salida o fuga de material particulado al estar en funcionamiento dichas máquinas y como consecuencia afectar potencialmente el ambiente y la salud de los trabajadores.

La contaminación del aire por material particulado, genera efectos en la vida animal, vegetal y la del hombre. Dependiendo de la concentración del contaminante, los efectos sobre las personas pueden ser graves, agudos o inmediatos. Tanto en el hombre y los animales causan irritación de las mucosas respiratorias y deficiencia para respirar (Villacrés, 2015). En los vegetales generan obstrucción de estomas, muerte de hojas y disminución de la fotosíntesis (Prieto, 2016). A nivel mundial se han reportado que las concentraciones de material particulado han afectado la salud de las personas desde 0,6 % hasta 5 % de mortandad por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (García *et al.*, 2006) y entre el 20 y 30 % producen enfermedades respiratorias por la exposición a material particulado en ambientes interiores y exteriores (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2005).

El ser humano inhala diariamente unos $12,3 \text{ m}^3$ de aire, que es una mezcla de gas y partículas tanto líquidas como sólidas. El material particulado PM_{10} pasa a través de la tráquea e ingresa al tracto respiratorio mientras que las partículas $\text{PM}_{2,5}$ debido a su tamaño llegan incluso a depositarse en los sacos alveolares (Sobczak *et al.*, 2019). Según Guevara (2017), es importante conocer las características físicas y químicas de aquella parte del aire que inhalamos durante el proceso de la respiración.

Como parte de una buena gestión en una industria molinera de “arroz” es necesario realizar monitoreos sobre la calidad del aire (material particulado y gases), para evaluar los riesgos que generan al ambiente y las personas; de esta manera, adoptar medidas preventivas adecuadas para prevenir enfermedades laborales en los trabajadores (Montoya, 2018).

En la presente investigación se pretende conocer los niveles de material particulado de $PM_{2,5}$ y PM_{10} emitida por las fuentes difusas y puntuales por la molinera Induamerica Trade S.A. que sería la fuente de contaminación del aire, definiéndose 5 puntos de muestreo para ambas fracciones.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar el material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} emitida por las fuentes difusas y puntuales en el aire de los ambientes internos de la molinera Induamerica Trade S.A.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico situacional de la emisión de material particulado en los ambientes internos de la industria molinera para identificar y localizar puntos críticos de contaminación del aire.
- Determinar los niveles de partículas de material (PM_{10}) con la fracción de ($PM_{2,5}$) dentro de los ambientes internos de la industria molinera.
- Comparar los niveles de partículas de material grueso (PM_{10}) con la fracción fina ($PM_{2,5}$) en los ambientes internos de la industria molinera.
- Comparar los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA) y lineamientos internacionales (Organización Mundial de la Salud) de Estándares de Calidad del Aire, Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en Ambiente de Trabajo y definir la categoría de Índice de Calidad Ambiental (INCA).
- Evaluar los niveles de concentración de particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ con la salud de las personas que laboran en la industria molinera Induamerica Trade S.A.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacionales

Peña y Afanador (2019) evaluaron los niveles de concentración de PM₁₀ emitidos por la industria molinera Roa Flor Huila en la ciudad de Villavicencio en Colombia. El objetivo fue estudiar y analizar la variación de material particulado teniendo en cuenta el comportamiento meteorológico local. La investigación fue práctica y analítica; durante la fase de ejecución instalaron un equipo para la toma de muestras (Hi-Vol) a 235 m de distancia del molino, considerando la dirección del viento y la radiación solar; además, tuvieron en cuenta la opinión de los pobladores quienes ayudaron a definir los lugares más afectados por material particulado. El muestreo fue realizado durante 18 días consecutivos, sin embargo, la toma de datos fue cada 24 horas hasta obtener 18 muestras; para la instalación del equipo siguieron las recomendaciones del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica para la toma de muestras utilizando un muestreador manual de alto volumen (TISCH-Environmental; 1-TSP-AND-PM10), terminado la etapa de muestreo sacaron los filtros del equipo y pesaron haciendo uso de una balanza analítica. La concentración más alta de PM₁₀ fue de 21,80 µg/m³ y la más baja de 6,48 µg/m³, muy por debajo de la normativa colombiana que establece 100 µg/m³ durante 24 horas, la temperatura promedio fue 24,2 °C, velocidad del viento de 1,265 m/s, precipitación de 38,4 mm y humedad relativa de 80,627 %. Concluyeron que los datos registrados durante el periodo de muestreo no exceden el límite máximo permisible, respecto a las variables meteorológicas no evidencio la correlación entre ambas variables puesto que los valores de la velocidad del viento y precipitación fueron muy bajas motivo por el cual la exposición a las actividades realizadas por la molinera se encuentra en condiciones permisibles; sin embargo, se debe tener en cuenta las apreciaciones de la población puesto que presentan reclamos por la presencia de cenizas y material particulado de gran tamaño

que pueden generar daños a la salud no solamente producto de la actividad de la industria molinera sino también por otras fuentes emisoras por combustiones cercanas.

Sobczak *et al.* (2019) desarrollaron una investigación sobre evaluación de la concentración de polvo durante la molienda de grano en la agricultura sostenible; el objetivo fue medir la concentración de polvo orgánico PM_1 , PM_4 y PM_{10} durante la molienda de “trigo” en dos molinos utilizando dos tipos de trituradoras: un molino de martillos y otro de rodillos, en Lublin, Polonia. El material de prueba fue “trigo” con humedad inicial de almacenamiento de 9 % al que humedecieron al 14 % y 18 %. Durante el proceso de muestreo utilizaron un monitor Aerosol DustTrak tipo II que colocaron en la fuente de emisión simulando la misma distancia y posición del personal que manipula la trituradora. También realizaron una prueba de control midiendo la concentración de polvo en la habitación cuando no se realiza el proceso de trituración 5 minutos después. La duración de la medición fue de 60 s, durante este tiempo realizaron 30 mediciones, es decir una cada 2 s. En el estudio utilizaron el PM_4 en lugar del valor típico de $PM_{2,5}$, teniendo en cuenta un fenómeno típicamente que ocurre durante el proceso de molienda dinámica que es la colisión mutua de partículas y resulta de la formación gradual de una cierta cantidad de partículas más finas. Las concentraciones durante el proceso de molienda fueron: $PM_1 = 26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_4 = 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{10} = 53 \mu\text{g}/\text{m}^3$; terminado el proceso de molienda 300 s después hicieron el mismo análisis y los resultados de concentración fueron los siguientes: $PM_1 = 42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_4 = 328 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{10} = 101 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Referente al molino de martillos, al mantener la humedad constante, observaron una disminución significativa de la concentración de partículas orgánicas de la fracción PM_{10} al aumentar el diámetro de las aberturas de la criba y para el molino de rodillos, observaron una tendencia similar al aumentar la abertura de trabajo, aunque sólo para la materia prima con un contenido de humedad del 9 %. Concluyeron que la concentración promedio de polvo orgánico durante la molienda de trigo depende del tipo de maquinaria de molienda y del contenido de humedad del material de entrada; puesto que, un aumento en la humedad del grano al 14 % reduce la producción de PM_{10} al triturar el grano con el molino de martillos. Al mismo tiempo, obtuvieron una relación inversa cuando el grano fue molido utilizando el molino de rodillo. Para ambos molinos, la concentración obtenida de la fracción de polvo de PM_{10} excedió el nivel aceptable, para proteger la salud de las personas, será necesario utilizar equipos de protección contra el polvo o modificar la molienda, cambiando el contenido de humedad del grano y/o los parámetros de molienda.

Herrera (2018) realizó un estudio para identificar material particulado producido por la descarga de “trigo” sobre la calidad del aire en la industria molinera en la ciudad de Ambato, Ecuador. El objetivo fue determinar el nivel de material particulado respirable en los ambientes de descarga de trigo y su repercusión sobre el aire respirable en los trabajadores. El enfoque fue cualitativo cuantitativo, diseño no experimental de nivel exploratorio descriptivo. La población y muestra fueron iguales a doce personas, porque, consideró todas las personas que realizaban la recepción y descarga de la materia prima. Las variables de estudio estuvieron constituidas por: (a) partículas sólidas y líquidas, (b) tamaño del material particulado suspendido, (c) nivel de exposición al material particulado, (d) características de los ambientes de descarga y (e) nivel de daños a la salud. Para la recolección de información tanto de los ambientes y las personas que laboran en la industria molinera utilizó la observación directa, listas de chequeo y la encuesta. Para el monitoreo de material particulado utilizó el equipo EVM 3M-Quest Technologies el que proporcionó información en tiempo real, cuyos valores fueron comparados con la norma UNE-EN 689 (Centro Europeo de Normalización Electrotécnica, 1995) y la Sistemática para la Evaluación Higiénica de la INSHT. Así mismo, en el monitoreo tomó ocho muestras para ser analizadas durante los periodos de actividad tanto el material particulado de tamaño 10, 4 y 2,5 micras. Para el análisis estadístico de las encuestas utilizó la prueba de Chi cuadrado para contrastar la relación entre calidad del aire e incidencia sobre la salud de los trabajadores. Los resultados demostraron que la molinera tuvo una capacidad de producción de 160 toneladas diarias de molienda de “trigo”; según la matriz de riesgo, identificó un riesgo intolerable (descarga de trigo) y tres importantes (limpieza de aire a presión, limpieza a presión del área de descarga de trigo y área de granza), según la lista de chequeo de condiciones de trabajo evidenció que no existe protocolos de manejo de insumos químicos peligrosos, existe desconocimiento sobre enfermedades ocupacionales, desconocimiento sobre mapa de riesgos y el personal no usa adecuadamente los equipos de protección personal. De la encuesta aplicada a los trabajadores el 62,5 % tose más de 4 veces al día, el 62,5 % se ahoga por falta de aire, el 100 % ha tenido gripes en los dos últimos años, el 87,5 % tuvo rinitis y el 37,5 % excesos de estornudos. Concluyó que en los ambientes de descarga encontró el material particulado por encima de los estándares de la norma UNE-EN 689, también constató que los trabajadores al respirar el aire con elevado material particulado presentaron enfermedades respiratorias.

Wendler (2018) realizó un análisis de la carga de material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} generado por la industria molinera de “arroz” en el distrito de los Charrúas, Argentina. El objetivo fue determinar la concentración de material particulado que genera el sector de la molinera de “arroz” en el área urbana del pueblo Charrúas y verificar el cumplimiento del límite de emisión permisible. Para la recolección de muestras tuvo en cuenta los siguientes puntos: recepción de la materia prima, pre limpiado, secado, alimentación, limpieza, separación, descargue de cascarilla, almacenamiento de polvo y recuperación de harinas. Para calcular la cantidad de $PM_{2,5}$ y PM_{10} utilizó factores de emisión establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la capacidad de producción de “arroz” en toneladas por año de la industria. La dispersión de los contaminantes atmosféricos fue calculado a través del Software ISCST-3, en el que consideró un radio de acción 20 km, puesto que los fenómenos que ocurren en la atmósfera no son reproducibles ni controlables; además, tuvo en cuenta variables como la radicación solar y la velocidad del viento de la estación meteorológica “Galileo Galilei”. Como resultados obtuvo que la concentración de PM_{10} a 200 m de radio alcanzó el nivel máximo de $299,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el nivel mínimo de $16,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Concluyó que las construcciones que se encontraron dentro del baricentro geográfico presentaron mayor concentración $PM_{10} = 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superando el umbral del promedio anual establecido por la Organización Mundial de la Salud de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Yuquilema (2018) analizó la presencia de material particulado en los ambientes de empacado de harina en una industria molinera en la ciudad de Ambato, Ecuador. El objetivo fue determinar los niveles de material particulado producido por la industria molinera y los efectos sobre la salud de los trabajadores. El tipo de investigación fue exploratorio, tuvo un enfoque cualitativo y cuantitativo porque recolectó información a través de la observación y encuestas al personal involucrado; además, realizó mediciones haciendo uso de diversos procedimientos. El estudio consideró para aplicar las encuestas a 80 personas que trabajaban en la industria molinera; sin embargo, los participantes directos estuvieron constituidos por la muestra de cuatro trabajadores que desarrollaban actividades directamente en la sección de empaque durante 8 horas diarias y 40 horas semanales. Las variables de investigación fueron material particulado (variable independiente) y salud de los trabajadores (variable dependiente). Para la recolección de información utilizó la observación directa, lista de chequeo y la encuesta con cuestionario AST-78 de la Sociedad Americana de Tórax; para la

medición de material particulado $PM_{2,5}$ utilizó el método equipo de difracción de rayos láser. Durante la etapa de monitoreo tomó ocho muestras con cinco repeticiones, cuyo valor permisible fue de $0,5 \text{ mg/m}^3$. Para el análisis estadístico de la encuesta utilizó el Chi cuadrado que permitió valorar la opinión de los trabajadores en relación a la incidencia entre la presencia de material particulado y su efecto sobre su salud. Los resultados obtenidos del análisis de la concentración del material particulado respirable fueron: sector de empaque uno $1,71 \text{ mg/m}^3$, empaque dos $2,11 \text{ mg/m}^3$, cocido de empaque $3,83 \text{ mg/m}^3$, limpieza $10,19 \text{ mg/m}^3$ y empaletizado $1,60 \text{ mg/m}^3$. Estos valores sobrepasaron los límites permisibles, implicando un riesgo alto para la salud de las personas que laboran en estos ambientes. Según el cuestionario ATS-78 concluyó que los trabajadores presentaron afecciones a la salud como rinitis y gripas, el nivel más alto de riesgo por $PM_{2,5}$ fue evidenciado en el área de limpieza en la que determinó un escaso conocimiento sobre contaminación por material particulado por parte de los trabajadores que se encontraban expuestos al empaque de harina.

Jiménez (2017) realizó un estudio en los ambientes de secado de “arroz” de la empresa molinera Agrigloma S.A., en la provincia de Guayaquil, Ecuador. El objetivo fue conocer las concentraciones de material particulado producidas por el área de secado de la empresa con la finalidad de elaborar una propuesta de mejoramiento de los ambientes de secado, minimizar los riesgos de exposición por material particulado respirable y prevenir enfermedades que afecten la salud de los trabajadores. La investigación fue de tipo no experimental y utilizó la observación directa y exploratoria para identificar los problemas existentes en los interiores de la planta molinera y posterior descripción y análisis. Para identificar los posibles riesgos existentes utilizó el método probabilístico Fine, llegando a recolectar datos de identificación, localización y valoración de los factores de riesgo e identificar el grado de peligrosidad de cada riesgo. Así mismo, aplicó el método gravimétrico para evaluar el nivel de material particulado basado en el procedimiento del método NIOSH 0500 y cumplir con las normas de Administración de Seguridad y Salud Ocupacional [OSHA] y de la Conferencia de Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales [ACGIH]. Las variables de evaluación fueron: (a) el material particulado y (b) tipificación y valorización de riesgos. Los principales resultados que obtuvo, fue que, de los riesgos analizados, la presencia de polvo orgánico tuvo una repercusión de nivel alto según el Método Fine y el área de secado presentó un nivel de 251 mg/m^3 ; así mismo, al compararlo

con los límites permisibles OSHA y ACGIH determinó que el nivel material particulado puede afectar significativamente la salud de las personas a corto y largo plazo o de manera irremediable. Concluyó que la empresa debe implementar equipos de protección personal a los trabajadores, elaborar protocolos de procedimientos, ejecutar un programa de capacitación e instalar campanas extractoras para la reducción de diversas partículas emitidas al aire.

Martínez *et al.* (2017) realizaron un estudio sobre el comportamiento de la fracción de material particulado en espacios adyacentes a un molino de “arroz”. El objetivo fue determinar la concentración de material particulado PM₁₀ emitido por la industria molinera en la Habana-Cuba. El estudio fue descriptivo, el universo estuvo constituido por las concentraciones producidas en los 15 días de muestreo. Instalaron ocho puntos de muestreo de los cuales realizaron 52 lecturas teniendo como principal referencia la orientación del viento y las quejas de la población. En el monitoreo aplicaron los procesos analíticos a través del método gravimétrico para material particulado menores a 10 micras de tamaño. También utilizaron el muestreador de partículas PM₁₀ ECHO PM, los valores de ambos métodos fueron comparados con la norma UNE-EN 12341, 1999. El análisis de resultados lo realizaron usando del *software* SPSS versión 15, para realizar un análisis de tendencia central, normalidad de distribución y porcentaje de transgresión. Como resultados determinaron que la concentración promedio de PM₁₀ fue de 89,105 µg/m³, de las 52 muestras analizadas, solamente en 4 de ellas los valores obtenidos fueron menores que los establecidos en la norma NC 1020:2014 para 24 horas. Concluyeron que solo el 10 % de los puntos de monitoreo estudiado no sobrepasaron los límites de la Norma Cubana 1020:2014 y que el 80 % restante de concentraciones de material particulado PM₁₀ duplicaron su valor en un periodo de 24 horas y en los días que el molino paralizó sus actividades las concentraciones obtenidas fueron menores.

Roy *et al.* (2017) desarrollaron una investigación sobre la concentración de partículas gruesas PM₁₀ en el ambiente de Bangladesh Small and Cottage Industries Corporation (BSCIC) producidas durante el pilado de “arroz” y la producción de aceite de “coco”. El objetivo fue evaluar el impacto en la salud de las personas. El estudio tuvo un diseño no experimental y fue desarrollada en el complejo agroindustrial de la división de Khulma entre

los meses de noviembre del 2015 a enero del 2016, considerando una temperatura promedio entre 19 °C y 23 °C, velocidad del viento de 2 km/h y 11 km/h y precipitación de 8 mm mensual. Para el muestreo de aire eligieron molinos de procesamiento de “arroz”, molinos de fabricación de aceite de “coco”, molinos de procesamiento de estaño, molinos de procesamiento de galletas y molinos de procesamiento de legumbres. Analizaron datos cuantitativos y cualitativos recogidos de 14 muestras de aire a través de un muestreador de partículas PM₁₀ Envirotech APM541 en un tiempo de muestreo de 6 horas en puntos elegidos a criterio de los investigadores. Los volúmenes registrados fueron llevados al laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de Khulna para ser analizados a través del método gravimétrico y determinar las concentraciones de PM₁₀ en µg/m³. A través de la técnica de muestreo aleatorio simple aplicaron un cuestionario a 50 trabajadores (21 en molinos de “arroz”, 20 en molinos de procesamiento de “coco” y 9 en otros molinos) considerando algunos síntomas como irritación ocular, broncoconstricción, estornudos frecuentes, arritmia, falta de aliento y aparición de flemas; para el procesamiento de los datos utilizaron los programas MS Excel versión 2013 e IBM SPSS Statistics versión 21. Los resultados demostraron que la concentración de PM₁₀ incrementó de acuerdo a las zonas de la industria molinera: externa e interna. En el molino de “arroz” fueron registrados valores de 390 a 438 µg/m³ (zona interna) y 78,32 a 82,42 µg/m³ (zona externa); en el molino de aceite de “coco” 157,49 µg/m³ (zona interna) y 45,83 µg/m³ (zona externa). Respecto a la encuesta, el 52 % de la población encuestada utilizaba solo un trozo de tela como mascarilla, el 12 % afirmó que los equipos de protección personal (EPP) eran ineficientes, el 11 % sentía falta de aire, el 22 % sentía opresión en el pecho, el 22 % tenía arritmia y el 65 % del personal que trabajaba en los molinos de “arroz” tenían estornudos frecuentes. Concluyeron que las concentraciones de PM₁₀ dentro de los molinos superaron el umbral de la norma y los porcentajes más altos de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y broncoconstricción se encontraban dentro de los mismos, por lo que se debe implementar los EPP en los trabajadores bajo estrategias de capacitación permanente y vigilancia, además, mejorar los sistemas de filtro y ventilación de las molineras.

Fuentes *et al.* (2004) realizaron un estudio de investigación sobre las partículas respirables en ambientes interiores de industrias molineras localizados en el departamento de San Salvador, El Salvador. El objetivo fue determinar la presencia de material particulado en los ambientes laborales de las empresas molineras y conocer el estado situacional de trabajo y

afectaciones a la salud que tengan los trabajadores. La investigación tuvo diseño experimental y alcance transversal; la población estuvo constituida por seis empresas molineras para el estudio, siendo la muestra igual a la población, del cual tomaron dos muestras de monitoreo de aire de cada empresa molinera. Para el muestreo de material particulado utilizaron Bombas de Flujo Constante en los ambientes de descascarado y llenado (lugares donde había mayor presencia de polvo y mayor exposición de los trabajadores). También aplicaron encuestas a los trabajadores para conocer si el trabajo que realizaban y el tiempo de exposición afectaban su salud. Para realizar el análisis cuantitativo de datos sobre material particulado utilizaron el programa Excel y para el análisis de correlación simple de las variables: síntomas y concentraciones de partículas respirables utilizaron el *software* SPSS versión 9 al 5 % de significancia. Los principales resultados que obtuvieron fueron que las partículas respirables en los 6 puntos de muestreo del área beneficio de llenado estuvieron entre rangos de 7,19 y 49,72 mg/m³ y en el área de descascarado entre 26,38 mg/m³ y 78,76 mg/m³, estos valores superaron los 4 mg/m³ límites permitidos por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), la correlación entre las concentraciones de llenado y descascarado que presentaron 31 encuestados no fue significativa. Concluyeron que el material particulado presente en las molineras de San Salvador podría ocasionar efectos negativos en la salud a largo plazo siempre que los trabajadores estén expuestos a periodos prolongados de exposición y sin los equipos de protección personal adecuados.

1.1.2. Nacionales

Alvarado (2019) desarrolló un estudio sobre evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en las piladoras Rey León S.A.C y Santa Clara, Cacatachi – 2018; con el objetivo de determinar la calidad de aire producto de la emisión de material particulado PM_{2,5} y PM₁₀ en dos industrias molineras en el distrito de Cacatachi, Tarapoto. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, diseño descriptivo correlacional y muestreo no probabilístico debido que los elementos de estudio no pudieron ser analizados en su totalidad. La muestra estuvo conformada por un área de 500 y 900 m², como instrumento de recolección de datos usó un cuestionario para obtener información sobre el nivel de conocimiento respecto al material particulado de 40 trabajadores de ambas industrias arroceras. El estudio consideró como variable independiente la concentración de material particulado y variable dependiente la calidad del aire. Para determinar la calidad del aire

realizó un muestreo que fue analizado en el laboratorio NSF International e ITS DEL PERÚ y para conocer el estado de salud de los trabajadores y determinar cuánto conocen respecto a material particulado aplicó un cuestionario de 15 preguntas; los datos recolectados fueron procesados aplicando el programa estadístico SPSS y la contrastación de la hipótesis lo hizo mediante la prueba de Scott-Knott ($p < 0,05$). Los resultados obtenidos sobre material particulado para la molinera Rey León S.A.C. fueron: $PM_{10} = 3494,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{2,5} = 418,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para la piladora Santa Clara los valores fueron: $PM_{10} = 3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{2,5} = 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. El estadístico de Spearman alcanzó el factor de 0,900, y un p valor igual a 0,000 ($p\text{-valor} < 0,05$) indicando que, a mayor nivel de emanación de material particulado, el nivel de calidad del aire es más afectado. Según el informe de exámenes médicos ocupacionales de los trabajadores en las que consideró evaluaciones psicológicas, de radiografía, de audiometría y espirometría; los trabajadores estuvieron en condiciones normales de salud, indicando que el material particulado no influye en la salud de los trabajadores debido a que rotaron en periodos menores a dos años. Concluyó que ambas industrias superaron los niveles de concentración de material particulado con relación a los ECAs para aire de acuerdo al D.S. N° 003-2017-MINAM; por ello, recomienda como una necesidad la implementación de sistemas cerrados, para controlar las emisiones, que afectan la calidad del aire.

Cieza y Torres (2022) desarrollaron un estudio sobre medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo ocupacional SO_2 , NO_2 , CO, H_2S y material particulado PM_{10} en el molino Chiclayo SAC, en el departamento de Lambayeque. El objetivo fue calcular los niveles de concentración de gases y PM_{10} ; así como; determinar riesgos internos y establecer medidas preventivas para mitigar los efectos de gases y PM_{10} en los trabajadores. La investigación tuvo alcance descriptivo propositivo, enfoque cuantitativo, diseño no experimental y tipo transversal. La población estuvo constituida por 50 trabajadores, la misma que fue considerada como muestra. Como método utilizaron el análisis documental, monitoreo ambiental y encuesta para determinar los factores de riesgo en los trabajadores por exposición a gases y PM_{10} , finalmente propusieron los PETS (procedimientos de trabajo seguro) para aplicarlo en el Molino Chiclayo SAC. Como resultados determinaron que el promedio de PM_{10} en la zona interna de la molinera fue de $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_2 $1,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$; CO $214,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y H_2S $0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores que se encontraron por debajo de los ECA debido que las mediciones se hicieron en un mes de baja producción y las máquinas

estaban en mantenimiento. Respecto al tiempo de trabajo del personal el 32 % tenía 3 años de antigüedad, el 24 % 2 años y el resto menos de un año; del total de los encuestados, el 88 % laboraba en planta y el 12 % eran administrativos. Luego de aplicar la encuesta determinaron que el 46,2 % los trabajadores presentaban problemas al respirar, alergias, irritaciones y garrasperas en la garganta. Las áreas que presentaron mayor riesgo fueron: descascarado, añejado y pulido. Concluyeron que todas las áreas de producción, calidad y mantenimiento, están expuestos a riesgos de exposición por material particulado a un nivel moderado y alto, las personas que tienen más edad y más tiempo trabajando en la empresa padecen de enfermedades respiratorias con mayor frecuencia.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Contaminación atmosférica

Carnicer (2008) define a la contaminación atmosférica como la presencia de sustancias que modifican o alteran la calidad del aire de modo que, ocasiona riesgos para la salud de las personas y animales y altera el ambiente que los rodea.

La contaminación del aire en la actualidad representa uno de los problemas más graves a nivel global, cada año miles de personas padecen enfermedades respiratorias por el incremento de partículas en la atmósfera. La contaminación del aire provoca un aproximado de 9 millones de muertes por año a nivel del mundo, el 50 % del total es a causa de la presencia de PM_{2,5} en el ambiente (Medina, 2019).

1.2.2. Origen de los contaminantes atmosféricos

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y Organización Panamericana de la Salud (CEPIS/OPS, 2004) señalan que, las fuentes de contaminación del aire se dividen en: antropogénicas y naturales. Del mismo modo el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2018), los clasifica como: fuentes biogénicas o naturales (propias de la naturaleza y que estas corresponden a emisiones volcánicas, incendios, erosiones de suelo y polvos) y las fuentes antropogénicas (producto del desarrollo de actividades que ejecutan las personas desde las industrias, quema de residuos materiales y la combustión de motores de

vehículos). Las fuentes antropogénicas se dividen en: (a) fuentes fijas, situados en un sitio particular inamovible y (b) fuentes móviles, que se desplazan de un lugar a otro.

1.2.3. Evaluación ambiental

La evaluación ambiental es un proceso de valoración de efectos que se generan sobre el ambiente por un determinado proyecto a fin de tratar una incertidumbre que podría afectar algún factor ambiental (Garmendia *et al.*, 2005). La evaluación ambiental es muy importante porque permite medir, prevenir y mitigar efectos ambientales que origina la puesta en marcha de un proyecto que podría alcanzar consecuencias fatales sobre el ambiente. Para la realización de una evaluación ambiental según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SENAMARNAT, 2011) es necesario tener en cuenta los siguientes pasos:

- Tipificación de objetivos.
- Integración de información técnico.
- Ubicación y superficie del proyecto.
- Caracterización ambiental (componentes naturales, sociales y económicos).
- Identificación de efectos ambientales (importancia y magnitud).

1.2.4. Material particulado

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2017) señala que el material particulado es un conglomerado de partículas diminutas sólidas y líquidas que están suspendidos en el aire. Según Salinas (2012) poseen diferentes características físicas, químicas y de tamaño, dependiendo de la fuente de emisión.

Arciniégas (2012) sostiene que en el mundo los contaminantes atmosféricos como el material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ han causado gran preocupación debido al incremento producto de las actividades humanas e incluso naturales; poseen propiedades morfológicas, físicas y químicas que al ingresar al organismo pueden acumularse en diversos tejidos y causar enfermedades. Además, su presencia en la atmósfera produce impactos negativos en

la vegetación como la disminución de la tasa fotosintética que realizan las hojas, incluido a ello la disminución visual hacia la atmósfera.

Mosqueira (2019) sostiene que el material particulado es causante de efectos genotóxicos, mutagénicos y carcinógenos; están relacionados con la salud respiratoria de las personas. Investigaciones epidemiológicas han demostrado que la exposición a elevadas concentraciones de dicho material causa enfermedades como asma, disminución de la función respiratoria y flujo espiratorio máximo (García *et al.*, 2006).

a. Clasificación del material particulado

Garrido y Camargo (2012) manifiestan que las partículas respirables se clasifican en primarias y secundarias. Las primarias son liberados directamente al medio atmosférico y conservan su forma y composición química. Sin embargo, las secundarias son muy finas que tienden a reaccionar en la atmósfera y sufren modificaciones fisicoquímicas. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2017) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005) clasifican al material particulado según su tamaño, en material grueso (10 μm) y fino (2,5 μm). Similar clasificación añade la secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SENARNAT, 2013).

- **El PM 10.** Es aquel material aerodinámico con un diámetro menor a 10 micras. Este contaminante impacta en las vías respiratorias superiores, pudiendo alojarse en la tráquea o en los bronquios.
- **El PM 2,5.** Es aquel material particulado respirable más pequeño menor a 2,5 micras. Este contaminante es capaz de alcanzar las vías respiratorias inferiores, pudiendo llegar incluso a la sangre a través de los alvéolos pulmonares, pueden producir efectos respiratorios y crónicos.

b. Fuentes de liberación de material particulado

La Agencia de Protección Ambiental [EPA], (1998) señala que las fuentes de emisión de material particulado pueden ser clasificados en fuentes de punto y fuentes de zona:

- **Fuentes de punto.** Estas son propios de instalaciones agroindustriales, industriales y servicios estatales comerciales.
- **Fuentes de zona.** Se caracterizan por ser emisiones que se producen y dispersan en el espacio terrestre (vehículos, agricultura, actividades de la construcción, carreteras). En ambos casos se puede mencionar que existen emisiones fugitivas que aportan partículas PM_{10} y $MP_{2.5}$.

Rojano *et al.* (2015) manifiestan que las fuentes de contaminación atmosférica por material particulado y otros elementos como óxido de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono, metales pesados y óxido nítrico provienen de fuentes estáticas, móviles y naturales.

- **Fuentes estáticas.** Comprende un conjunto de fuentes que puede subdividirse en (a) fuentes zonales: minas, canteras, zonas industriales; (b) localizadas y zonales: fábricas de productos químicos y minerales; (c) fuentes municipales: edificios, incineradores de residuos sólidos, chimeneas de cocinas y plantas de depuración.
- **Fuentes móviles.** Aquí principalmente se encuentran todo tipo de vehículos tanto terrestres y de aire.
- **Fuentes naturales.** Se encuentran en zonas erosionadas, erupciones volcánicas, polen y otros.

1.2.5. Efectos de la contaminación por material particulado

El material particulado se encuentra en el grupo de los contaminantes criterio, entre ellos se encuentran: el ozono, el dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno, el monóxido de carbono y plomo; estos compuestos afectan a la salud humana y de los ecosistemas. El material particulado PM_{10} es denominado contaminante criterio puesto que produce asma y enfermedades respiratorias cardiovasculares, su exposición por prolongados periodos puede provocar un incremento en la morbilidad de las personas. Sin embargo, los $PM_{2.5}$, tienden a causar otras enfermedades y afectar la vida de los fetos en las gestantes (SENARNAT, 2013).

El SENARNAT (2013) también señala que la afectación por material particulado no solo es percibida por las personas, sino también por los ecosistemas. Por ejemplo, el polvo puede

obstruir los poros de las hojas y afectar el proceso fotosintético y por otra parte la contaminación secundaria puede alterar la nutrición de las plantas, favorecer la corrosión y acidificar el agua por la presencia de partículas ácidas. Este punto de vista lo comparte Dalmasso *et al.* (1997) al señalar que los efectos por polvo atmosférico sobre las plantas provocan obstrucción de estomas, reducción de fotosíntesis y déficit en el crecimiento.

Garrido y Camargo (2012) señalan que la presencia de material particulado en el aire, representa un peligro para las personas por las alteraciones que genera al ser inhaladas. El mismo punto de vista describe el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016) al señalar que las vías respiratorias son la puerta de ingreso al organismo de las personas y esto se agrava más dependiendo del tamaño de la partícula, debido a que mientras más fino, es más fácil eludir los sistemas de defensa del tracto respiratorio.

1.2.6. Parámetros del material particulado

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005) ha establecido valores de estándar de calidad del aire que instan a salvaguardar la salud de las personas y proteger el ambiente. Estos valores son medidas que determinan la concentración de un contaminante y reflejan indicios de información y alerta para tomar decisiones de control sobre el ente emisor (Tabla 1). El Ministerio del Ambiente [MIMAN] mediante Decreto Supremo N° 003-2017; orienta, que son los Estándares de Calidad Ambiental del aire [ECA] como referente obligatorio para las actividades orientadas a la extracción, servicio y de producción que emitan emisiones a la atmósfera (Tabla 2).

Tabla 1

Valores de material particulado en el aire, considerados por la OMS

Material particulado	Valor
PM _{2,5}	10 µg/m ³ , media anual
	25 µg/m ³ , media de 24 horas
PM ₁₀	20 µg/m ³ , media anual
	50 µg/m ³ , media de 24 horas

Nota: Tomado OMS (2005).

Tabla 2*Valor estándar de calidad ambiental del aire para material particulado*

Material particulado	Valor
PM_{2,5}	50 µg/m ³ (24 h)
	25 µg/m ³ (anual)
PM₁₀	100 µg/m ³ (24 h)
	50 µg/m ³ (anual)

Nota: MINAM (2016).

El MINAM (2016) también ha establecido los Índice de Calidad del Aire [INCA], con el objetivo de cuantificar y notificar el estado actual de la calidad del aire que producen instituciones, empresas públicas y/o privadas que emiten de manera directa, indirecta o fugitiva. Este se divide en cuatro categorías que se describen a continuación (Tabla 3 y 4):

Tabla 3*Niveles del Índice de Calidad Ambiental para material particulado PM₁₀*

Material particulado PM₁₀ promedio 24 horas			
Intervalo del INCA	Categoría	Rango de concentraciones (µg/m ³)	Ecuación
0-50	Bueno	0-75	
51-100	Moderado	76-150	PM ₁₀ =
101-167	Malo	151-250	[PM ₁₀] *
> 167	Umbral de cuidado	> 250	100/100

Nota: Adaptado del MINAM (2016).

Tabla 4*Niveles del Índice de Calidad Ambiental para material particulado PM_{2,5}*

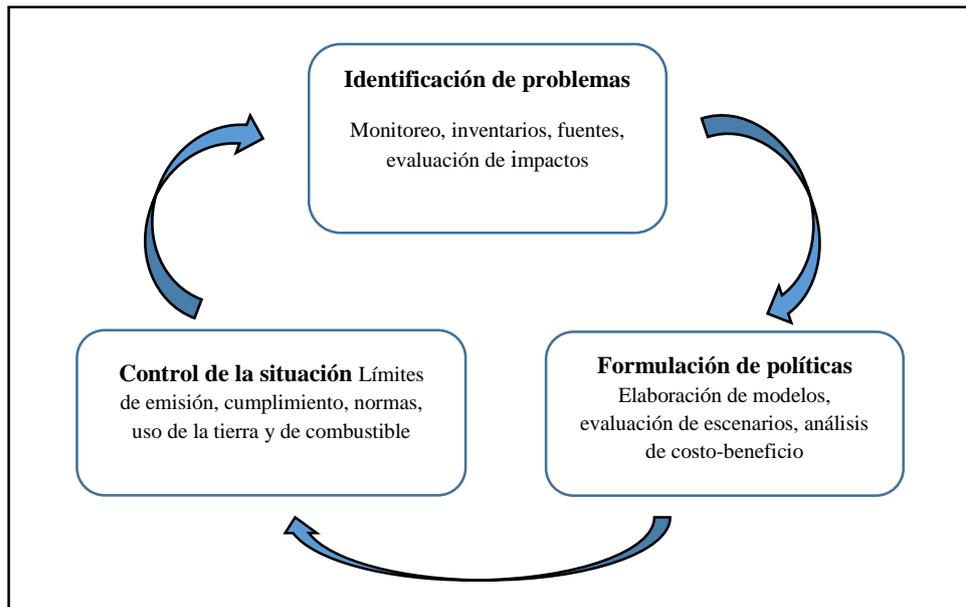
Material particulado PM_{2,5} promedio 24 horas			
Intervalo del INCA	Categoría	Rango de concentraciones (µg/m ³)	Ecuación
0-50	Bueno	0 -12,5	PM _{2,5} = [PM _{2,5}] * 100/50
51-100	Moderado	12,6-25	
101-500	Malo	25,1-125	
> 500	Umbral de cuidado	>1 25	

Nota: Adaptado del MINAM (2016).**1.2.7. Monitoreo de material particulado**

Herrera (2018) señala que el monitoreo atmosférico cumple un rol primordial para proponer patrones sobre el estado situacional de calidad del aire; es decir, es necesario establecer relaciones entre las concentraciones de contaminante y daños en la salud de las personas, para determinar el tipo de contaminante y fuente de emisión y proponer estrategias de solución. La OMS (2005) manifiesta que el propósito de un monitoreo de calidad del aire es proveer de información que ayude a los responsables a planear y plantear estrategias que orienten la gestión y el establecimiento de objetivos claros para el control de situaciones que se presenten en ambientes internos y externos (Figura 1).

Figura 1

Propósito del monitoreo de material particulado



Nota: Adaptado de la OMS (2005).

La Ley General del Ambiente N° 28611 (2005) pone de manifiesto la importancia de velar en el control de emisiones y protección de la calidad del aire (artículos 117 y 118); además, exige a las empresas adoptar las medidas de prevención y control de los riesgos y daños ambientales e incide en la producción limpia por parte de las empresas (artículos 75 al 78). También hace mención que las emisiones deben estar vigiladas por los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental, cuyas infracciones son acciones de sanción y multas. El artículo 117 atribuye los organismos competentes de las medidas de prevención, cautela y control ambiental y epidemiológico a fin de asegurar la conservación, mejoramiento y recuperación de la calidad del aire, según sea el caso.

Sin embargo, la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo N° 29783 (2011) en los artículos 56 y 57 expone que las empresas de diferente índole deben prever la exposición a agentes biológicos, físicos, químicos y ergonómicos de los trabajadores. Estas áreas o espacios deben ser sometidos a evaluaciones y monitoreo de riesgos siguiendo una línea temporal de una vez por año como mínimo.

Las metodologías y protocolos que se han diseñado para el muestreo, análisis y procesamiento de material particulado presente en el ecosistema aéreo están enfocadas en un lugar y un tiempo determinado. Es importante el diagnóstico y la recolección de datos para poder compararlos con los estándares de calidad ambiental; esto permitirá, realizar estudios epidemiológicos, especificar tipos y fuentes emisoras, llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo e implementar programas sobre el manejo de la calidad del aire (Roy *et al.*, 2017).

1.2.8. Calidad del aire y su relación con la industria molinera de “arroz”

La calidad del aire es un estándar ambiental universal, este, posee características físicas y químicas definidas que aseguran la excelencia del recurso para garantizar la calidad de salud y el bienestar de las personas; si ésta es alterada su influencia está directamente relacionada con la salud de los ecosistemas y de los seres vivos que lo habitan. Para Peña y Afanador (2019) y Najjar y Álvarez (2007), los molinos de “arroz” durante el proceso de pilado del grano contribuyen en cierta parte a la polución atmosférica debido a su falta de renovación o a la adquisición de tecnologías limpias. Dentro de los contaminantes que se han registrado están polvos, humos y gases que representan peligros para la salud humana, los ecosistemas naturales y la agricultura. Según Reátegui (2018), el aire contaminado con partículas y gases es un determinante para la salud, puesto que los riesgos de mortalidad y morbilidad se incrementan especialmente con enfermedades cardíacas, respiratorias, cáncer al pulmón entre otros.

Según Riojas-Rodríguez *et al.* (2016), la contaminación atmosférica se ha convertido en un problema de salud pública; esto se agrava, puesto que los sitios de monitoreo de la calidad del aire son limitados; por lo que, se debe fortalecer y mejorar las redes de monitoreo y ampliar la cobertura en las industrias molineras considerando la recolección de muestras tanto en ambientes externos e internos.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La presente investigación tuvo enfoque cuantitativo porque se recolectó datos mediante mediciones numéricas sobre material particulado producidos en las instalaciones de la industria molinera y luego se aplicó una encuesta a 80 trabajadores, posteriormente se realizó el análisis de datos para responder las preguntas de investigación y contrastar las hipótesis planteadas (Hernández *et al.*, 2014). El diseño fue no experimental transversal de tipo descriptivo; es decir, se estudiaron los fenómenos tal como se observaron en la realidad; así mismo, se describió la relación entre las variables de estudio en un espacio y tiempo determinado, conforme a lo expresado por Cortés y Iglesias (2004).

2.2. Lugar y fecha

La investigación se realizó en la carretera panamericana norte km 775 provincia de Chiclayo, región de Lambayeque a una altura de 8,4 m s.n.m. El distrito presenta un clima cálido, templado (mayor parte del año) y seco, en verano alcanza una temperatura que oscila entre los 20 y 34 °C y en invierno una temperatura mínima de 11 °C. La precipitación promedio va desde 0,2 mm hasta 8,8 mm por año con humedades relativas que oscilan entre 65 y 85 % (Gobierno Regional de Lambayeque, 2016).

El estudio se realizó basado en los siguientes criterios técnicos: (a) características de emisión, (b) acceso a los equipos de monitoreo y (c) ubicación de la industria molinera. El molino Induamerica Trade S.A. se encuentra ubicado en la carretera Panamericana Norte

kilómetro 775, colinda con la zona urbana de Chiclayo y posee un área construida de 8 363 m² (Tabla 5 y Figura 2).

Tabla 5

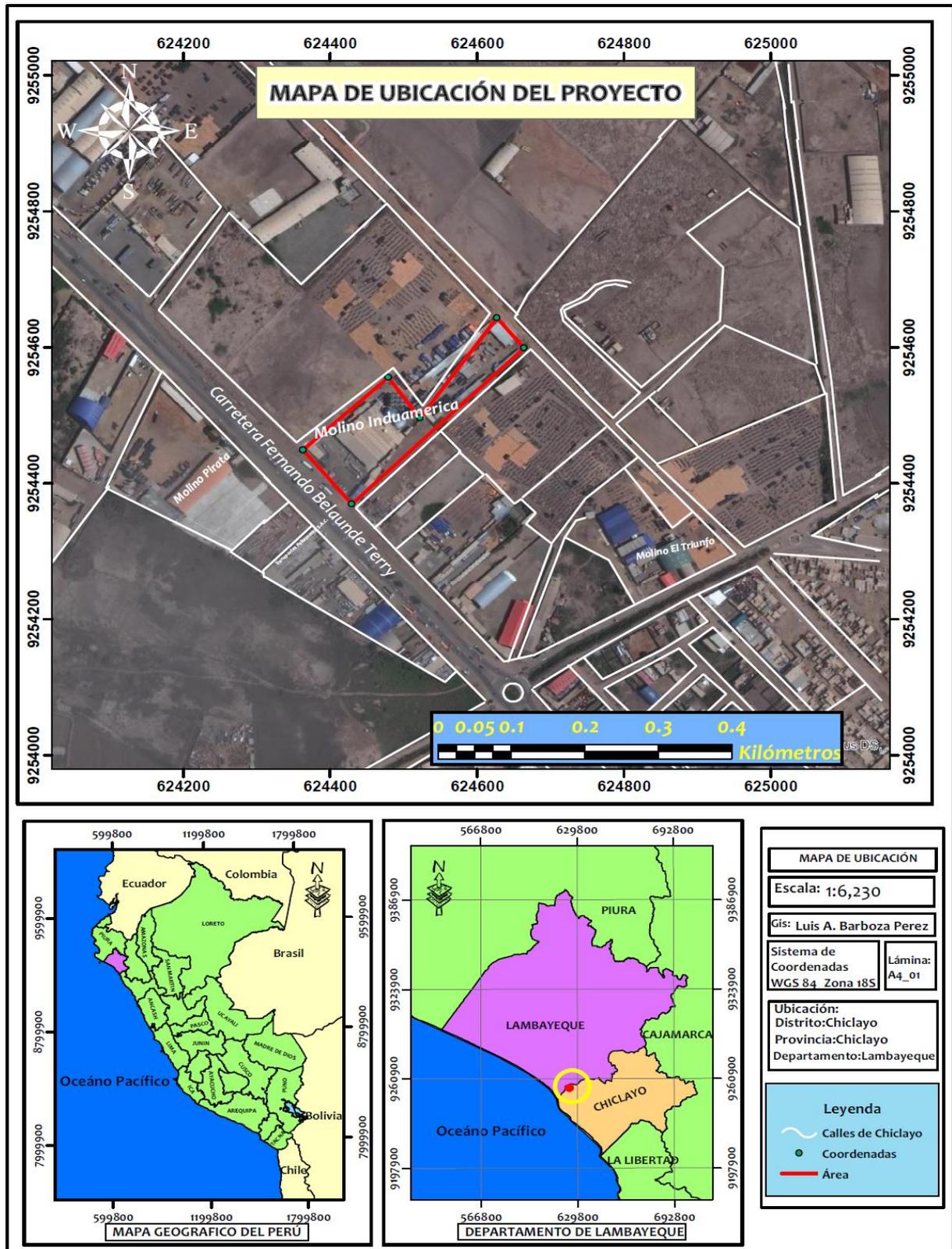
Coordenadas UTM de la ubicación geográfica de la industria molinera Induamerica Trade S.A.

Coordenadas UTM	X	Y
P1	0624429	9254369,3
P2	0624363	9254449,1
P3	0624479	9254555,6
P4	0624522	9254496,3
P5	0624627	9254643,2
P6	0624664	9254599,1

La fecha de ejecución de la de investigación fue a partir del 12 de setiembre del año 2019 y culminó en 15 de febrero del año 2021.

Figura 2

Ubicación del molino Induamerica Trade S.A.



2.3. Población y muestra

La población estuvo constituida por el material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} presente en los ambientes internos donde se realizan las actividades de operación (maquinaria y equipos) y los ambientes externos donde se encuentran las zonas de estacionamiento de descarga, almacén de pajilla, secado de “arroz” a campo abierto y otros haciendo un total de 11 000 m^2 .

Para la recolección de muestras de material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} se establecieron 5 puntos de muestreo (P1, P2, P3, P4 y P5) en la parte interna de la industria, todos ubicados estratégicamente previa inspección y observación in situ (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2019).

2.4. Técnicas e instrumentos

2.4.1. Técnicas

- Muestreo del aire por filtración: Permite captar las partículas en filtros de un tamaño de poro determinados por mecanismos como impactación, interceptación, difusión y fuerzas eléctricas o gravitacionales (Culver, 2015).
- Separación inercial/filtración (Gravimetría): Es un método analítico cuantitativo en el cual la determinación de la sustancia se realiza mediante la diferencia de pesos (Peña y Afanador, 2019).
- La encuesta preguntas mixtas (dicotómico y politómico): Permite recolectar información cuantitativa o cualitativa de la muestra de estudio (Cortés y Iglesias, 2004).

2.4.2. Instrumentos

- Registro de identificación de puntos críticos de material particulado.
- Muestreador de partículas PM_{10} marca Thermo Scientific, modelo HIVOL PM-10 (HIVOL-BVBBD).
- Muestreador de partículas $PM_{2,5}$ marca Tisch, modelo Tisch 2410-BBV.

- Cuestionario para evaluación de las condiciones de trabajo en Induamerica Trade S.A. sobre material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} e influencia sobre la contaminación del aire.

2.5. Descripción de la investigación

Las etapas del presente trabajo de investigación fueron las siguientes:

2.5.1. Fase preliminar de campo

- Se presentó la propuesta de investigación a la gerencia general de la industria molinera Induamerica Trade S.A., en la que se sustentó la importancia de realizar una evaluación ambiental por emisiones de material particulado y cuáles podrían ser sus efectos en la salud de los trabajadores.
- Se estableció un compromiso con la industria molinera para brindar a los tesisistas herramientas, insumos e información durante la ejecución del proyecto de tesis. Además, en mutuo acuerdo se procedió a contratar a la empresa que realizó el monitoreo ambiental.
- Se solicitó a la industria molinera mapas, planos y el tipo de tecnología utilizado en el procesado de arroz; además, se realizó la búsqueda de bibliografía especializada sobre la situación ambiental referente a $PM_{2,5}$ y PM_{10} en zonas adyacentes al área de estudio.

2.5.2. Fase de campo

Teniendo en cuenta la normativa peruana DS-010-2019-MINAM, Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire, la dirección del asesor y el equipo técnico de la empresa BAMBU ENVIROWARE S.A.C., quién estuvo a cargo del muestreo de material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} , se procedió a identificar cinco puntos de muestreo en la parte interna (Tabla 6 y Figura 3), para ello se tuvo en cuenta los siguientes criterios: las áreas con mayor emisión de partículas, el tiempo de permanencia de los trabajadores en los puntos seleccionados, la dirección del viento y suministro de energía eléctrica para abastecer a los equipos de medición por un tiempo de 24 horas como por ejemplo el área de secado que se muestra en la Figura 4 ([SEMARNAT], 2013; Capuena y Angulo, 2017).

También se evaluó junto con el personal de planta el proceso operativo que realiza cada unidad (etapa de acondicionamiento, trilla o pilado y disposición de subproductos) que podrían estar emitiendo emisiones fugitivas o difusas. Para este proceso se utilizó un diagrama de flujo.

Se procedió a instalar los equipos: muestreador de partículas PM₁₀ marca Thermo Scientific, modelo HIVOL PM-10 (HIVOL-BVBBD) y muestreador de partículas PM_{2,5} marca Tisch, modelo Tisch 2410-BBV (Figura 5)

Tabla 6

Georreferenciación de los puntos de muestreo

Coordenadas UTM	X	Y
P1-Interno	0624 496	9254 522
P2-Interno	0624474	9254524
P3-Interno	0624515	9254504
P4-Interno	0624402	9254418
P5-Interno	0624632	9254625

Figura 3

Ubicación de los puntos de muestreo industria molinera Induamerica Trade S.A.



Figura 4

Fuentes fijas de producción de material particulado (área de secado)



Figura 5

Instalación de equipos a cargo del personal técnico de la empresa BAMBU ENVIROWARE S.A.C. (Zona externa del área de secado)



a. Metodología de muestreo

– Material Particulado Respirable (PM₁₀)

Para el muestreo de PM₁₀ se utilizó un equipo marca Thermo Scientific, modelo HIVOL PM-10 (HIVOL-BVBBD) de alto volumen, cuyo funcionamiento consiste en aspirar aire del ambiente a flujo constante de 1,13 m³/min +/- 10 %, dentro de un orificio de forma especial donde el material particulado en suspensión es separado inercialmente en fracciones de uno o más tamaños dentro del rango de tamaños de PM₁₀. Las partículas fueron colectadas en un filtro de fibra de cuarzo durante un periodo de muestreo de 24 horas (Buitrago y Tejeiro, 2019; Peña y Afanador, 2019; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

– Material Particulado Respirable (PM_{2,5})

Para el muestreo de PM_{2,5} se utilizó un equipo marca Tisch, modelo Tisch 2410-BBV de alto volumen, cuyo funcionamiento consiste en aspirar aire del ambiente a flujo constante, dentro de un orificio de forma especial donde el material particulado en suspensión es separado inercialmente en fracciones de uno o más tamaños dentro del rango de tamaños de PM_{2,5} en 24 horas (Alvarado, 2019).

b. Método de análisis

Según el INFORME DE ENSAYO 81270,401 (ver Apéndice 2) se utilizaron los siguientes métodos:

- Para material particulado PM₁₀ el método EPA CFR 40 Part 50, Appendix J 1997. Reference Method of the Determination of particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere.
- Para material particulado PM_{2,5} el método EPA 40 Part 50, Appendix part 50 2006. Reference Method of the Determination of Fine particulate Matter as PM_{2,5} in the Atmosphere.

La determinación de los pesos de los filtros de PM_{2,5} y PM₁₀, se realizó por gravimetría, determinando los pesos constantes antes y después del monitoreo; es decir, el peso final menos el peso inicial, la diferencia es el peso de material particulado atmosférico que se generó durante las 24 horas de medición (μg de material particulado = Peso final- Peso

inicial). El resultado en microgramos fue dividido entre el flujo de equipo en m³ en 24 horas, esto permitió obtener el resultado final en µg/m³ (Buitrago y Tejeiro, 2019).

c. Aplicación de encuesta

Para identificar y evaluar el tipo actividad que realizan los trabajadores en la industria molinera Induamerica Trade S.A. de acuerdo al área, situaciones de su salud (presencia o ausencia de tos, alergias, estornudos, esputo, dificultad para respirar, irritación y secreción ocular y nasal) y percepciones sobre el aire que respiran; se aplicó una encuesta a 80 personas entre hombres y mujeres durante los meses de enero y febrero del 2020. La encuesta (ver Apéndice 1) se elaboró con preguntas mixtas (dicotómico y politómico) siguiendo la metodología del Cuestionario básico y criterios metodológicos para las Encuestas sobre Condiciones de Trabajo, Empleo y Salud en América Latina y el Caribe (Benavides *et al.*, 2016; Merino, 2016).

2.4.3. Fase de gabinete

Se analizó y tabuló la información recolectada en la etapa de campo. Previo a ello se revisó y corrigió de manera crítica la información acopiada. Haciendo uso del software Excel versión 19 se digitó ordenadamente los datos proporcionados por la empresa BAMBU ENVIROWARE S.A.C. (ver Apéndice 2); para tratar estadísticamente los datos recolectados en las encuestas se utilizó el software estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 26. Para el análisis de correlación se utilizó el coeficiente Pearson y Spearman y en la descripción de las variables de tipo cualitativo se utilizó distribuciones de frecuencia absoluta y porcentual; en las variables de tipo cuantitativo se calcularon con dichos resultados medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y dispersión con sus respectivos coeficientes de variación para medir la homogeneidad de los datos.

Los datos obtenidos del análisis se compararon con los Estándares de Calidad de Aire (ECA) y normativa nacional e internacional (Organización Mundial de la Salud). Finalmente se definió con el Índice de la Calidad del Aire del MINAM el estado actual de la calidad del aire en la industria molinera Induamerica Trade S.A.

2.5. Identificación de variables y su mensuración

En la Tabla 7, se muestra las variables y su mensuración que se evaluaron.

Tabla 7

Variables de investigación y su mensuración

Variables	Indicador	Mensuración	
Concentración de material particulado	PM ₁₀ ambientes internos	Bueno	0 – 75 µg/m ³
		Moderado	76 – 150 µg/m ³
		Malo	151 – 250 µg/m ³
	PM _{2,5} ambientes internos	Umbral de cuidado	> 250 µg/m ³
		Bueno	0- 12,5 µg/m ³
		Moderado	12,6- 25 µg/m ³
Contaminación del aire	Índice de la calidad aire	Malo	25,1- 125 µg/m ³
		Umbral de cuidado	> 125 µg/m ³
		Bueno	0- 50
	Afectación a la salud	Moderado	51- 100
		Malo	101- VUEC
		VUEC = Valor umbral del estado de cuidado	>VUEC
Calidad del aire	Porcentaje (%)	ECA	

2.6. Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos de los análisis en los cinco puntos de muestreo y del cuestionario aplicado a los 80 trabajadores, se procedieron a digitalizar en el software de SPSS versión 25 con la finalidad de analizar y procesar la información. Se estableció la relación entre los niveles de partículas de material grueso (PM₁₀) con la fracción fina (PM_{2,5}), luego se comparó los promedios de los niveles de material particulado con la normativa nacional e internacional; además, se evaluó los niveles de concentración de particulado PM₁₀ y PM_{2,5} con la salud de las personas que laboran en la industria molinera Induamerica Trade S.A., finalmente se elaboró las conclusiones culminando con la redacción del informe final.

2.7. Materiales y equipos

- Muestreador de Partículas de Alto Volumen Marca BGI, Modelo PQ200
- Muestreador de Partículas de Bajo Volumen Marca BGI, Modelo PQ200
- Muestreador de Partículas de Bajo Volumen PARTISOL 2000
- Muestreador de partículas PM10 marca Thermo Scientific, modelo HIVOL PM-10 (HIVOL-BVBBD).
- Muestreador de partículas PM2,5 marca Tisch, modelo Tisch 2410-BBV
- Casco protector
- Mascarillas N95
- Guardapolvo
- Gafas de protección
- Cámara fotográfica
- GPS Garmin 64s

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Diagnóstico situacional de la emisión de material particulado dentro de la industria molinera para identificar y localizar puntos críticos de contaminación del aire

3.1.1. Proceso productivo

La industria molinera Induamérica Trade S.A., brinda los servicios de compra, secado y pilado de cáscara de “arroz”; antes de pasar por el proceso de pilado se elimina las impurezas y se reduce la humedad de los granos hasta alcanzar parámetros óptimos a través de un estricto control de calidad.

El producto procede de los departamentos de San Martín, Amazonas, Cajamarca y Lambayeque; pasa por distintos procesos continuos (Figura 6) (con cierto porcentaje de eficiencia) hasta la producción de “arroz” en blanco. Una vez ingresado el producto a las instalaciones, se realiza un muestreo rápido para verificar si cumple con los parámetros y condiciones de acopio, seguido el personal de planta efectúa el pesado y pre limpia, para continuar con el secado industrial y el pilado del grano (Figura 7).

La pre limpieza. El “arroz” debe ingresar limpio a las siguientes etapas (limpieza, descascarado, preparación del grano, etc.) donde se encuentran equipos más sensibles.

La limpieza. En este proceso se mide la eficiencia del pre limpia, considerando la impureza y vano de entrada y salida. Existen algunos factores que causan baja eficiencia en la maquinaria como por ejemplo el descuido de su mantenimiento y limpieza, acumulación de basuras, mallas rotas, mallas que no son las correctas, etc. Además, se hace un análisis constante del vano, debido a que puede estar pasando masa blanca a causa de una inadecuada

regulación. Los puntos críticos donde se acumula suciedad y se convierten en focos de infestación de plagas son: Las botas de elevadores, los cabezales de elevadores, los ductos de polvillo (pulidoras, selectoras y elevadoras), zarandas y circuitos de descascaradoras, calibrador y mata-caídas.

Preparación del grano. En esta etapa el principio de funcionamiento de las descascaradoras se basa en el giro de dos rodillos a diferentes velocidades y a una determinada presión, estos dos factores provocan que la cáscara se separe del grano. En esta etapa (Figura 7) se mide la eficiencia de descascarado del “arroz”. También se mide el % de grano partido o quebrado del arroz descascarado, la causa de un quebrado superior al 8 % puede ser arroz húmedo, elevada presión de los rodillos, rodillos muy desgastados o rodillos muy duros para granos suaves. Resultado del descascarado también se obtiene la cascarilla o pajilla esta es analizada en laboratorio porque puede estar pasando masa blanca, esto causa bajo rendimiento en el lote y produce gran cantidad de material particulado.

Acondicionamiento. En esta etapa se utiliza un calibrador de granos, debido a que separa el grano entero de aquellos que no lograron su maduración (vano y granos inmaduros), resultado de este proceso hace que el pulido sea más homogéneo, esto disminuye el grano partido y mejora la eficiencia en la etapa. Además, se realiza el despedrado haciendo uso de una despedradora que retira el 100 % de las piedras (Figura 7) dependiendo del porcentaje de ingreso, motivo por el cual se debe medir con frecuencia la eficiencia de la despedradora.

Pulimiento. El “arroz” se somete a procesos de fricción, aire y agua en el que se elimina la capa superior y se obtiene “arroz” blanco y pulido. En este proceso dos pulidoras por abrasión BSPB, ensuavecen el grano para mejorar el acabado y evitar el quebrado, la primera trabaja a un flujo de 10 l de agua por hora y la segunda a un flujo de 20 y 40 l por hora.

Clasificado. Haciendo uso de un clasificador, basado en la velocidad de rotación, la inclinación del cilindro o tambor, la inclinación de la bandeja interna (hacia la derecha e

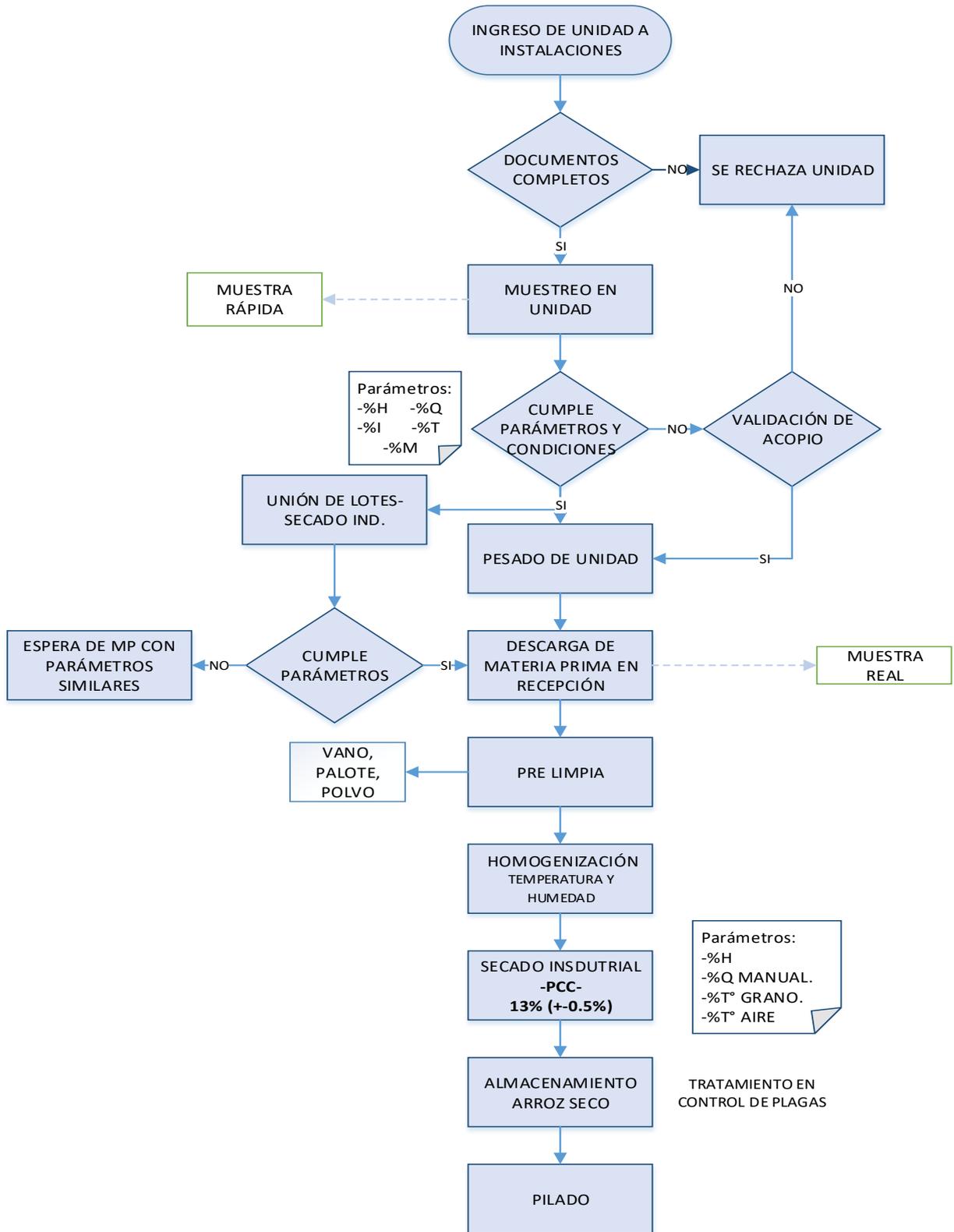
izquierda) y el número de alveolos, se retira los granos partidos. La eficiencia del clasificador disminuye cuando los alveolos internos se llenan de polvillo y cuando las platinas limpiadoras se desgastan.

Selección. En esta etapa se separan y se seleccionan los granos quebrados, muelen y partículas finas del grano entero. Haciendo uso de una selectora por color se detectan en cada grano defectos (color diferente al grano) y son expulsados por un chorro de aire a presión.

Envasado. Se realiza el pesaje electrónico a través de una balanza calibrada, al momento del envasado se verifica que la codificación sea correcta. Para ello se utilizan sacos nuevos con capacidad de 50 kg neto o con menor capacidad según las exigencias del mercado.

Figura 6

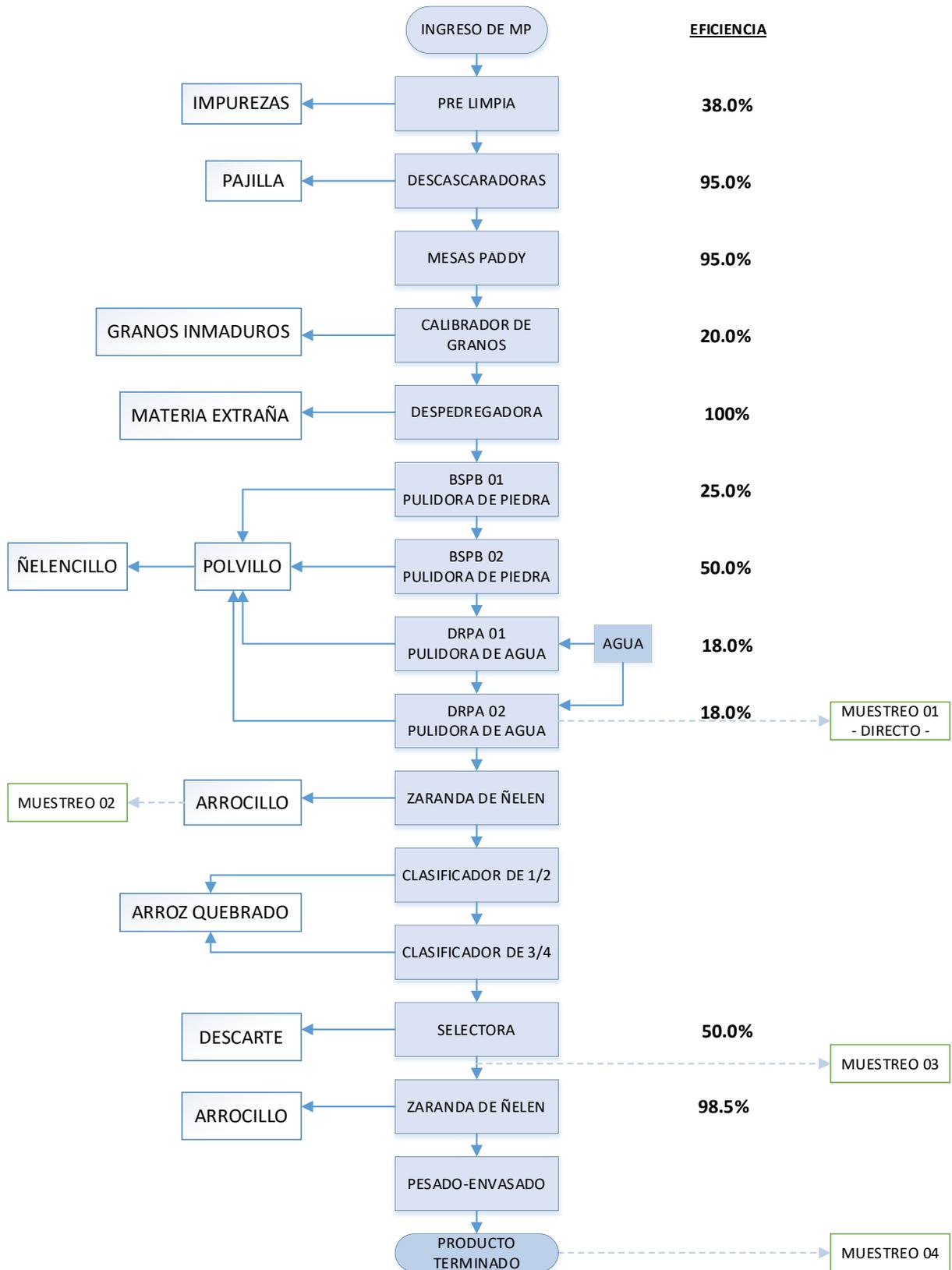
Flujograma del proceso de recepción y secado industrial



Nota. Tomado de Induamérica Trade S.A.

Figura 7

Flujograma del proceso de pilado



Nota. Tomado de Induamérica Trade S.A.

3.1.2. Descripción de los procesos productivos

a. Recepción y descarga de arroz en cáscara

El proceso se inicia con la recepción y descarga de “arroz” en cáscara por un grupo de estibadores (Figura 8) para posteriormente realizar una inspección del producto que consiste en obtener una muestra representativa al azar del total de sacos, de tal manera que se pueda calcular el % de humedad, impurezas, rendimiento, % de quebrado y mezcla varietal.

Figura 8

Descarga de “arroz” en cáscara



b. Limpieza

El “arroz” en cáscara pasa por el proceso de limpieza a través de una máquina limpiadora marca Scalper de 5 tolvas y zarandas, la capacidad mínima de las tolvas es de 35 toneladas diarias y la máxima de 60 toneladas (Figura 9). Durante el proceso de zaranda se obtienen entre 5 a 7 sacos diarios de impureza (piedras, hojas, rafias, restos de herbáceas, palotes, etc.) (Figura 10).

Figura 9

Llenado de arroz en cáscara en tolva



Figura 10

Impurezas del proceso de prelimpia



c. Secado

El secado se realiza bajo dos formas: secado artesanal (sobre la superficie del suelo en época de verano) haciendo uso de mantas de polipropileno de alta densidad ubicadas sobre la superficie de un piso y secado industrial (Figura 11) realizado en secadoras industriales de flujo contracorriente, continuo e intermitente.

Figura 11

Área de secado industrial



d. Pilado

Se usan dos descascaradoras marca Buller, este proceso consiste en separar la cáscara del grano de “arroz”, a través de dos rodillos de goma que trabajan mediante un sistema fricción y presión a una eficiencia del 80 %, el cual tiene una capacidad de 4 toneladas por hora cada una. El producto pasa al separador de cascarilla que separa al grano descascarado de la cascarilla (esta puede variar dependiendo de la variedad del “arroz”), la cual es succionada y transportada hacia la separadora y con la ayuda de ventiladores expulsan hacia las tolvas los desechos producidos durante el proceso (Figura 12).

Figura 12

Pilado de “arroz”



3.1.3. Identificación de puntos críticos de emisión de material particulado

a. Punto crítico 1: Eliminación de impurezas durante el zarandeo

En el proceso de zarandeo se producen impurezas (Figura 13 y 14) que son depositados en sacos negros de polipropileno; en esta etapa, también se observó la caída de impurezas a la superficie terrestre que posteriormente son arrastrados por las corrientes de aire. Además, producto de la vibración y el ruido que genera el funcionamiento de las máquinas se pudo constatar un malestar auditivo y ocular del personal que labora en planta, puesto que en algunos momentos no usan adecuadamente los equipos de protección personal (Figura 15).

Figura 13

Producción del polvo durante de limpieza del “arroz” con cáscara



Figura 14

Llenado de impurezas en sacos de polipropileno

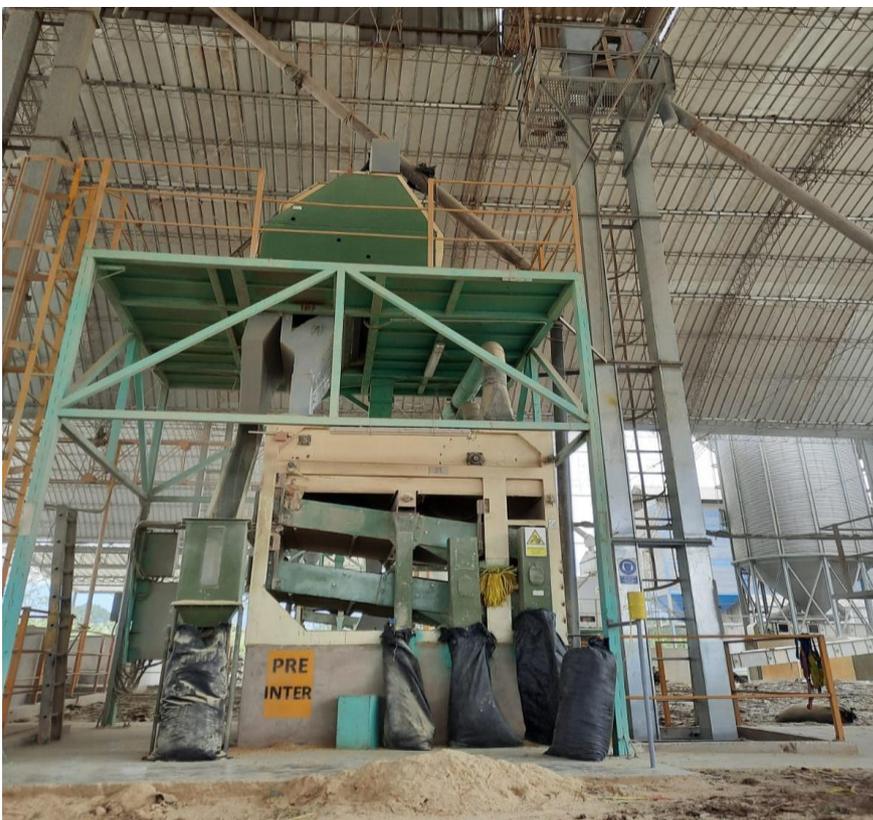


Figura 15

Personal de planta sin equipos de protección personal



b. Punto crítico: Emisión de material particulado y humos en tolvas de secado y pilado de “arroz”

Se observó la producción del polvo en las tolvas al momento de verter el “arroz” con cáscara, alrededor de las máquinas donde se realizaba el proceso de secado y pilado, y en el conducto por donde sale la cascarilla. El material particulado producido en los puntos antes mencionados por acción del viento logra esparcirse por las diferentes áreas de trabajo.

c. Punto crítico: emisión de vano

En este proceso la expulsión del vano se genera a través de un tubo ubicado en la parte lateral del molino, generándose polvo que sale al ambiente alterando la calidad del aire, en este proceso no existe un control adecuado.

d. Punto crítico: Emisión de cascarilla

Se pudo constatar la generación de gran cantidad de cascarilla que se expulsa a través de un tubo ubicado en la parte posterior de la molinera, dicho producto sale a un área de la industria y permanece expuesto al aire sin ningún control adecuado mientras se recolecte para ser vendido a terceros y una parte se utiliza para calefacción.

3.2. Determinación de los niveles de partículas de material grueso (PM₁₀) con la fracción fina (PM_{2,5}) dentro de los ambientes de la industria molinera

3.2.1. Nivel de concentración de material particulado PM₁₀ en la industria molinera

La Tabla 8 muestra las concentraciones de material particulado PM₁₀ por punto de muestreo durante un tiempo de 24 horas. La concentración más alta se registró en el punto P1 (85 µg/m³), seguido por el punto P4 (53,14 µg/m³) y la concentración más baja se registró en el punto P5 (36,62 µg/m³) (Figura 16).

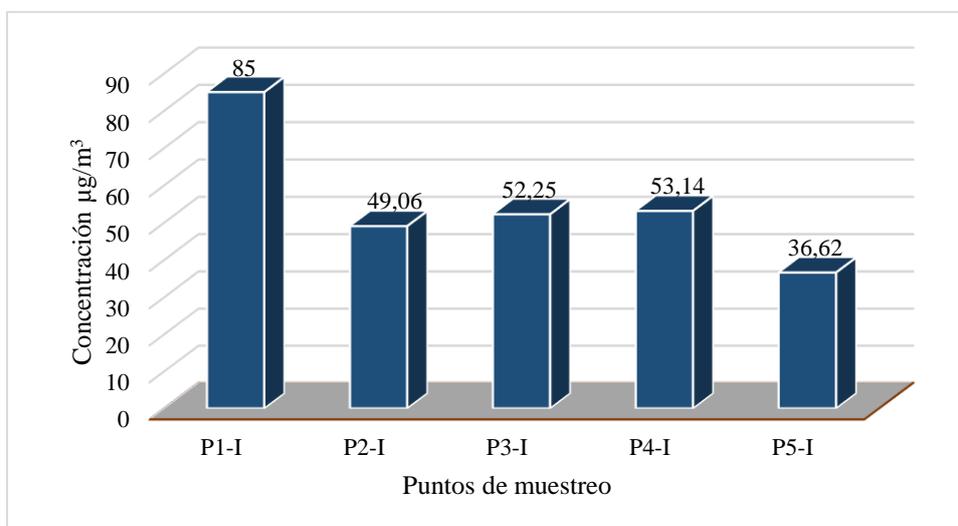
Tabla 8

Nivel de Concentración de material particulado PM₁₀ por punto de muestreo

Estación	Fecha y hora de monitoreo				Concentración
	Fecha de inicio	Hora de inicio	Fecha final	Hora final	
P1-Interno	07-12-19	09:17 am	08-12-19	09:17 am	85 µg/m ³
P2-Interno	20-04-21	16: 00 pm	21-04-21	16: 00 pm	49,06 µg/m ³
P3-Interno	20-04-21	16: 00 pm	21-04-21	16: 00 pm	52,25 µg/m ³
P4-Interno	21-04-21	17: 00 pm	22-04-21	17: 00 pm	53,14 µg/m ³
P5-Interno	21-04-21	17: 30 pm	22-04-21	17:3 0 pm	36,62 µg/m ³

Figura 16

Puntos de muestreo para material particulado PM₁₀



3.2.2. Nivel de concentración de material particulado PM_{2,5} en la industria molinera

La Tabla 9 muestra las concentraciones de material particulado PM_{2,5} por punto de muestreo durante un tiempo de 24 horas realizado entre el 07-12-2019 y el 21-04-2021. La concentración más alta se registró en el punto P1 (39 µg/m³), seguido por el punto P3 (37,25 µg/m³) y la concentración más baja se registró en el punto P5 (12,62 µg/m³) (Figura 17).

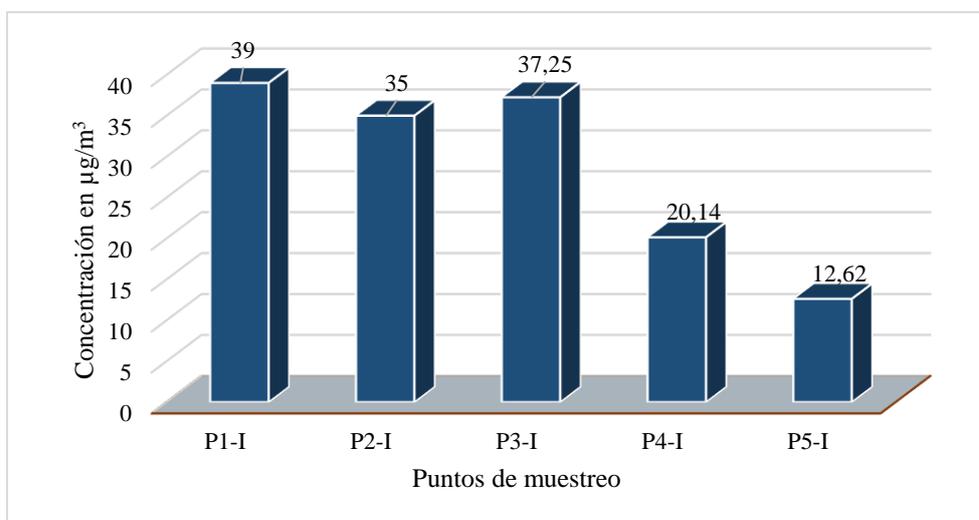
Tabla 9

Nivel de Concentración de material particulado PM_{2,5} por punto de muestreo

Estación	Fecha y hora de monitoreo				Concentración
	Fecha de inicio	Hora de inicio	Fecha final	Hora final	
P1-Interno	07-12-19	09:17 am	08-12-19	09:17 am	39 µg/m ³
P2-Interno	20-04-21	16: 00 pm	21-04-21	16: 00 pm	35 µg/m ³
P3-Interno	20-04-21	16: 00 pm	21-04-21	16: 00 pm	37,25 µg/m ³
P4-Interno	21-04-21	17: 00 pm	22-04-21	17: 00 pm	20,14 µg/m ³
P5-Interno	21-04-21	17: 30 pm	22-04-21	17: 30 pm	12,62 µg/m ³

Figura 17

Puntos de muestreo para material particulado PM_{2.5}



3.3. Comparación de los niveles de partículas de material grueso (PM₁₀) con la fracción fina (PM_{2.5}) en los ambientes internos de la industria molinera

En la Tabla 10 se observan la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} en los cinco puntos de muestreo; los valores más altos para ambas concentraciones se registran en el punto P1 y los valores más bajos en P5. Respecto a la relación (Tabla 11) entre PM₁₀ y PM_{2.5} se hizo a través de la correlación lineal dando como valor 0,66 (66,5 %), es decir, existe una ligera relación entre ambas concentraciones, cuyo valor de F es 2,38 (Tabla 12) lo que significa que la regresión es significativa.

Tabla 10

Concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} por punto de muestreo

Puntos de muestreo	Concentración PM ₁₀	Concentración PM _{2.5}
P1	85 µg/m ³	39 µg/m ³
P2	49,06 µg/m ³	35 µg/m ³
P3	52,25 µg/m ³	37,25 µg/m ³
P4	53,14 µg/m ³	20,14 µg/m ³
P5	36,62 µg/m ³	12,62 µg/m ³
Promedio	55,21 µg/m³	28,80 µg/m³

Tabla 11*Coefficiente de relación*

Estadísticas de la regresión		Porcentaje
Coeficiente de correlación múltiple	0,6653	66,53
Coeficiente de determinación R ²	0,4426	
R ² ajustado	0,2568	
Error típico	15,4442	
Observaciones	5	

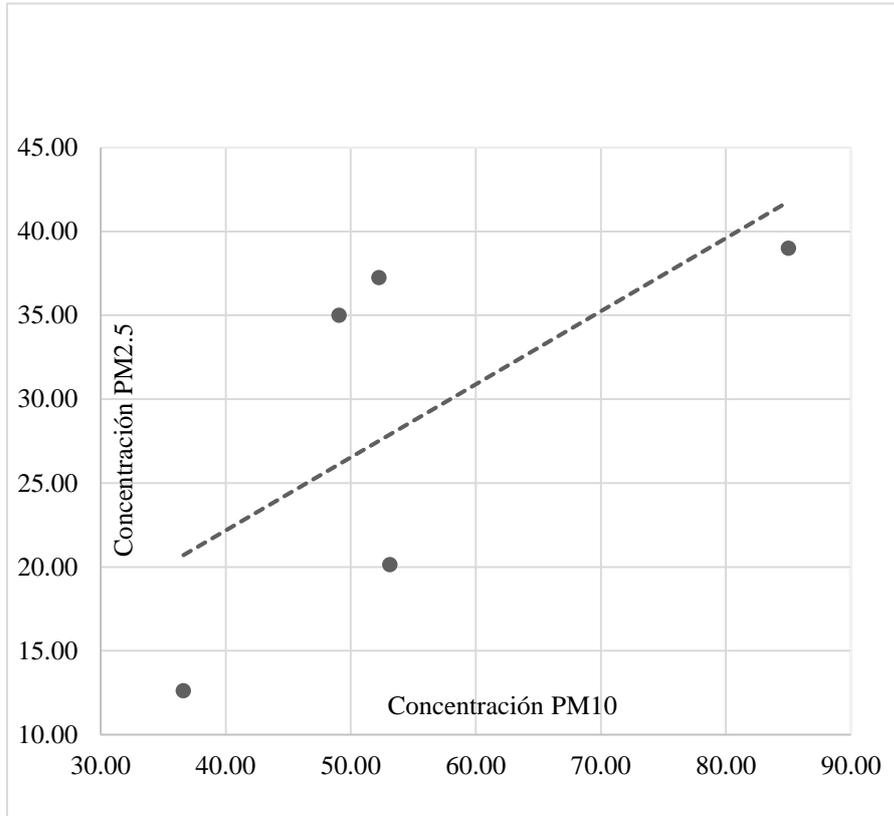
Tabla 12*Análisis de varianza*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	568,3255	568,3255	2,3826	0,2203
Residuos	3	715,5755	238,5251		
Total	4	1283,9011			

En la Figura 18 se observa una ligera relación positiva entre PM₁₀ y PM_{2,5}, es decir, cuando la concentración de material particulado PM₁₀ se incrementa, la concentración de material particulado PM_{2,5} también incrementa.

Figura 18

Puntos de dispersión de las concentraciones PM_{10} y $PM_{2.5}$



3.4. Comparación de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con las diferentes normativas

a. Comparación de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el monitoreo de calidad de aire (Tabla 13 y Figura 19), las concentraciones de partículas menores a 10 micras en los puntos muestreados ($P1 = 85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $P2 = 49,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $P3 = 52,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $P4 = 53,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $P5 = 36,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encontraron dentro del rango permisible (menores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para Aire D.S. N° 003- 2017-MINAM; es decir, la industria molinera Induamerica Trade S.A. cumple con lo establecido en dicha norma.

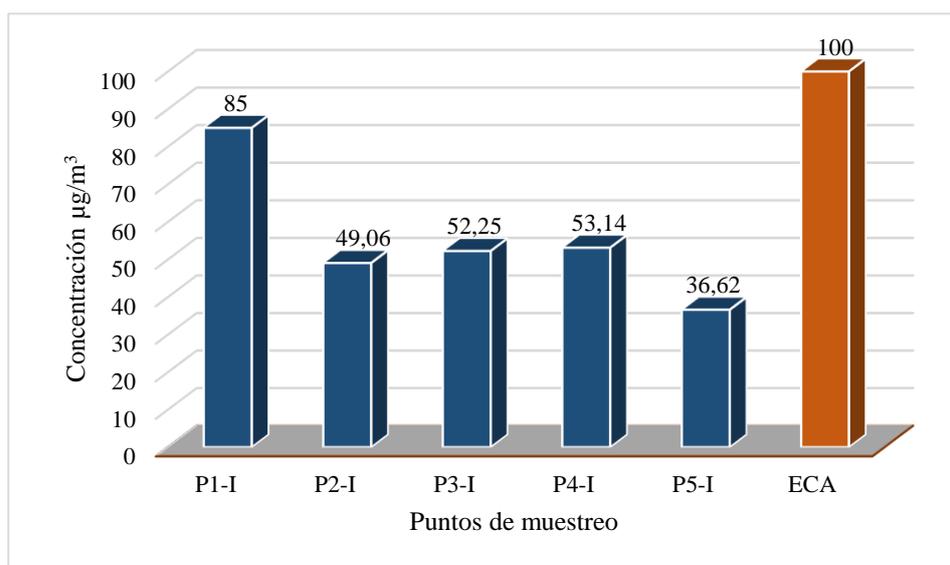
Tabla 13

Comparación de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA)

Estación	Concentración	ECA: D.S. N° 003-2017-MINAM
P1-Interno	85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
P2-Interno	49,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
P3-Interno	52,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
P4-Interno	53,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
P5-Interno	36,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Figura 19

Comparación de los niveles de material particulado PM_{10} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA)



La Tabla 14 y Figura 20 muestran que la concentración de partículas menores a 2,5 micras en los puntos muestreados se encuentra dentro del rango permisible ($P1 = 39$, $P2 = 35$, $P3 = 37,25$, $P4 = 20,14$ y $P5 = 12,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$); es decir, los valores son menores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tal como se establecen en los Estándares de Calidad Ambiental para Aire D.S. N° 003- 2017-MINAM, con lo cual la industria molinera Induamerica Trade S.A. cumple con lo establecido en dicha norma.

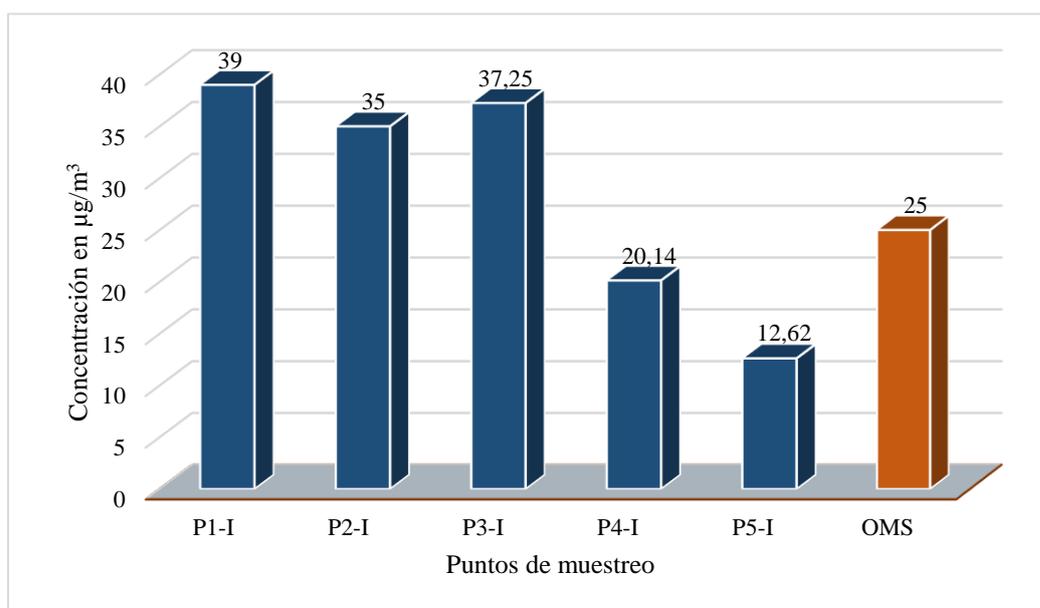
Tabla 14

Comparación de los niveles de material particulado $PM_{2,5}$ presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA)

Estación	Concentración	ECA: D.S. N° 003-2017-MINAM
P1-Interno	39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
P2-Interno	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
P3-Interno	37,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
P4-Interno	20,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
P5-Interno	12,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Figura 20

Comparación de los niveles de material particulado PM_{10} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA)



b. Comparación de los niveles de material particulado PM_{10} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la Organización Mundial de la Salud

Los valores de concentración PM_{10} obtenidos en los 5 puntos de muestreo (Tabla 15 y Figura 21) fueron: P1 = 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, P4 = 53,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y P3 = 52,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, superaron los niveles permisibles PM_{10} durante 24 horas de la Organización Mundial de la Salud que es

de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, los puntos P2 = $49,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y P5 = $36,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fueron menores a los niveles establecidos por la OMS.

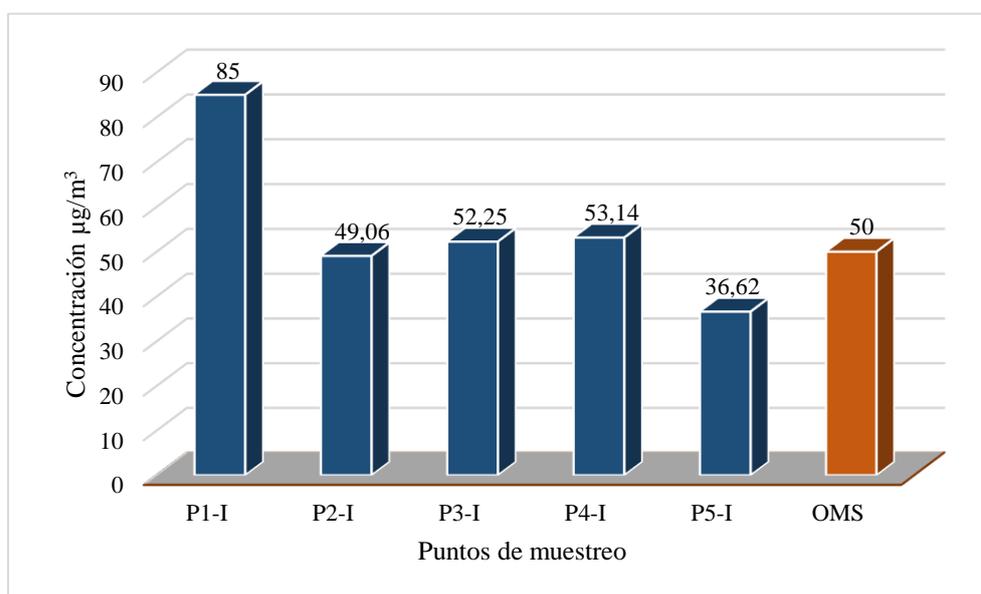
Tabla 15

Comparación de los niveles de material particulado PM_{10} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS

Estación	Concentración	Organización mundial de la Salud (OMS)
P1-Interno	$85 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
P2-Interno	$49,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
P3-Interno	$52,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas
P4-Interno	$53,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
P5-Interno	$36,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

Figura 21

Comparación de los niveles de material particulado PM_{10} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS



La Tabla 16 y Figura 22 muestran los valores de concentración $\text{PM}_{2,5}$ obtenidos en los 5 puntos de muestreo; de los cuales los puntos P1 = $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, P3 = $37,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y P2 = $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superaron los límites permisibles $\text{PM}_{2,5}$ de la Organización Mundial de la Salud, cuyo promedio es de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 24 horas; sin embargo, los puntos P4 = $20,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y P5 = $12,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentran debajo de dichos niveles.

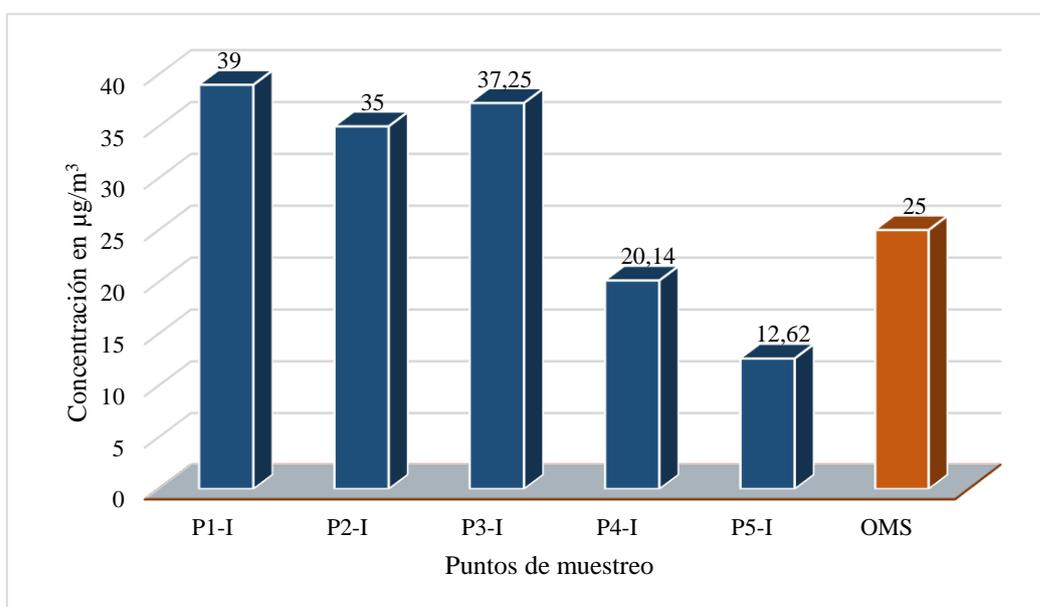
Tabla 16

Comparación de los niveles de material particulado PM_{2.5} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS

Estación	Concentración	Organización mundial de la Salud (OMS)
P1-Interno	39 µg/m ³	25 µg/m ³ , media de 24 horas
P2-Interno	35 µg/m ³	
P3-Interno	37,25 µg/m ³	
P4-Interno	20,14 µg/m ³	
P5-Interno	12,62 µg/m ³	

Figura 22

Comparación de los niveles de material particulado PM_{2.5} presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa internacional de la OMS



c. Comparación de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con Valores Límites Permisibles (VLP) para Agentes Químicos en Ambiente de Trabajo

En la Tabla 17 se observan los Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en ambientes de trabajo según D.S. N° 015-2005-SA en µg/m³ para NO₂, SO₂, CO, H₂S y O₃; el cual al compararlos con el rango de concentración de PM₁₀ (55,21 µg/m³) y PM_{2.5} (28,80 µg/m³) registrados en la industria molinera Induamerica Trade S.A. estos fueron inferiores.

Sin embargo, al compararlos con los valores obtenidos en la misma industria se observa que el NO₂ (102,7 µg/m³) y CO (1225,9 µg/m³) son superiores a niveles de material particulado evaluados.

Tabla 17

Valores Límites Permisibles (VLP) para agentes químicos en ambiente de trabajo

Nº	Parámetro	Rango de concertación	de ECA: D.S. N° 003-2017-MINAM	(VLP en µg/m ³) para Agentes Químicos en Ambiente de Trabajo (D.S. N° 015-2005-SA)
1	PM10	55,21 µg/m ³	100 µg/m ³	
2	PM2.5	28,80 µg/m ³	50 µg/m ³	
3	NO ₂	< 102,7 µg/m ³	200 µg/m ³	5 600 µg/m ³
4	SO ₂	< 12,3 µg/m ³	250 µg/m ³	5 200 µg/m ³
5	CO	< 1225,9 µg/m ³	10000 µg/m ³	29 000 µg/m ³
6	H ₂ S	< 6,83 µg/m ³	150 µg/m ³	14 000 µg/m ³
7	O ₃	< 8 µg/m ³	100 µg/m ³	400 µg/m ³

Nota: Informe de monitoreo ambiental 2021 la industria molinera Induamerica Trade S.A.

d. Determinación del de Índice de Calidad Ambiental (INCA) de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A.

El rango de concentraciones (Tabla 18 y 19) de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A., de PM₁₀ fue de 36,80 µg/m³ y de PM_{2.5} fue de 25 µg/m³; al establecer las comparaciones con el intervalo del Índice de Calidad ambiental (INCA) 0-50 y rango de concentraciones 0-75 µg/m³, la calidad del aire se encontró en la categoría bueno y moderado, es decir, no representa riesgo para la salud de las personas.

Tabla 18*Niveles del índice de calidad ambiental para material particulado PM₁₀ en 24 horas*

Intervalo del INCA	Categoría	Rango de concentraciones (µg/m ³)	Rango de concentraciones PM ₁₀ en la molinera Induamérica	Ecuación
0-50	Bueno	0-75	36,80 µg/m ³	
51-100	Moderado	76-150		PM ₁₀ = [36,80]
101-167	Malo	151-250		* 100/100
> 167	Umbral de cuidado	> 250		PM ₁₀ = 36,80

Nota: Adaptado del MINAM.**Tabla 19***Niveles del índice de calidad ambiental para material particulado PM_{2.5} en 24 horas*

Intervalo del INCA	Categoría	Rango de concentraciones (µg/m ³)	Promedio de concentraciones PM _{2.5} en la molinera Induamérica	Ecuación
0-50	Bueno	0-12.5	12,5 µg/m ³	
51-100	Moderado	12,6-25		PM _{2.5} = [12.5]
101-500	Malo	25,1-125		* 100/50
> 500	Umbral de cuidado	> 125		PM _{2.5} = 25

Nota: Adaptado del MINAM.

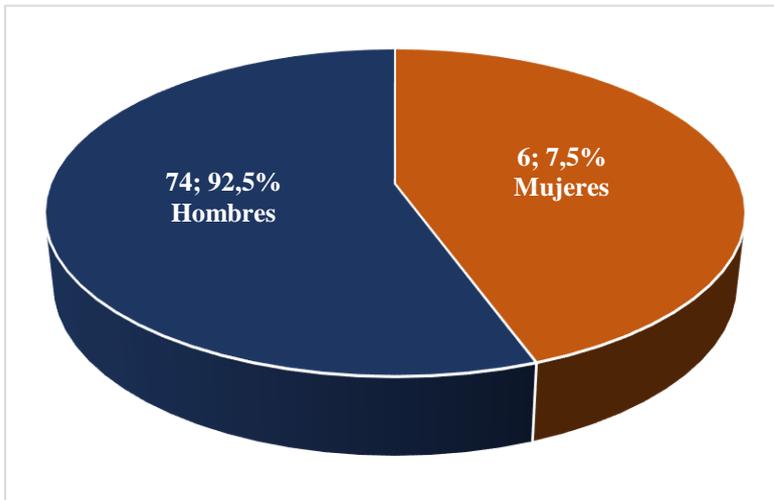
3.5. Evaluación de los niveles de concentración de particulado PM₁₀ y PM_{2.5} con la salud de las personas que laboran en la industria molinera Induamerica Trade S.A.

a. Sexo de los trabajadores encuestados

Del 100 % (80 trabajadores) encuestados que realizan labores dentro de la industria molinera Induamerica Trade S.A., el 74,92 % son hombres y el 6,75 % son mujeres (Figura 23).

Figura 23

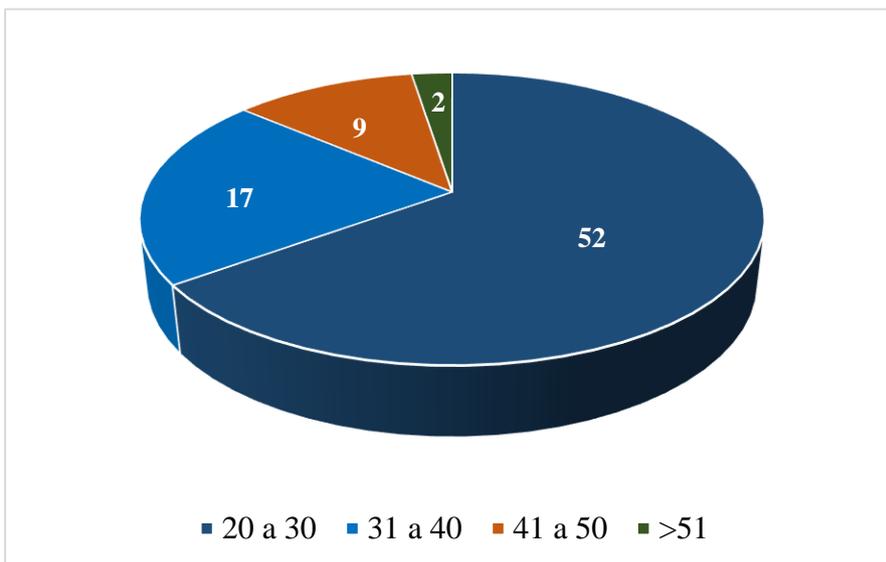
Sexo de los entrevistados



En la Figura 24 se muestran la cantidad de trabajadores encuestados por rango de edad, el mayor número de personal se encuentra en el rango de 20 a 30 años de edad (52 trabajadores) y la menor cantidad son mayores de 50 años (2 trabajadores).

Figura 24

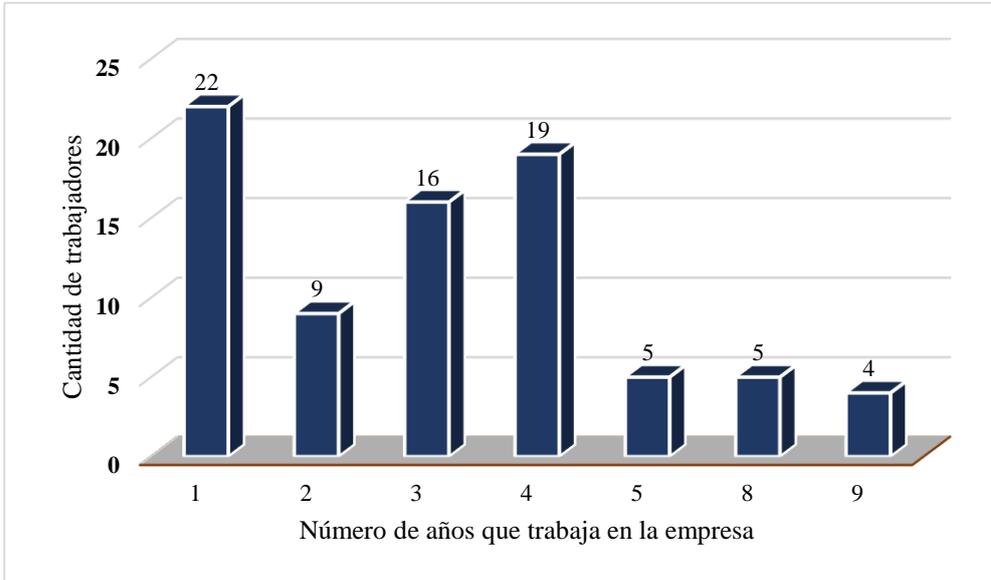
Edad de los encuestados



Sobre la cantidad de años que laboran los trabajadores en la industria molinera Induamerica Trade S.A., 22 encuestados laboran un año aproximadamente, 19 laboran cuatro años, 16 laboran dos años y 4 laboran por un tiempo de 9 años (Figura 25).

Figura 25

Cantidad de años que trabaja en la industria molinera Induamerica Trade S.A.



En la Tabla 20 se muestran los puestos de trabajo y la cantidad de trabajadores del personal que labora en la industria molinera Induamerica Trade S.A., el mayor porcentaje se encuentra en el puesto de trabajo operario 33,8 % (27 trabajadores), seguido por 13,5 % (11 trabajadores) para el área de almacén, 12,5 % (10 trabajadores) como asistentes de diversas áreas y los porcentajes menores a 8 % se registraron en los puestos de trabajo de operador de maquinaria (7,5 %), área de secado (6,3 %), logística (5 %), entre otros.

Tabla 20*Puesto de trabajo en la industria molinera Induamerica Trade S.A.*

N°	Puesto de trabajo	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	Almacén	11	13,5
2	Asistente	10	12,5
3	Mecánico	2	2,5
4	Control de calidad	3	3,8
5	Inspector	2	2,5
6	Jefe de operaciones	3	3,8
7	Logística	4	5,0
8	Operador de maquinaria	6	7,5
9	Operario	27	33,8
10	Prevencionista	2	2,5
11	Área de secado	5	6,3
12	Supervisor de producción	2	2,5
13	Vigilancia	3	3,8
	Total	80	100

Puesto que el horario de trabajo en planta son 24 horas diarias, la empresa tiene tres turnos laborales. El 67,5 % (54 trabajadores) lo hacen durante la mañana y la tarde, el 17,5 % (14 trabajadores) turno tarde y 15 % (12 trabajadores) turno noche (Tabla 21).

Tabla 21*Horario de trabajo tiene Usted habitualmente*

Turno	Frecuencia	Porcentaje (%)
Mañana y tarde	54	67,5
Tarde	14	17,5
Noche	12	15,0
Total	80	100

En la Tabla 22 se presenta la cantidad de entrevistados (80 personas) que respondieron de manera afirmativa respecto al acceso sobre el servicio de prevención de riesgos laborales en la empresa; además, los trabajadores en su totalidad (Tabla 23) mencionaron que disponen

de los equipos de protección personal para realizar sus actividades y respecto si saben sobre la realización de monitoreos de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Tabla 24), el 100 % respondió que sí.

Tabla 22

Acceso al servicio de prevención de riesgos laborales o de salud laboral

Acceso al servicio de prevención de riesgos laborales	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	80	100

Tabla 23

Disponición de equipos de protección personal

Dispone de equipos de protección personal	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	80	100

Tabla 24

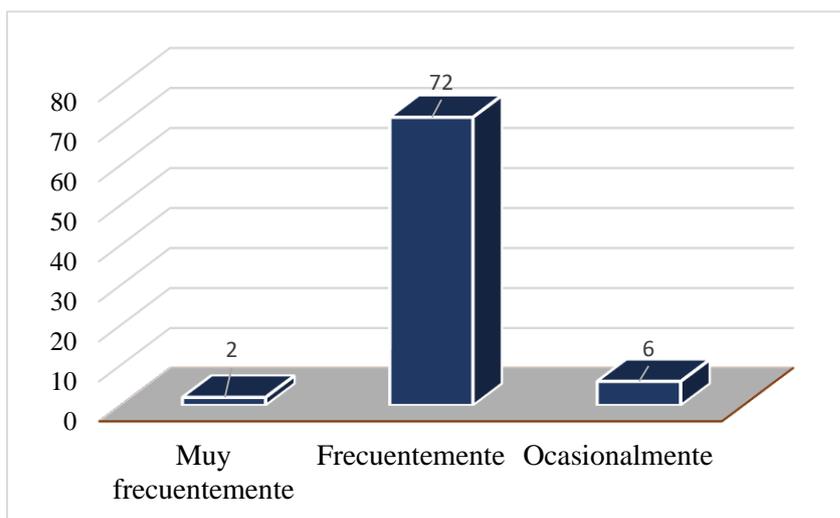
En su puesto de trabajo, sabe si han realizado evaluaciones o mediciones sobre material $PM_{2.5}$ y PM_{10} en los últimos 12 meses

Mediciones sobre material $PM_{2.5}$ y PM_{10} en los últimos 12 meses	Frecuencia	Porcentaje
Si	80	100

En relación con los riesgos para la salud y seguridad relacionado con el trabajo 72 encuestados mencionaron que están informados frecuentemente, 6 ocasionalmente y 2 muy frecuentemente (Figura 26).

Figura 26

En relación con los riesgos para su salud y seguridad relacionado con su trabajo ¿En qué medida Usted está informado?



En la Tabla 25 se observa que el 76,3 % de encuestados respondió que, si se utilizan sustancias químicas o existen focos de contaminación dentro de la industria molinera y el 23,8 % que no, esta diferencia se debe específicamente al tipo de trabajo y al área donde se encuentre con mayor frecuencia el trabajador.

Tabla 25

Utilizan sustancias químicas o nocivas o existen focos de contaminación por productos químicos

Se utilizan sustancias químicas o existen focos de contaminación por productos químicos	Frecuencia	Porcentaje
No	19	23,8
Si	61	76,3
Total	80	100

En la Tabla 26 se observan los resultados sobre el uso de extractores localizados en las zonas o puntos donde se puede producir generación y dispersión de contaminantes dentro de la industria molinera, el 78,8 % respondió que no se usan; resultados muy cercanos se obtuvo (85 %) cuando se preguntó a los trabajadores si la empresa cuenta con un sistema de ventilación general en las áreas de trabajo (Tabla 27).

Tabla 26

Han utilizado extractores localizados en las zonas o puntos donde se puede producir generación y dispersión de contaminantes

Uso de extractores	Frecuencia	Porcentaje
No	63	78,8
Si	17	21,3
Total	80	100

Tabla 27

La industria, dispone de un sistema de ventilación general de los locales de trabajo

Se dispone de un sistema de ventilación	Frecuencia	Porcentaje
No	68	85,0
Si	12	15,0
Total	80	100,0

Sobre la exposición diaria al aire contaminado, el 41,3 % de los encuestados confirma que produce gripas, el 23,8 % enfermedades respiratorias y el 10 % mencionó que no causa ninguna enfermedad establecida (Tabla 28).

Tabla 28

Cuál de las siguientes enfermedades puede ser producida por la exposición diaria a la contaminación del aire

¿Cuál de las siguientes enfermedades puede ser producida por la exposición diaria a la contaminación del aire?	Frecuencia	Porcentaje
Gripas	33	41,3
Cáncer de pulmón	2	2,5
Enfermedades respiratorias	19	23,8
Accidente cerebro vascular	2	2,5
Neumonía	2	2,5
Ninguna de las anteriores	8	10,0
No sabe	14	17,5
Total	80	100

Con relación al ítem ¿Cuándo la calidad del aire es mala? en la Tabla 29 se observa que el 40 % de los entrevistados manifestaron que, el aire no es de calidad cuando no es apto para

respirar, cuando hay mal olor, cuando hay humo o cuando el aire tiene algún componente que afecta la salud, el 2 % no sabe nada al respecto.

Tabla 29

Condiciones percibidas de la mala calidad del aire

¿Cuándo la calidad del aire es mala?	Frecuencia	Porcentaje
Cuando el aire no es apto para respirar	24	30,0
Cuando hay mal olor	8	10,0
Cuando hay humo	4	5,0
Cuando el aire tiene algún componente que afecta la salud	10	12,5
Todas las anteriores	32	40,0
No sabe	2	2,5
Total	80	100

En la Tabla 30 se evidencia que el 92,5 % (74 trabajadores) respondieron que no tose más de cuatro veces al día; mientras que, el 7,5 % (6 trabajadores) están expuestos durante casi toda su jornada laboral a material particulado en el área de recepción, zaranda y secado del arroz, afirmando que la tos es una respuesta inmediata como mecanismo de autoprotección del cuerpo cuando se encuentran en áreas donde se produce gran cantidad de material particulado.

Tabla 30

Frecuencia de tos por día y a la semana

¿Tose más de 4 veces al día, por 4 o más días a la semana?	Frecuencia	Porcentaje
No	74	92,5
Si	6	7,5
Total	80	100,0

El 65 % (52 trabajadores) no han presentado cuadros gripales durante los dos últimos años, mientras que el 35 % (28 trabajadores) han presentado gripes, lo que los ha llevado incluso a ausentarse de sus trabajos (Tabla 31).

Tabla 31*Cuadros gripales en trabajadores*

Ha tenido gripas en el último año	Frecuencia	Porcentaje
No	52	65
Si	28	35
Total	80	100

El 7,5 % (6 trabajadores) respondieron que presentaron cuadros de asma y el 3,8 % (3 trabajadores) presentaron ataque de bronquitis, ambas enfermedades fueron confirmado por el doctor durante los exámenes médicos ocupacionales realizados a cada trabajador; mientras que el 88,8 % (71 trabajadores) mencionaron que fueron diagnosticados otras enfermedades (Tabla 32).

Tabla 32*Enfermedades confirmadas por doctor*

Tuvo alguna de estas enfermedades confirmadas por el doctor	Frecuencia	Porcentaje
Ataque de bronquitis	3	3,8
Asma	6	7,5
Otros	71	88,8
Total	80	100,0

El 47,5 % de los trabajadores encuestados sufre molestias en las fosas nasales, el 30 % solo obstrucción nasal y solamente el 16,3 % dolor de garganta, en este último caso puede estar relacionado con el área (presencia de material particulado, humos, gases) donde el obrero permanece mayor cantidad de tiempo (Tabla 33).

Tabla 33*Síntomas en las últimas cuatro semanas*

Ha tenido Usted alguno de estos síntomas en las últimas 4 semanas	Frecuencia	Porcentaje
Molestias en una de sus fosas nasales	36	47,5
Obstrucción nasal sin otros síntomas	24	30,0
Secreción nasal espesa, verde o amarillenta	3	3,8
Incapacidad para percibir olores	2	2,5
Dolor en la garganta al pasar o tragar	13	16,3
Total	80	100

Existe un porcentaje alto de 74,6 %, en el que los trabajadores han tenido la nariz congestionada por varios días consecutivos, 8,8 % han reportado exceso de estornudos, 10 % rasquiña de nariz y 3,8 % lagrimeo permanente (Tabla 34). Estos resultados expresan una ligera alteración del aire, dado que en algunos puntos de monitoreo el material particulado PM₁₀ y PM_{2,5} se encontraron muy cercanos al límite de los estándares de calidad ambiental.

Tabla 34*Ha tenido alguno de los siguientes síntomas al menos durante una hora por varios días consecutivos*

	Frecuencia	Porcentaje
Nariz congestionada	60	74,6
Irritación de la piel	2	2,5
Excesos de estornudos	7	8,8
Rasquiña de nariz	8	10,0
Lagrimeo ocular permanente	3	3,8
Total	80	100

CAPITULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Diagnóstico situacional de la emisión de material particulado dentro de la industria molinera para identificar y localizar puntos críticos de contaminación del aire

El material particulado producido por fuentes antropogénicas como las industrias, son uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo. En el diagnóstico realizado a la industria molinera Induamerica Trade S.A., se pudo identificar 4 puntos críticos del proceso productivo que representan un riesgo para la calidad del aire y un posible efecto en la salud de los trabajadores debido que solo cuenta con 6 aspiradores para material particulado. Para Wendler (2018) las áreas donde mayor cantidad de material particulado producen las molineras de “arroz” son acondicionamiento (recepción, prelimpia y secado), trilla (limpieza y separación) y disposición de subproductos (descargue de cascarillas, almacenamiento de polvo y recuperación de harinas) dado que son procesos no controlados, es necesario el uso de filtros para disminuir la polución.

Herrera (2018), Laverde (2016) y (Roy *et al.*, 2017) observaron que las condiciones de trabajo a los que se encuentran expuestos diariamente los trabajadores en áreas como descarga, limpia y pilado, presentan emisiones fugitivas de material particulado debido al mantenimiento tardío de equipos, quema y almacenamiento al aire libre de algunos subproductos; es decir, pueden contaminar el aire y provocar reacciones alérgicas en los trabajadores; en el presente estudio, se pudo observar que el personal que realiza el descargue, cargan los sacos de “arroz” y vierten en las zarandas exponiéndose a una nube de polvo en algunos casos sin usar equipos de protección personal, es decir aún no son conscientes que la exposición a partículas en operaciones industriales afecta la salud.

Para Enríquez (2016), además de la identificación de puntos críticos en un proceso productivo, se debe definir el tipo de riesgo al que está expuesto el trabajador (físico, químico o microbiológico); como medida preventiva y correctiva hacer un listado de los riesgos socializarlo, establecer un plan de monitoreo y de vigilancia, contribuiría con el control y prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales. Un aspecto importante que se pudo observar en la industria molinera es el comportamiento del trabajador y el desconocimiento de la importancia en el uso de equipos de protección personal, dado que su uso inadecuado o el no uso, generan una condición insegura cuando se realiza trabajos en puntos críticos, esto se agrava cuando se observa un desinterés institucional para establecer mejora continua en los procesos productivos.

4.2. Niveles de material grueso (PM₁₀) con la fracción fina (PM_{2.5}) dentro de los ambientes de la industria molinera

La evaluación de la calidad del aire por material particulado promedio $\bar{X}PM_{10} = 55,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\bar{X}PM_{2,5} = 28,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la industria molinera no superó los Estándares de Calidad Ambiental; sin embargo, hubo un punto de monitoreo P1 que estuvo cercano a los ECA $PM_{10} = 85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{2,5} = 39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, Jiménez (2017) encontró que en el área de secado las cantidades de polvo orgánico presentaron niveles de $251 \text{mg}/\text{m}^3$ muy superiores a los límites permisibles OSHA y ACGIH, estas diferencias pueden estar relacionados con la cantidad en toneladas hora de prelimpia, limpia, secado y pilado de “arroz”, mantenimiento inoportuno de equipos y almacenamiento de productos de desecho a la intemperie.

Valores superiores de $PM_{2,5}$ en comparación a la presente investigación registró Yuquilema (2018) en una industria molinera de trigo en Ecuador, donde el área de empaque alcanzó un valor de $1,71 \text{mg}/\text{m}^3$, empaque dos $2,11 \text{mg}/\text{m}^3$, cocido de empaque $3,83 \text{mg}/\text{m}^3$, limpieza $10,19 \text{mg}/\text{m}^3$ y empaletizado $1,60 \text{mg}/\text{m}^3$, todos estos valores representan un nivel de riesgo inaceptable para la salud de las personas de preferencia en el área de limpieza, debido al incumplimiento de las normas de seguridad y al no uso de equipos de protección personal. Por lo que, según Herrera (2018), si los trabajadores están expuestos continuamente a

ambientes donde el aire contiene elevadas concentraciones material particulado pueden presentar enfermedades respiratorias.

Según la Guía para la Prevención de Emisiones Difusas de Partículas del Gobierno Vasco (2012) la lluvia ejerce un efecto de “limpieza” sobre el material particulado presente en el aire, así como el depositado en el suelo, evitando su resuspensión. Durante el tiempo de muestreo del presente estudio no se presentaron precipitaciones, sin embargo, debido que los niveles de material particulado presentes en el aire están condicionados por el estado del tiempo y fenómenos meteorológicos del lugar; es necesario considerar estas variables en estudios posteriores, ayudarían a conocer cómo se están esparciendo las partículas y por cuanto tiempo estarían suspendidas en el aire.

4.3. Comparación de los niveles de partículas de (PM₁₀) con la fracción fina (PM_{2,5}) en los ambientes internos de la industria molinera

Las PM₁₀ y PM_{2,5} proceden a menudo de fuentes de emisión diferentes y también tienen composiciones químicas distintas (Bathmanabhan y Saragur, 2010), las emisiones que se producen al quemar gasolina, petróleo o biomasa producen grandes cantidades de PM_{2,5}, mientras que las PM₁₀ proceden de fuentes industriales, polvo del suelo arrasado por el viento, material de construcción, etc. (Habil *et al.*, 2016), lo que significa que no siempre puede existir relación en su incremento o disminución de ambas; sin embargo, en la presente investigación existe una relación del 66,5 % para las dos concentraciones, esto se debe según Rojas y Galvis (2005) a la influencia de las fuentes de combustión sobre las partículas gruesas generadas mecánicamente y la dirección predominante del viento en los sitios de monitoreo (Rojano *et al.*, 2015), por ello es necesario estudiar detalladamente el origen de dicho material particulado y como se relaciona con el aporte de las distintas fracciones (Castagnasso *et al.*, 2017).

Para Acosta *et al.* (2019), Herrera (2018), Wendler (2018) y Rodríguez (2017), otros factores que podrían influenciar esta relación son: el incremento de la temperatura, las precipitaciones, humedad relativa, la radiación solar y la falta de sistemas de aspiración adecuados. El viento produce dispersión del material particulado y la falta de equipos de aspersión favorece la acumulación; considerando estos dos aspectos, las instituciones deben

aplicar medidas técnicas y administrativas para reducir las concentraciones y minimizar el grado de exposición del trabajador.

Echeverry y Maya (2008) asocian la relación de PM_{10} y $PM_{2,5}$ a la combustión no controlada, desintegración mecánica de la materia, la resuspensión de partículas en el ambiente y al contenido de hollín producto de las emisiones vehiculares e industriales; los mismos autores encontraron relaciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$ para procesos industriales 0,56, combustión de combustibles 0,96, quema residuos agrícolas 0,96, calles pavimentadas 0,25, etc.; es decir, existe relaciones entre el tamaño de las partículas y sus fuentes. Para el caso de la industria molinera la relación entre PM_{10} y $PM_{2,5}$ fue de 0,66 esto debido a procesos mecánicos como: trituración, molienda, pulverización de material sólido, dispersión por acción del viento y procesos de combustión.

4.4.Comparación de los niveles de material particulado presentes en la industria molinera Induamerica Trade S.A. con la normativa nacional (ECA) e internacional (Organización Mundial de la Salud) de estándares de calidad del aire, valores límites permisibles para agentes químicos en ambiente de trabajo y definir la categoría de Índice de Calidad Ambiental (INCA)

Los resultados obtenidos de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$ se compararon con los Estándares Nacionales de Calidad del Aire (ECAs), Límites Máximos permisible de la OMS y el Índice de Calidad del Aire (INCA), los valores registrados en los puntos de muestreo demostraron que no se ha excedido las concentraciones de PM_{10} ($55,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y $PM_{2,5}$ ($28,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecidas en los ECAs PM_{10} ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y $PM_{2,5}$ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) respectivamente, pero si con las directrices de la OMS PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y $PM_{2,5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Al realizar la comparación de los niveles de PM_{10} ($36,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con el INCA para la calidad del aire durante los días de monitoreo estuvo dentro del rango establecido como bueno. Respecto a las concentraciones de $PM_{2,5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) indica que tiene un rango de moderado. Cuando el Índice de Calidad del Aire durante los días de monitoreo se encuentra dentro del rango bueno y moderado, no representa un riesgo para la salud de los trabajadores

(Rodríguez, 2017 y Arellano, 2019); por ello, las empresas deben contar con información actualizada y confiable con el fin de incluir acciones correctivas oportunamente.

Peña y Afanador (2019) sugieren que se debe tener en cuenta las apreciaciones de la población por que en muchas ocasiones frente a la presencia de cenizas y material particulado son los primeros en presentar reclamos, puesto que no solamente pueden provenir de actividades de una industria sino también de otras fuentes cercanas de combustión ya que la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud y la edad ya que en las pruebas epidemiológicas se han manifestado efectos adversos al material particulado tanto a exposiciones breves como prolongadas (OMS, 2005).

4.5. Evaluación los niveles de concentración de particulado PM₁₀ y PM_{2.5} con la salud de las personas que laboran en la industria molinera Induamerica Trade S.A.

Existe una relación positiva respecto a la contaminación del aire por material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, con consultas médicas y con urgencias debido a enfermedades respiratorias como asma, bronquitis, infecciones y rinitis (Gaviria *et al.*, 2011). Para la OMS (2005) investigaciones recientes han demostrado que concentraciones entre 3 a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2.5} generan efectos adversos sobre la salud de las personas.

Otros autores como Alvarado (2019), Sobczak *et al.* (2019), Herrera (2018), Roy *et al.* (2017), Jiménez (2017) y Fuentes *et al.* (2004) afirman que, concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} cercanas o que superen el umbral de los límites permisibles de los ECAs afectan significativamente a corto o a largo plazo la salud de las personas.

Respecto a los resultados registrados en la encuesta aplicada el 47,5 % de los trabajadores respondieron que habían tenido molestias en sus fosas nasales, 30 % obstrucción nasal y 16,3 % dolor de garganta durante las últimas 4 semanas, al corroborar estos resultados con los exámenes médicos ocupacionales de cada trabajador, no se registró ninguna de las molestias identificadas en las encuestas por lo que dichas afecciones pueden deberse a otros factores puesto que las concentraciones de $\bar{X}PM_{10} = 55,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\bar{X}PM_{2,5} = 28,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fueron

inferiores a los ECAs, lo que sí se pudo registrar a través de los exámenes médicos ocupacionales (EMO) es que el 35 % de los trabajadores habían padecido gripas durante el último año de trabajo, el 7,5 % tuvo asma y el 3,8 bronquitis; motivo por el cual Jiménez (2017) sugiere que frente a la emisión de material particulado se debe construir o realizar montajes de Tuberías-Ciclones-Codos-Filtros de Manga en las industrias molineras o implementar sistemas de aspersión.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- En el proceso de pilado de “arroz” se determinaron cuatro puntos críticos: eliminación de impurezas en el zarandeo, emisión de material particulado en las tolvas de secado y pilado, emisión de vano y emisión de cascarilla; además, se verificó que por efecto de la vibración, la gravedad y acción de las corrientes de aire, parte del material particulado cae a las superficies de la maquinaria y del suelo, mientras que otra parte se esparce por las diferentes áreas de trabajo incrementando la cantidad de PM_{10} y $PM_{2,5}$.
- De acuerdo a las concentraciones registradas en los puntos de muestreo promedio $\bar{X}PM_{10}= 55,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\bar{X}PM_{2,5}= 28,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se logró evidenciar que están por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental de la normativa peruana para 24 horas de monitoreo; sin embargo, algunos puntos se encuentran muy cercanos de dicho umbral.
- La relación que existe entre los niveles de partículas de material grueso (PM_{10}) con la fracción fina ($PM_{2,5}$) es significativa con 66,5 % y $F= 2,38$, lo cual permite afirmar que es posible predecir los valores de $PM_{2,5}$ a partir de los valores de PM_{10} .
- Se determinó que 3 puntos de muestreo para material particulado PM_{10} (P1-I 85, P3-I 52,25 y P4-I 53,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y $PM_{2,5}$ (P1-I 39, P3-I 35 y P4-I 37,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sobrepasan las directrices de la Organización Mundial de la Salud PM_{10} (50) y $PM_{2,5}$ (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante 24 horas de muestreo y respecto al Índice de Calidad Ambiental para PM_{10} (36,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) la calidad del aire durante los días de monitoreo está dentro del rango establecido como buena, referente a las concentraciones de $PM_{2,5}$ (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) el rango fue moderado.

- Según la encuesta aplicada a 80 trabajadores, el 7,5 % tuvo asma y el 3,8 % bronquitis, enfermedades confirmadas en los exámenes médicos ocupacionales, el 88,8 % tuvo otras enfermedades que no son generadas por material particulado PM₁₀ y PM_{2,5}. Respecto a los síntomas que presentaron los encuestados durante las 4 últimas semanas el 47,5 % tuvo molestias en las fosas nasales, el 30 % solo obstrucción nasal y solamente el 16,3 % dolor de garganta esto puede estar relacionado con el índice de exposición del trabajador en áreas donde hay mayor presencia de material particulado, humos y gases.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

A la industria molinera Induamérica Trade S.A.

- Diseñar un sistema de extracción en la zona de descarga, secado y pilado, emisión de vano y emisión de cascarilla de “arroz” para mejorar notablemente la calidad del aire respirable y evitar la exposición de los trabajadores al material particulado.
- Desarrollar un Plan para la prevención de riesgos laborales y minimizar los efectos de la calidad del aire en los trabajadores.
- Implementar un plan de seguridad en la que contemple capacitación y entrenamiento a los trabajadores con la finalidad de tener información sobre el material particulado y sus consecuencias en la salud de las personas a mediano y largo plazo.
- Para futuras investigaciones considerar un mayor número de muestras tanto para material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$; además, establecer por lo menos tres muestreos por punto en diferentes épocas del año.

REFERENCIAS

- Acosta, M., Rodríguez, L., Cuitiva, A. Altamar, A. y Aragón, J. (del 13 al 10 de setiembre del 2019). *Comparación de la calidad de aire por PM₁₀ y PM_{2.5} con la temperatura y precipitaciones en una zona aledaña a la Universidad Libre Sede Bosque en Bogotá D.C.* Retos en la formación de ingenieros en la era digital. Cartagena de Indias, Colombia. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/247/243>
- Agencia de Protección Ambiental (1998). Documento de técnicas de control de material particulado fina proveniente de fuentes estacionarias. <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/pmcontech2.pdf> [EPA]
- Alvarado, R. (2019). *Evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en las piladoras Rey León S.A.C. y Santa Clara, cacatachi-2018.* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39381/Alvarado_AR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aránguez, E., Ordóñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A. y Galán, I. (1999). Contaminación atmosférica y su vigilancia. *Rev. Esp. Salud Pública*, N° 73: 123-132. <https://www.scielo.org/pdf/resp/1999.v73n2/123-132/es>
- Arellano, E. (2019). *Nivel de contaminación por material particulado (PM₁₀) y su composición metálica en el área urbana del distrito de Cusco.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12142>
- Arciniégas C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM₁₀. *Luna Azul*, N° 34, 195-213. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Bathmanabhan, S. y Saragur, S. (2010). Analysis and interpretation of particulate matter – PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ emissions from the heterogeneous traffic near an urban roadway [Análisis e interpretación de las emisiones de partículas PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁ procedentes del tráfico heterogéneo en las vías urbanas vía urbana]. *Atmospheric Pollution Research* 1, 184-194. doi: 10.5094/APR.2010.024
- Benavides F. Merino-Salazar. P., Cornelio, C., Avila, A., Agudelo-Suárez, A., Amable, M., Artazcoz, L., Astete, J., Barraza, D., Berhó, F., Carmenate, L., Delclos, G., Funcasta, L., Gerke, J., Gimeno, D., Itatí-Iñiguez, M., Lima, E., Martínez-Iñigo, D., Mesquita, de Medeiros, A., Orta, L., Pinilla, J., Rodrigo, F., Rojas., M., Sabastizagal, I., Vallebuona, C., Vermeylen, G., Villalobos, G. y Vives, A. (2016). Cuestionario

básico y criterios metodológicos para las Encuestas sobre Condiciones de Trabajo, Empleo y Salud en América Latina y el Caribe. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro*, 32(9), 1-13. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00210715>

Buchelli, L. y Reinoso, M. (2014). Disminución de contaminantes aéreos en una planta de balanceados mediante la propuesta de un sistema de extracción de polvo. *Revista de ciencia y tecnología Ingenius*, N° 12, 5-14. https://www.researchgate.net/publication/276465444_Disminucion_de_contaminantes_aereos_en_una_planta_de_balanceados_mediante_la_propuesta_de_un_sistema_de_extraccion_de_polvo

Buitrago, A. y Tejeiro, J. (2019). *Influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de PST y PM₁₀ en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15598>

Capuena, H. y Angulo, J. (2017). *Determinación de la influencia de las actividades urbano e industrial en el nivel de contaminación del aire mediante la determinación de partículas suspendidas respirables (PM_{2,5}), en el Alto Mayo, 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2520/Tesis%20Harold%20Capuena%20y%20Jack%20Angulo%20fin.pdf?sequence=1>

Carnicer, J. (2008). Contaminación atmosférica. Escuela de Negocios EOI. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/si_tesis_contaminacion_atmosferica_-contaminacion_ambiental.pdf

Castagnasso, G., Balbi, K., Giuliani, D. Porta A. y Massolo, L. (2017). *Relación entre concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} en calidad del aire de Dock Sud, provincia de Buenos Aires*. Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CIMA) Facultad de Ciencias Exactas Universidad Nacional de La Plata

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y Organización Panamericana de la Salud (2004). Guías para la calidad del aire. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/guiasaire.pdf>

Cieza, S. y Torres, Y. (2022). *Medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo ocupacional por SO₂, NO₂, CO, H₂S y material particulado PM-10, en el molino Chiclayo SAC, 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6119>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5502/1/S0900307_es.pdf [CEPAL]

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2017). El cambio climático, las políticas públicas y la demanda de energía y gasolinas en América Latina. https://www.gizcepal.cl/files/Sintesis_PP_CC_Cambio_Climatico_Politicas_Publicas_y_demanda.pdf [CEPAL]

Cortés, M. y Iglesias, M. (2004). Generalidades sobre Metodología de la Investigación. México. Universidad Autónoma del Carmen. https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf

Culver, M. (2015). Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (II). Tipos de muestreo. <https://www.insst.es/documents/94886/329558/ntp-1065w.pdf/0542df2c-757a-46b8-b75b-2d0246a156a5>

Dalmaso, A., Candia, R. y Llera, J. (1997). La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *MULTEQUINA* 6, 91-97. <https://www.redalyc.org/pdf/428/42800608.pdf>

Decreto Supremo 015-2005-SA. Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en Ambientes de Trabajo. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 06 de julio de 2005. pp. 29-35.

Decreto Supremo N° 003-2017 [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias (6 de junio del 2017).

Decreto Supremo N° 10-2019-MINAM. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (2 de diciembre del 2019). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/434320/PROTOCOLO_MONITOR_EO_AIRE_compressed.pdf

Dirección General de Salud Ambiental (2005). Manual de Salud Ocupacional. Lima-Perú. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/manual_deso.PDF

Domínguez, H. (2004). Nuestra atmósfera: Como comprender los cambios climáticos. Editorial Lectorum S.A de C.V.

https://books.google.com.ec/books?id=Dgd_oUuTnDUC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

- Echeverry, C. y Maya, G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM_{2.5}) y respirables (PM₁₀) en la ciudad de Medellín. *Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 7, N° 12, 23-42. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/198/185>
- Enríquez, J. (2016). *Los equipos de protección personal y su incidencia en los riesgos laborales de los trabajadores del gobierno autónomo descentralizado del Cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/20268>
- Fajardo-Gutiérrez A. (2016). Medición en epidemiología: prevalencia, incidencia, riesgo, medidas de impacto. *Rev Alerg Mez.* 64(1), 109-120. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ram/v64n1/2448-9190-ram-64-01-00109.pdf>
- Fuentes, E., Parada, V. y Renderos, J. (2004). *Determinación de partículas respirables (PM₅) producidas en el ambiente laboral de los beneficios de arroz localizados en el departamento de san salvador*. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio institucional de la Universidad de El Salvador. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5589/1/10128586.pdf>
- García, F., Agudelo, R. y Jiménez, K. (2006). Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta, Colombia. *Rev Fac Nac Salud Pública* Vol 24, N° 2, 73-82. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v24n2/v24n2a08.pdf>
- Garmendia, A., Salvador, A., Sánchez, C. y Garmendia, L. (2005). Evaluación de Impacto ambiental. Editorial Pearson. <https://sociologiaambientalvcm.files.wordpress.com/2014/07/evaluacion-de-impacto-ambiental-garmendia.pdf>
- Garrido, A. y Camargo, Y. (2012). Partículas respirables en el aire: generalidades y monitoreo en Latinoamérica. *Revista INGE CUC*, 8(1), 293-312. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/268/256>
- Gaviria, F., Benavides, C. y Tangarife, A. (2011). Contaminación por material particulado (pm_{2,5} y pm₁₀) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 29(3), 241-250. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/8920>

- Gonzales, G., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K. y Steenland, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*, 31(3):547-56. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v31n3/a21v31n3.pdf>
- Guevara, J. (2017). *Índice de la calidad de aire en el Distrito de Morales debido a la presencia de material particulado 2.5 microgramos*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/799/Julio_Tesis_bac_hiller_2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Gobierno Regional de Lambayeque (2016). Plan regional de acción ambiental 2016-2021. <http://www.munilambayeque.gob.pe/documentos/plaraa-2016.pdf>
- Gobierno Vasco (2012). Guía para la prevención de emisiones difusas de partículas. https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guia_emisiones_difusas/es_doc/adjuntos/guia_emisiones_difusas.pdf
- Habil, M., Massey, D. y Taneja, A. (2016). Personal and ambient PM_{2.5} exposure assessment in the city of Agra [Evaluación de la exposición personal y ambiental a las PM_{2.5} en la ciudad de Agra]. *Data in Brief* 6, 495-502. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340915004060?via%3Dihub>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6 edición ed.). *México DF: McGraw Hill*. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- Herrera, D. (2018). *Estudio del material particulado en la descarga de trigo y su incidencia en la calidad del aire de la industria molinera*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Universidad Técnica de Ambato. http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28024/1/Tesis_t1409msh.pdf
- Jaramillo, M. (2015). *Desarrollo de un sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) para garantizar la inocuidad alimentaria de una industria molinera de trigo*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato]. <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/1429/1/75860.pdf>
- Jiménez, C. (2017). *Propuesta de mejoramiento en el área de secado para minimizar los riesgos de exposición a material particulado de polvo orgánico (arroz) en la empresa*

Agrigloma S.A. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de Guayaquil; Quito, Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/22606/1/Tesis%20corregida%20Cr%c3%adstopher%20Jim%c3%a9nez.pdf>

Laverde, F. (2016). *Determinación de material particulado mediante un balance de materiales en las áreas críticas de la planta Italcol S.A Funza*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio institucional. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2599/Laverdefernando2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ley N° 28611. Ley General del Ambiente. (13 de octubre del 2005). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente#:~:text=Ley%20N%C2%B0%2028611%20.,%2D%20Ley%20General%20del%20Ambiente.&text=La%20presente%20Ley%20N%C2%B0,gesti%C3%B3n%20ambiental%20en%20el%20Per%C3%BA>.

Ley N° 29783. Ley de seguridad y salud en el trabajo. (11 de agosto del 2011). https://www.munlima.gob.pe/images/descargas/Seguridad-Salud-en-el-Trabajo/Ley%2029783%20_%20Ley%20de%20Seguridad%20y%20Salud%20en%20el%20Trabajo.pdf

Martínez, C. (2012). *Estadística y Muestreo*. Bogotá. Colombia: Décima tercera edición. Ecoe ediciones.

Martínez, A. y Paz, L. (2016). Influencia del Hollín sobre la Resistencia a la Compresión de Ladrillos Cerámicos. *INGE CUC*, 12(2) 97-102. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.10>

Martínez, M., Soto, I., Fernández, R., Roig, A., Meneses, E. y Maldonado, G. (2017). Comportamiento de la fracción de PM10 en zona cercana a un molino de arroz. *Higiene y Sanidad Ambiental* 17 (3), 1529-1533. <https://1library.co/document/z145o0vz-comportamiento-fracci%C3%B3n-pm-zona-cercana-molino-arroz.html>

Medina, E. (2019). La contaminación del aire un problema de todos. *Fac Med* Vol. 67 No. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v67n2.82160>

Merino, P. (2016). *Trabajo y salud en América Latina y el Caribe a través de las encuestas de condiciones de trabajo, empleo y salud*. [Tesis de doctorado, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona]. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/463029?locale-attribute=es>

- Ministerio del Ambiente (2016). Establecen el Índice de Calidad del Aire - INCA y crean el Sistema de Información de Calidad del Aire - INFO AIRE PERÚ, como parte del Sistema Nacional de Información Ambiental – SINIA. <http://www.osterlingfirm.com/Documentos/webma/normas/RM-181-2016-MINAM.pdf> [MINAM]
- Ministerio del Ambiente (2017). Informe Nacional de la calidad del aire 2013-2014. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente (2018). Guía de la calidad del aire y educación ambiental. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2019). Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad#:~:text=El%20E2%80%9CProtocolo%20Nacional%20de%20Monitoreo,%20compatible%20confiable%20y%20representativa.>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>
- Montoya, J. (2018). Monitoreo ambiental en la molinera Sudamérica S. A. C. – Lambayeque. *Tecnología y Desarrollo*. 16(1), <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/rtd/article/view/1813/1614>
- Montoya-Rendon, M., Zapata-Saldarriaga, P. y. Correa-Ochoa, M. (2012). Contaminación ambiental por PM_{10} dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia. *Rev. Salud pública* 15(1), 103-115. <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v15n1/v15n1a10.pdf>
- Mosqueira, H. (2019). *Evaluación de las partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la construcción de la carretera Chota-Cochabamba (Cajamarca)*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2835/Evaluaci%3b3n%20de%20las%20part%3b3n%20de%20la%20carretera%20Chota%20e2%80%93%20cochabamba%2028.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Najar, A. y Álvarez, J. (2007). Mejoras en el proceso productivo y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias en un molino de arroz. *Industrial Data*, 10(1) 022-032. <https://doi.org/10.15381/idata.v10i1.6210>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015). Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978 [OEFA]
- Organización Mundial de la Salud (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=67F987F4E2051553E7C597B731265F5E?sequence=1 [OMS]
- Peña, C. y Afanador, J. (2019). *Calidad del aire en el sur occidente de Villaviciencia: Influencia del material particulado generado por el molino de arroz Roa Flor Huila*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19430/2019joseafanador?sequence=6&isAllowed=y>
- Prieto, O. (2016). *Caracterización de material particulado, plomo y arsénico para la evaluación de la calidad del aire en el distrito de Islay-Matarani*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio Institucional UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1904/AMprzao.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Real Academia de la Lengua Española (2016). Diccionario del Español Jurídico. <https://dej.rae.es/lema/emisiones-difusas>
- Reátegui, W. (2018). *Estimación de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en el área metropolitana de Lima utilizando un modelo Euleriano*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3635/reategui-romero-warren.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, N. (2017). Determinación de la concentración de material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) en vías urbanas de la ciudad de Tarapoto, Perú. *INDES* 3(2): 37-45. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KYGXxGd1gDMJ:revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/download/206/209&cd=11&hl=es&ct=clnk&gl=pe>

- Rojas, N. y Galvis, B. (2005). Relación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la ciudad de Bogotá. *Rev. Ingeniería*, N° 22, 54-60. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n22/n22a6.pdf>
- Riojas-Rodríguez, H., Soares da Silva, A., Texcalac-Sangrador, J. y Moreno-Banda, G. (2016). Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implications for climate change [Gestión y control de la contaminación atmosférica en América Latina y el Caribe: implicaciones para el cambio climático]. *Rev Panam Salud Publica* 40(3):150–59. <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v40n3/1020-4989-RPSP-40-03-150.pdf>
- Rojano, R., Angulo, L. y Restrepo, G. (2015). Concentración y relación de PST, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en poblaciones cercanas a minería a cielo abierto: Caso Cerrejón Colombia. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 30(3), 39-48. <http://ve.scielo.org/pdf/rfiucv/v30n3/art05.pdf>
- Romero, M., Diego, F. y Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana Hig Epidemiol* 44 (2). <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v44n2/hie08206.pdf>
- Roy, S., Hassan, N. y Haider, K. (2017). Measurement and Impact Assessment of PM_{10} in Ambient Air of BSCIC Bagerhat [Medición y evaluación del impacto de las PM_{10} en el aire ambiente de BSCIC Bagerhat]. *Open Journal of Air Pollution*, 6, 93-102. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=78093>
- Salinas, P. (2012). *Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencia por morbilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia, periodo mayo-julio, año 2010*. [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fms165c/doc/fms165c.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2011). Guía metodológica para la estimación de emisiones de $PM_{2.5}$. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). Calidad del aire: Una práctica de vida. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2016). Evaluación de la calidad del aire en Lima metropolitana, 2015. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01403SENA-7.pdf>

- Sobczak, P., Mazur, J., Zawislak, K., Panasiewicz, M., Zukiewicz-Sobczak, W., Królczyk, J. y Lechowski, J. (2019). Evaluation of Dust Concentration During Grinding Grain in Sustainable Agriculture [Evaluación de la concentración de polvo durante la molienda. El grano en la agricultura sostenible]. *Sustainability*, 11, 4572. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/17/4572>
- Vargas, Y. y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad ambiental. *Revista Facultad de ciencias básicas*, 14 (1), 59-72. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108/2874>
- Villacrés, M. (2015). *Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado sedimentable*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4855>
- Wendler, D. (2018). *Análisis de la carga de material particulado generado por la industria arrocerera en el pueblo de los charrúas*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Nacional]. <https://1library.co/document/ye9exk4q-analisis-material-particulado-generado-industria-arrocera-pueblo-charruas.html>
- Yuquilema, R. (2018). *Material particulado en el área de empaque de harina en industrias molineras y su relación con la afectación a la salud de los trabajadores*. [Tesis de Maestría, Ambato, Ecuador]. http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28493/1/Tesis_%20t1458mshi.pdf

TERMINOLOGÍA

Accidente de trabajo. Son aquellos sucesos repentinos que afecten la salud, lesión personal, enfermedad o muerte resultante de un accidente laboral. Abarca todas aquellas relaciones directas e indirectas en las que existe intervención del trabajador durante un proceso de producción (DIGESA, 2005).

Contaminante primario. Son un conjunto de sustancias contaminantes que son emitidas de manera directa, indirecta y fugitivamente a la atmósfera por fuentes generadoras que puede ser móviles o fijas (Aránguez *et al.*, 1999).

Emisión difusa. Son las descargas al ambiente aéreo por puntos no focalizados de manera perene e interrumpida de partículas o gases que producen contaminación atmosférica (Real Academia de la Lengua Española, 2016).

Emisión. Es una acción de emitir los excedentes de un proceso a través de una unidad de salida preferentemente direccionada hacia la superficie terrestre o atmosfera, estas unidades pueden ser móviles o fijas (Martínez y Paz, 2016).

Enfermedad ocupacional. Es aquella enfermedad contraída a consecuencia directa o indirecta por la actuación lenta o persistente de un agente de riesgo inherente a la actividad realizada por el trabajador (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2005).

Estándar de calidad del aire. Son los valores permitidos de la cantidad de un agente contaminante al medio aéreo, debido que al sobrepasar su valor podría conllevar a un riesgo con implicancias sobre las personas y el ambiente (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2016).

Hollín. Las partículas de hollín, ópticamente definidas como carbono negro, son ubicuas en la atmósfera. Se emiten durante la combustión incompleta de materiales carbonosos, incluidos los combustibles fósiles y la biomasa (Martínez y Paz, 2016).

Incidencia. Es la aparición de algo no deseado (material particulado, gases, malos olores, polvos, aerosoles, etc.) y que puede poner en peligro la salud de un trabajador (Fajardo-Gutiérrez, 2016).

Índice de Calidad del Aire. Es un indicador que permite determinar, conocer e informar de forma clara y evidente la calidad del aire que estamos respirando en un determinado espacio o ambiente (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2009).

Polvo. Son partículas diminutas que son visibles e invisibles al ojo humano cuyas características, es que se mantienen flotando o se sedimentan sobre la superficie del suelo o cualquier objeto (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2015).

Punto crítico. Es aquel punto, etapa de operación o procedimiento en el cual se puede ejercer un control para poder eliminar o reducir un riesgo y de esta manera evitar que se afecte la salud de los trabajadores (Jaramillo, 2015).

Riesgo. Es aquella posibilidad que un peligro se concretice teniendo en cuenta ciertas condiciones y al mismo tiempo se produzca daños al trabajador, a los materiales y al ambiente (Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo N° 29783, 2015).

APÉNDICES

Apéndices 1. Cuestionario para evaluación de las condiciones de trabajo en la industria Induamerica Trade S.A sobre material particulado PM_{2.5} y PM₁₀ e influencia sobre la contaminación del aire

Estimado(a) trabajador, la presente encuesta servirá para identificar y evaluar el tipo actividad que realiza de acuerdo al área, situaciones de su salud (presencia o ausencia de tos, alergias, estornudos, esputo, dificultad para respirar, irritación y secreción ocular y nasal), percepciones sobre el aire que respiran y otras variables.

Cuestionario N°: _____ Sede: _____

I. Nivel básico

1. ¿Cuántos años _____ tiene?
2. ¿Cuántos años trabaja en la empresa? _____
3. Ocupación: _____

4. **Sexo del ciudadano:**

Masculino	Femenino
-----------	----------

5. Grado de instrucción del ciudadano.

Sin grado de instrucción	Secundaria completa	
Inicial	Secundaria incompleta	
Primaria completa	Superior completa	
Primaria incompleta	Superior incompleta	

1. ¿Cuál es su puesto de trabajo en la industria molinera Induamerica Trade S.A.?
.....
2. ¿Cuál es la actividad económica principal de la empresa en la que Usted trabaja?
.....
3. Aproximadamente ¿cuántas personas, incluyéndose Usted, trabajan en la misma área de trabajo?
.....
4. ¿Cuántas horas trabaja Usted como promedio a la semana?
.....
5. ¿Qué horario de trabajo tiene Usted habitualmente?

Mañana	
Tarde	
Noche	

6. En su centro de trabajo, ¿tiene acceso a un servicio de prevención de riesgos laborales o de salud laboral?

Si	
----	--

No	
----	--

7. En su centro de trabajo, ¿existe delegado, comité de salud y seguridad o higiene en el trabajo?

Especifique:

.....

Si	
No	

8. ¿Dispone de equipos de protección personal (casco, guantes, botas, respirador, mascarillas y lentes) obligatorios para sus tareas?

Si	
No	

9. En su puesto de trabajo, ¿sabe si se han realizado evaluaciones o mediciones sobre material particulado PM 2.5 y PM 10 en los últimos 12 meses?

Si	
No	

10. En relación con los riesgos para su salud y seguridad relacionados con su trabajo, ¿en qué medida diría usted que está informado?

Muy frecuentemente	
Frecuentemente	
Ocasionalmente	
Raramente	
Nunca	

11. En su centro de trabajo, ¿se realizan reuniones periódicas en las que los empleados pueden manifestar sus puntos de vista sobre lo que está ocurriendo en la empresa en relación a la salud y seguridad en el trabajo?

Muy frecuentemente	
Frecuentemente	
Ocasionalmente	
Raramente	
Nunca	

12. ¿Se utilizan sustancias químicas o nocivas, o existen focos de contaminación por productos químicos?

Si	
No	

13. Se han instalado extractores localizados en las zonas o puntos donde se puede producir generación y dispersión de contaminantes ambientales.

Si	
No	

14. ¿Estas extracciones disponen de campanas de extracción de forma y tamaño adecuados a las características de los focos de emisión?

Si	
No	

15. ¿Se han adoptado precauciones para evitar corrientes de aire transversales que puedan afectar a los sistemas de extracción localizada?

Si	
No	

16. ¿Se lleva a cabo una limpieza y un mantenimiento periódicos de los elementos de extracción localizada?

Si	
No	

17. ¿Se miden periódicamente las emisiones de los sistemas de extracción localizada para verificar el cumplimiento de lo legislado?

Si	
No	

18. ¿Se realiza una adecuada gestión de los residuos recogidos y/o generados en la limpieza de los elementos de depuración?

Si	
No	

19. ¿Se dispone de un sistema de ventilación general (natural o forzado) de los locales de trabajo?

Si	
No	

20. ¿Se ha comprobado, mediante medición, que el sistema proporciona los caudales de aire exterior mínimos exigidos?

Si	
No	

21. ¿Se dispone de sistemas para la climatización de los locales?

Si	
No	

22. ¿Cuál/es de las siguientes enfermedades puede ser producida por la exposición diaria a la contaminación del aire?

Gripas	
Cáncer de pulmón	
Enfermedades respiratorias	
Accidente cerebro vascular	
Neumonía	
Ninguna de las anteriores	
No sabe	

23. ¿Cuándo la calidad del aire es mala?

Cuando el aire no es apto para respirar	
Cuando hay mal olor	
Cuando hay humo	
Cuando el aire tiene componentes que puede afectar la salud.	
Todas las anteriores	
No sabe	

TOS

24. ¿Tose más de 4 veces en el día, por 4 o más días en la semana?

Si	
No	

EXPECTORACIÓN

25. ¿Expectora (desgarra, gargajea) 2 o más veces en el día por 4 o más días en la semana?

Si	
No	

EPISODIOS DE EXACERBACIÓN

26. ¿Si tiene tos y expectoración permanente, ha tenido episodios en los cuales le hayan aumentado en los últimos tres meses?

Si	
No	
NA	

SIBILANCIAS

27. ¿Ha tenido alguna vez sibilancias (silbido, chillido, hervidera) en el pecho en los últimos 6 meses?

Si	
No	
NA	

DISNEA

28. ¿Se ahoga (se asfixia o le falta el aire) con actividad física, caminando, rápido en lo plano o subiendo una escalera?

Si	
No	
NA	

GRIPA

29. ¿En el último año ha tenido gripas (catarro, resfriado, obstrucción) que se le bajen al pecho que lo hayan incapacitado o que lo hayan obligado a guardar cama?

Si	
No	
NA	

ENFERMEDADES PULMONARES

30. ¿Tuvo alguna de estas enfermedades confirmadas por un doctor?

Ataques de bronquitis	
Neumonía o bronconeumonía	
Bronquitis crónica	
Enfisema	
Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica	
Tuberculosis pulmonar	
Asma	
Otro.....	

ENFERMEDAD RESPIRATORIA

31. ¿Ha tenido usted alguno de los siguientes síntomas en las últimas cuatro semanas?

Molestias en una de sus fosas nasales	
Obstrucción nasal sin otros síntomas	
Secreción nasal espesa, verde o amarilla	
Sensación permanente de carraspeo o goteo en su garganta o nariz con secreción espesa	
Dolor en algún lugar de su cara	
Otros síntomas respiratorios: Sangrado nasal de manera recurrente	
Incapacidad para percibir olores	
Dolor en la garganta al pasar o tragar	
Irritación mucosa nasal	

32. ¿Ha tenido usted alguno de los siguientes síntomas al menos durante una hora por varios días consecutivos?

Nariz congestionada (llorosa o moquea)	
Obstrucción nasal permanente	
Rasquiña y enrojecimiento en sus ojos	
Irritación en la Piel	
Accesos de estornudos	
Rasquiña en su nariz	
Lagrimo ocular permanente	

Apéndices 2 Informe de análisis de laboratorio sobre PM₁₀ y Pm_{2.5}



INFORME DE ENSAYO 81270.401

N° de Orden de Servicio : O.S. 190314.01 DA
N° de Protocolo : 81270.401
Cliente : PROYECTO DE TESIS
Muestra(s) declarada(s) : Muestra de Aire
Procedencia de la Muestra : Muestreo por Área Monitoreos Ambientales
Nombre del Proyecto: EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM 2.5 – PM 10 E INFLUENCIA SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE LA INDUSTRIA INDUAMÉRICA TRADE S.A.C
Lugar de Muestreo: Carretera Panamericana Norte KM 775 Int. A (interior Molino Indoamerica) – del distrito, provincia y departamento de Lambayeque
Cantidad de Muestra(s) para ensayo : 01 muestra
Forma de Presentación : 02 filtros de calidad de Aire
Identificación de la Muestra : Cod. Lab. 81270.401
Fecha de recepción de muestra(s) : 2019-12-09
Fecha de Inicio del Análisis : 2019-12-10
Fecha de Emisión de Informe : 2019-12-11

Código de Laboratorio		81270.401	
Fecha Inicial Hora de Muestreo		2019-12-07/ 09:17 Hrs.	
Fecha Final Hora de Muestreo		2019-12-08/ 09:17 Hrs.	
Parámetro de Ensayo	Unidades	Límite de Cuantificación del Método	Resultados
Material Particulado PM10	µgPm10/m ³	3	85
Material Particulado PM2.5	µgPm2.5/m ³	25	39

Metodologías:

Parámetro	Método de Referencia
Material Particulado PM ₁₀	EPA CFR 40 Part 50, Appendix J 1997. Reference Method of the Determination of particulate Matter as PM 10 in the Atmosphere
Material Particulado PM _{2.5}	EPA 40 Part 50, Appendix to part 50 2006. Reference Method of the Determination of Fine particulate Matter as PM 2.5 in the Atmosphere

FIN DE DOCUMENTO



Digo Grover A. Ruyay Falcón
 C.B.P. 8505
 Jefe de Laboratorio

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Pág. 1 de 1