UEA Ambiental
PrePrint UEA

Sección Ambiental
Vol. AMB2324. ep30–196

| Recibido: 15/03/2024 |
| Aceptado: 15/04/2024 |
| Publicado: 23/10/2026 |

Análisis del material particulado como factor de riesgo en la salud

Analysis of particulate matter as a health risk factor

Jefferson Luis Altamirano Cadme[1], Derwin Viàfara Banguera[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep30-196 Crossref

Resumen

Las actividades humanas generan residuos particulados sólidos o líquidos suspendidos en el aire que se conocen como material particulado. Debido a la naturaleza del trabajo con la madera, las carpinterías son lugares donde se genera polvo de madera, que, sin un adecuado tratamiento, ocasiona serios problemas a la salud humana de los trabajadores y la comunidad en general. En este estudio, se cuantificó el material particulado PM2.5 y PM10 generado en la empresa de Muebles y Maderas Freire Lugo de la ciudad de Puyo, y su influencia como factor de riesgo en la salud de los trabajadores a través del índice de exposición. La metodología consistió en la observación del proceso de elaboración de muebles para definir los tiempos de exposición al polvo de madera y áreas de procesos. Se realizaron lecturas del material particulado mediante el instrumento AEROCET 532 en las diferentes áreas de trabajo. Se recolectó información acerca de las acciones y condiciones subestándares mediante fichas de observación. Entre los resultados, se definieron tres zonas o áreas: Cepillado, Trazado, Lijado y Pintura. Las acciones subestándares indican que existe un descuido en el uso del equipo de protección personal, especialmente para realizar actividades como lijado y pintura de piezas. Además, no existe un adecuado almacenamiento de materiales. En cuando a las condiciones subestándares, se debe mejorar en los procesos de mantenimiento de maquinaria, arreglo de instalaciones eléctricas, mejorar en la ventilación e iluminación de los espacios de trabajo. Los resultados del índice de exposición indican que la exposición al polvo de madera representa un riesgo aceptable para los trabajadores en todas las áreas, sin embargo, se deben mejorar los sistemas de ventilación y la obligatoriedad del uso del equipo de protección personal en el área de lijado y pintado. Se concluye con algunas recomendaciones de mejora a la infraestructura de la empresa para mejorar el ambiente de trabajo.

Palabras clave

material particulado, PM2.5, PM10, índice de exposición al polvo, AEROCET 532, límites permisibles de polvo de madera.

Abstract

Human activities generate solid or liquid particulate waste suspended in the air, known as particulate matter. Due to the nature of working with wood, carpentry workshops are places where wood dust is generated, which, without proper treatment, causes serious health problems for workers and the community at large. In this study, particulate matter PM2.5 and PM10 generated at the Furniture and Woods Freire Lugo company in the city of Puyo were quantified, along with its influence as a risk factor on workers' health through exposure indices. The methodology involved observing the furniture manufacturing process to define exposure times to wood dust and processing areas. Particulate matter readings were taken using the AEROCET 532 instrument in different work areas. Information about substandard actions and conditions was collected through observation sheets. Among the results, three zones or areas were defined: Planing, Marking, Sanding, and Painting. Substandard actions indicate negligence in the use of personal protective equipment, especially during sanding and painting activities. Additionally, there is inadequate material storage. Regarding substandard conditions, improvements are needed in machinery maintenance processes, electrical installations, and enhancing ventilation and lighting in workspaces. Exposure index results indicate that exposure to wood dust poses an acceptable risk for workers in all areas. However, ventilation systems and the mandatory use of personal protective equipment in the sanding and painting area need improvement. It concludes with some recommendations for improving the company's infrastructure to enhance the working environment.

Keywords

particulate matter, PM2.5, PM10, dust exposure index, AEROCET, permissible limits for dust.

Direcciones [1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: amb2015449@uea.edu.ec, dviafara@uea.edu.ec,

Autor para la correspondencia Jefferson Luis Altamirano Cadme. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: amb2015449@uea.edu.ec

Cómo citar ALTAMIRANO CADME, Jefferson Luis, VIÀFARA BANGUERA, Derwin and , 2026. Análisis del material particulado como factor de riesgo en la salud. PrePrint UEA. Vol. AMB2324. p. ep30–196. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAMB2324ep30-196

Editores Académicos Mario Javier Barrera Castro

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

Uno de los contaminantes atmosféricos y que produce un impacto directo en la salud humana es el material particulado (Reyes Segovia 2019). El material particulado (PM) es el resultado de una amplia gama de actividades humanas, y constituye una preocupación cada vez más urgente a nivel mundial. El PM está compuesto por una mezcla heterogénea de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire. Estas partículas pueden variar en tamaño, desde menos de 0.1 micrómetros hasta varios micrómetros de diámetro, haciéndolas difíciles de detectar a simple vista, pero capaces de

penetrar en el sistema respiratorio humano; incluso en el sistema circulatorio, desencadenando diversas patologías para el ser humano (Gu et al. 2018; Díaz y Páez 2006).

El PM generado en la industria procesadora de madera, es una de las principales amenazas potenciales para la salud de sus trabajadores. Se ha demostrado que la exposición prolongada al polvo de madera está asociada con el cáncer nasal y sinonasal (Alonso-Sardón et al. 2015). En consecuencia, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasificó el polvo de madera como carcinógeno humano del grupo 1; mientras que, en la Unión Europea, el valor límite de exposición ocupacional al polvo de madera dura es de 5 mg/m3. Este valor límite se utiliza para garantizar una salud ocupacional de los trabajadores frente a la exposición al polvo de madera catalogado como carcinógeno (Gu et al. 2018). En Ecuador, las partículas más pequeñas, conocidas como PM2.5, son preocupantes debido a su capacidad para alcanzar los alvéolos pulmonares; por lo tanto, para PM2.5 se ha establecido un máximo permisible de 50 ug/m3, y para PM10 un límite de 100 ug/m3 (DEPROINSA 2024).

A nivel mundial, diversos estudios indican que las personas expuestas al polvo de madera tienen un riesgo 500 veces superior a la población masculina no expuesta a contraer cáncer de senos nasales, un tipo de cáncer poco común. Además, la latencia promedio del polvo de madera es de 40 años, aunque depende de factores como la dosis y duración de la exposición (Vila Sabaté 2023). Estudios a nivel nacional, demuestran que los aserraderos producen polvo de madera que superan los límites permisibles de acuerdo a la normativa del Ecuador. Esto se debe al casi nulo control ambiental de la industria maderera en el territorio. Además, se indican que los aserraderos carecen de una infraestructura adecuada para su funcionamiento, ya que la mayoría son a cielo abierto, afectando directamente a los sectores aledaños (Santillán et al. 2021). De igual manera, un estudio realizado con 90 obreros de una empresa dedicada a la elaboración de muebles de madera, encontró que al menos 4 trabajadores desarrollaron enfermedades pulmonares en probable relación con la exposición al polvo de madera (Sánchez García 2018). La autora sugiere que existe una ausencia de investigaciones en este ámbito de la salud ocupacional.

Debido a que el PM en forma de polvo de madera representa un riesgo para la salud de los trabajadores de forma directa, es necesario realizar estudios sobre la cantidad de material particulado que se produce en las diferentes áreas de la empresa, para que en función de los resultados se propongan medidas correctivas con el fin de mejorar las condiciones laborales de los empleados. En el presente proyecto de investigación se realiza una cuantificación del material particulado PM2.5 y PM10 y su asociación como factor de riesgo en los trabajadores de la empresa Muebles y Maderas Freire Lugo de la ciudad del Puyo. Se pretende dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿La exposición al material particulado del polvo de madera, representa un riesgo inaceptable, moderado o aceptable para los trabajadores de la empresa Muebles y Maderas Freire Lugo de la ciudad del Puyo?. Es importante mencionar, que previamente no se han realizado investigaciones con diseño metodológico tanto en la empresa como en los sectores circundantes al área de influencia, por lo que esta investigación sería pionera y aportará al área del conocimiento de la salud ocupacional.

1.1. Fundamentación Teórica

1.1.1. Antecedentes

El material particulado representa un problema que afecta a distintos sectores económicos como la minería, metalurgia, alimentos, maderero, entre otros (Santurio Díaz 2015). La exposición al PM puede ocasionar diversas patologías respiratorias de tipo obstructivas (Sánchez García 2018).

En la industria maderera, cuya principal actividad es la manipulación, tratamiento y transformación de la madera, se produce polvo de madera en casi todas las etapas de la cadena de producción (Pazmiño Zapata 2015). El polvo de madera ocasiona diversas enfermedades al sistema respiratorio y cutáneo, incluso se ha reportado cáncer, en función del tipo de madera y de los componentes del mismo (Santurio Díaz 2015).

Varios son los factores que se deben considerar para analizar el polvo de madera en la industria maderera. Sin embargo, el monitoreo y conocimiento de la concentración de material particulado que se genera en la actividad es fundamental para proponer medidas de prevención de riesgos laborales (UNIR 2021b). Se considera que el desconocimiento de las enfermedades que produce el polvo de madera, representa una de las causas por la que los empleados y empleadores en Ecuador no adopten medidas de protección (Laínez Tomalá y Tomalá Tomalá 2019).

En el presente estudio, se analizó el material particulado como factor de riesgo en la empresa Muebles y Maderas Freire Lugo ubicado en la ciudad del Puyo, así como realizar una línea base de las condiciones laborales de la empresa. Los resultados obtenidos servirán para proponer medidas preventivas para mejorar la calidad de vida y espacio de trabajo de los empleados de esta empresa.

1.2. Marco Conceptual

En los siguientes párrafos se desarrollan los conceptos y teorías más importantes, que permiten el adecuado desarrollo de la investigación.

1.2.1. Material Particulado

El material particulado (PM por sus siglas en inglés) es cualquier acumulación de diminutas partículas de sólidos o líquidos en el ambiente y que son generados mediante alguna actividad humana (Instituto Vasco de Estadística 2024).

De acuerdo a la Agencia Nacional de Protección de los Estados Unidos (EPA 2024), el material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentran en el aire, y que son tan diminutas que solo pueden detectarse usando el microscopio electrónico.

En el caso puntual de las industrias dedicadas a la fabricación de muebles y tratamiento de madera, el material particulado puede ser generado por las máquinas lijadoras y el talco que se desprende de la masilla, en los procesos de masillado y lijado, esto provoca enfermedades respiratorias (Zapata Castrillón 2020).

1.2.2. Tipos de partículas

Los principales materiales particulados se clasifican en función del diámetro, en este sentido los tipos de partículas más estudiados son:

PM10: son partículas que tienen un diámetro de aproximadamente 10 micrómetros y que pueden ser inhalados. Algunos ejemplos son el moho, polen, polvo, entre otros. (EPA 2024).

PM2,5: las cuales son partículas inhalables finas que tienen un diámetro en general de hasta 2,5 micrómetros. Estos pueden ser partículas orgánicas o metales, entre otros.

Con respecto a la calidad del aire, existen cinco tipos de material particulado incluyendo los anteriores: PM1, PM2.5, PM4, PM7, PM10. (Reyes Segovia 2019).

1.2.3. Salud ocupacional

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) la salud ocupacional tiene como objetivo promover y mantener el bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas sus ocupaciones a través de la prevención de desviaciones de la salud, control de riesgos y adaptación de los espacios de trabajo (UNIR 2021a).

Dentro del marco legal ecuatoriano, la normativa de seguridad y salud ocupacional busca los mismos objetivos que la OMS y OIT, prevenir los accidentes y enfermedades que son producidas por actividades laborales en los puestos de trabajo, sea bien en el sector público o privado (Toro Toro, Comas Rodríguez y Castro Sánchez 2020). En este sentido, la presente investigación cumple con el objetivo de prevenir las enfermedades laborales mediante el análisis del material particulado y su influencia en la salud de los trabajadores de la empresa Muebles y Maderas de la ciudad de Puyo.

1.2.4. Riesgo Laboral

Se conoce como riesgo laboral a todo suceso que ocasione peligro a los trabajadores y empleadores de una empresa, estos daños pueden ser físicos o psicológicos. En el Ecuador, el organismo encargado de verificar la gestión de seguridad de las empresas es la Dirección de Seguridad, Salud en el Trabajo y Gestión Integral de Riesgos del Ministerio del Trabajo.

Por otra parte, de acuerdo a la ley, los tipos de riesgos laborales pueden ser: físicos, mecánicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales (UNIR 2021b).

1.2.5. Material particulado del polvo de madera

El polvo de madera es una compleja mezcla de celulosa y partículas como poliosas y lignina (Santillán Lima, Lara Basantes y Caichug Rivera 2022), además de acuerdo a la clase de la madera, se han reportado bencenos y formaldehidos, entre otros compuestos químicos presentes en la madera (Barrera Torres 2018).

1.2.5.1. Celulosa

Es un polímero de hidratos de carbono organizados de forma lineal, y entre una y cuatro moléculas de celulosa, y que conforma la pared de las células vegetales (Santurio Díaz 2015).

1.2.5.2. Lignina

Es un polímero ramificado formado principalmente por moléculas de fenilpropanol, el cual funciona como compactante para unir elementos conformados por celulosa (Santurio Díaz 2015).

1.2.5.3. Hemicelulosa

Está conformada por polímeros ramificados con bajo peso molecular, principalmente hexosa y pentosa (Santurio Díaz 2015).

1.2.6. Elementos químicos asociados al polvo de madera

Para realizar un análisis del polvo de madera, es necesario considerar los compuestos químicos asociados y/o añadidos al tratamiento y conservación de la misma, estos compuestos pueden abarcar una amplia gama de productos como tintes, lacas, pinturas, colas, catalizadores, disolventes, plaguicidas, entre otros. Entre los compuestos químicos más frecuentes en los barnices se halla el poliuretano, formol a base de urea, nitrocelulosa. Los fungicidas suelen basar su actividad en pentaclorofenol, cresoles, sales de Zinc y Cobre. Por último, los insecticidas contienen compuestos de arsénico, mercurio y lindano. (Santurio Díaz 2015).

1.2.7. Efectos del material particulado sobre la salud humana

El polvo de madera ocasiona enfermedades pulmonares del tipo obstructivas. (Buritica Orozco et al. 2022). Las partículas de polvo más pequeñas son más dañinas que las de mayor tamaño, pues permanecen más tiempo en la atmósfera y penetran hasta lugares profundos en los bronquios. En función del tipo de contacto del polvo de madera con el cuerpo humano se pueden definir los siguientes tipos de toxicidad del polvo de madera.

Contacto con la piel.- este tipo de contacto puede ocasionar irritación en la piel, ojos, mucosas nasales, alergias debido a los hongos y esporas que puede contener la madera sin tratar (Santurio Díaz 2015).

Inhalación del polvo de madera. - este contacto ocasiona la irritación de las mucosas en las vías respiratorias que desencadena rinitis aguda, principios de asma y eventualmente ocasionar dificultad en la respiración de los trabajadores. (Santurio Díaz 2015).

Inhalación y contacto tópico con compuestos químicos asociados a la madera. - existen ciertos compuestos químicos que pueden liberarse mediante la fricción por manipulación de la madera. En función del tipo de toxicología, se pueden definir sustancias irritantes como cresoles, cromo III, amoniaco, hexano, tolueno, xilenos, entre otros. Entre las sustancias nocivas se halla las sales de Cobalto, tolueno, y compuestos de arsénico. Hay sustancias cancerígenas como el cromo VI que se desprenden de la evaporación de insecticidas. (Santurio Díaz 2015).

Capacidad vital forzada (CVF). - es un concepto de espirometría que indica la máxima cantidad de aire que es exhalado de forma forzada iniciando a partir de una inhalación total.

Pico respiratorio flujo (PEF). - es el máximo flujo instantáneo del proceso CVF, y se expresa en litros.

1.2.8. Normativa Ambiental con respecto al material particulado

En el Ecuador, el Acuerdo Ministerial 91 A, con respecto a la Norma de Calidad Ambiental, en el Anexo 4 establece la Norma Técnica para la Prevención y Control de contaminación, en la cual dispone la aplicación obligatoria de las mediciones de material particulado en todo el territorio nacional, para cumplir con la Norma de Calidad del Aire. (DEPROINSA 2024).

1.2.9. Método de determinación del material particulado

En Ecuador, el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Anexo 4, establece los métodos de concentraciones de contaminantes comunes del aire. Para el Material Particulado PM10 se determina mediante método granulométricos o mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal. Por otra parte, para medir el material particulado PM2,5 se recomienda usar el método gravimétrico, mediante muestreador de bajo caudal. (MAATE 2009).

1.2.10. Evaluación de Riesgos Laborales

Evaluar los riesgos laborales es una responsabilidad empresarial y constituye un ejercicio fundamental para prevenir daños a la salud y seguridad de los trabajadores. Tiene como fin identificar los peligros asociados a las condiciones y espacio de trabajo para eliminar estos factores de riesgo, evaluar los posibles riesgos que no se puedan eliminar y sobre todo planificar la gestión y aplicación de medidas correctivas para disminuir los riesgos laborales (Istas 2021).

1.3. Estado del Arte

En la investigación titulada "Enfermedades pulmonares obstruidas relacionadas con la exposición al polvo de madera en obreros de empresa dedicada a la fabricación de muebles", la autora (Sánchez García 2018) afirma que el polvo de madera es un contaminante ambiental que provoca enfermedades a los pulmones de tipo obstructivas. La investigación consistió en realizar mediciones espirométricas a 90 trabajadores de las líneas productivas de la fábrica de muebles, para correlacionar los resultados versus las condiciones antropométricas y de tipo laboral. Los resultados indican patologías pulmonares con probable relación a la exposición del polvo de madera en cuatro trabajadores de la sección de fabricación de dormitorios. Además, se encontró que a mayores años de trabajo mayor CVF en el área de preparación de madera. De igual manera a mayor índice de masa corporal mayor PEF en el área de elaboración de dormitorios. La principal conclusión a la que llegó la investigación es que las condiciones propias de la salud de los trabajadores son los que determinan el tipo de reacción o respuesta frente a la exposición de polvo de madera.

En el estudio titulado "Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil por incidencia de aserraderos", los autores Santillán Lima, Lara Basantes y Caichug Rivera (2022) evaluaron el grado de contaminación del material particulado volátil (PMV) y sedimentable (PMS) producidos en los aserraderos en el barrio La Esperanza de la ciudad de Riobamba, debido a que estos producen daños al sistema respiratorio e irritación de nariz, garganta y bronquios en las personas. Para determinar PMV se empleó el equipo DuskTrak II, además de analizar cualitativamente PMS de madera mediante microscopía óptica. Los resultados indican que PMV supera los límites máximos permisibles tanto en los establecidos en la legislación del Ecuador como de la Organización Mundial de la Salud, llegando alcanzar valores máximos de casi 43 ug/m3 para PM10. Además, los autores señalan que existe un escaso control en las actividades de manipulación de madera en el sector, también carecen de infraestructura adecuada para el funcionamiento, en conjunto produce que exista una contaminación atmosférica por material particulado alarmante, y que produce problemas de salud en los residentes aledaños.

En la tesis "Concentración de partículas solubles e insolubles en el área de producción de la Empresa Madeca y su incidencia en el cumplimiento legal de exposición del contaminante", el autor (Pazmiño Zapata 2015) determinó las partículas solubles e insolubles del área de producción de la empresa Madeca. El autor evaluó el riesgo por inhalación considerando la acumulación de polvo excesiva en el área de producción, la unidad de medida del material particulado fue de partes por millón, y posteriormente se comparó con los límites de exposición diaria de acuerdo a normativas internacionales. Los resultados indican que la acumulación de polvo en el área de producción, supera los límites permisibles, lo cual indica que se deben tomar medidas de control inmediatas para evitar el deterioro de la salud de los trabajadores. Se recomienda realizar un sistema de captación y recolección de polvo para evitar que este se disperse en el área, y así mejorar la calidad del espacio de trabajo.

El desconocimiento de las enfermedades que ocasiona el polvo de madera por parte de los trabajadores de las empresas, en un factor que también influye en la vulnerabilidad de los trabajadores frente a problemas de salud ocasionados por la manipulación y tratamiento de madera. Por ejemplo, en la investigación denominada "Medidas de bioseguridad y su relación con las enfermedades respiratorias en ebanistas. Comuna El Tambo. Santa Elena 2018-2019", los autores Laínez Tomalá y Tomalá Tomalá (2019) determinaron el nivel de conocimiento acerca de las medidas de bioseguridad y su influencia con las enfermedades debido a la exposición al polvo de madera, mediante una encuesta a 48 ebanistas de la comunidad El Tambo, Santa Elena. Los resultados indican que el 42% de la población desconoce el tema y 12% manifestó conocer muy poco sobre el adecuado uso de las medidas de bioseguridad. Además, se evidenció las molestias de los ebanistas debido a enfermedades respiratorias y otras afecciones corporales debido a la exposición del material particulado.

Una de las enfermedades más letales que produce el polvo de madera es asma. En este sentido, en la investigación denominada "Un metaanálisis de la exposición a polvo de madera y el riesgo de asma", los autores Pérez-Ríos et al. (2010) realizaron una valoración, empleando metaanálisis sobre el riesgo de desarrollar asma laboral, en función de la exposición al polvo de madera. El estudio se fundamentó en la revisión sistemática de literatura científica incluyendo 3 estudios de cohortes, 12 estudios de caso y 4 investigaciones de mortalidad. Los resultados estimaron que el riesgo relativo combinado de asma en obreros de empresas madereras con exposición a polvo de madera alrededor del mundo fue

1,53, es decir los trabajadores tienen un aumento del riesgo de asma. Sin embargo, cuando se analizan el riesgo de asma de acuerdo a la raza caucásica y asiática, los trabajadores asiáticos tienen menor riesgo de asma (1,15) en comparación con las poblaciones caucásica (1,59). Por último, los autores indican que los trabajadores de madera tienen mayor riesgo de asma ocupacional.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El área de estudio de esta investigación comprende la empresa Maderas y Muebles Freire Lugo, ubicado en el centro de la ciudad del Puyo, cabecera cantonal, provincia de Pastaza **(Figura 1)**. La ciudad del Puyo se ubica a 950 metros de elevación sobre el nivel del mar, con pendiente media a fuerte (entre 25 y 40 %). El clima del Cantón Pastaza es tropical muy húmedo, con temperatura media anual de 24 a 26° C y precipitación media de 3600 milímetros. (GAD Provincial de Pastaza 2019).

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Pastaza, las principales actividades económicas de la población del cantón Pastaza son la agricultura, ganadería, silvicultura, después por el comercio y finalmente la administración pública y defensa. En el casco urbano de la ciudad del Puyo, al igual que otras ciudades amazónicas, se ofrecen diversos servicios, principalmente ligados al sector turístico, de alimentos, hospedaje, transporte, entre otros.

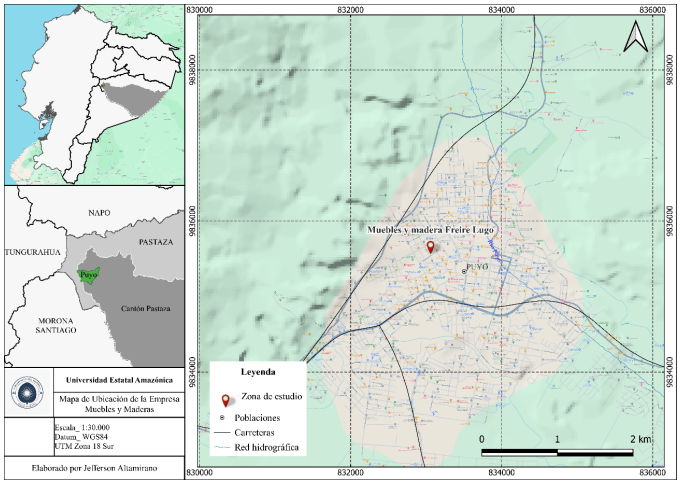


Figura 1 | Localización geográfica de la empresa Muebles y Maderas Freire Lugo, en el centro de la ciudad del Puyo

2.2. Obtención de datos

Para obtener la información que evidencia la investigación se emplearon las siguientes técnicas:

Observación del proceso de elaboración de muebles, para definir los tiempos de exposición y las áreas de trabajo más expuestas al polvo de madera (Anexo 1)

Lecturas de valores del material particulado mediante el medidor AEROCET 532, en las áreas de trabajo (Anexo 2)

Recolección de datos mediante fichas de observación de acciones y condiciones subestándares.

Se empleó la técnica de observación directa para definir aquellas áreas de trabajo dentro de la empresa, en donde debido a los procesos de transformación de madera, se genera mayor cantidad de polvo. Para ello se emplearon los criterios de visibilidad y confort para el observador.

Las fichas de observación de acciones y condiciones subestándares o denominadas actos y condiciones inseguras, sirven para evidenciar aquellos comportamientos y circunstancias que dan lugar a la ocurrencia de incidentes o enfermedades de tipo laboral (HSETools 2024). Se emplearon estas fichas con la finalidad de identificar riesgos, prevenir accidentes, mejorar el comportamiento seguro de los trabajadores y cumplir con las normativas de seguridad laboral que se establecen en la normativa.

2.3. Selección de muestras

2.3.1. Determinación del tiempo de duración de la muestra

Este parámetro determina la cantidad de muestras necesarias para un periodo de trabajo. La cantidad de muestras debe representar al menos el 25 % del tiempo de exposición del trabajador hacia el agente químico, en este caso, polvo de madera.

La normativa señala que, para una jornada de 8 horas diarias, el número mínimo de muestras debe ser de 20 muestras por minuto. En este sentido, la toma de muestras se realizó a cada trabajador durante su jornada laboral, un día a la semana, y durante cinco semanas. (Reyes Segovia 2019).

2.3.2. Equipo de medición

Los niveles de material particulado fueron medidos usando el contador de partículas manual AEROCET modelo 532 **(Figura 2)**. El instrumento mide la masa y el recuento de partículas de 8 diferentes diámetros PM1, PM2.5, PM4, PM7, PM10 y TSP. Luego, usa un algoritmo propio para convertir los datos a medidas de concentración de masa (ug/m3).

La elección de este instrumento para la medición de partículas fue debido a su portabilidad, ya que se pueden realizar mediciones confiables in situ, debido a la duración de la batería de 8 horas y su capacidad de almacenamiento de 15.000 registros, también se dispone de una conexión USB para una idónea transferencia de datos (Inteccon 2024).



Figura 2 | Detalle de equipo AEROCET 532 - Monitor de

partículas portátil

2.4. Análisis de datos

Los resultados de material particulado fueron tabulados y se creó una base de datos de PM2.5 y PM10, así como los parámetros de concentración y exposición diaria.

2.4.1. Límites permisibles para el material particulado

Para establecer los umbrales máximos permisibles se recurrió a lo reportado en la Normativa Internacional. De acuerdo a la Administración de Salud Ocupacional y Seguridad (OSHA), menciona que el polvo en sí mismo es potencialmente crítico para la salud humana, por lo tanto, se ha establecido un límite de exposición permisible, el cual es 15 mg/m3 para el polvo total, y 5 mg/m3 para la fracción respirable (OSHA 1993).

Además, un valor de 50 ug/m3 como promedio anual y 150 ug/m3 en promedio de 24 horas para el material particulado PM10 (Díaz y Páez 2006). Los límites permisibles sirven para realizar el cálculo del índice de exposición a la cual están sometidos los empleados de la empresa. En la **Tabla 1** se indican los umbrales permisibles con respecto al polvo de madera.

Tabla 1 | Límites de exposición laboral para material particulado

Límites de exposición laboral	
OSHA	**Legislación ecuatoriana**
15 mg/m^3	$PM_{2.5}$ tiene un máximo permisible de 50 ug/m^3, y para PM_{10} un máximo permisible de 100 ug/m^3

2.4.2. Determinación del nivel de riesgo

De acuerdo a los valores de material particulado reportados por el instrumento de medición, se determinó el nivel de riesgo a la cual se encuentran expuestos los trabajadores de las áreas de actividades dentro de la empresa, siguiendo la metodología de (Luna Mendaza 2000) a través de los siguientes pasos:

Concentración promedio por actividad

$$c = \frac{C_i \times t_i}{\sum_{1=1}^{i=\infty} \times t_i} \quad (1)$$

Donde:

C_i es la concentración de la exposición laboral t_i es el tiempo de exposición en horas $\sum t_i$ es la duración de la jornada de trabajo en horas

Cálculo de la exposición diaria ponderada a 8 horas

$$C_8 = \frac{\sum_{1=1}^{i=\infty} \times t_i}{8} \quad (2)$$

Donde:

C_8 es la exposición diaria C concentración de la exposición laboral en el tiempo, t_i tiempo de exposición expresado en (4 horas) 8 es el periodo del valor límite expresado en horas

Cálculo del índice de exposición

$$I = \frac{C_8}{TLV - TWA} \quad (3)$$

Donde: I es el índice de exposición, C_8 es la exposición diaria, TLV – TWA es el valor límite ambiental de exposición diaria

La determinación del nivel de riesgo estuvo fundamentada por los valores indicados en la norma UNE-EN 689:2019 en indicados en la **(Tabla 2)**. Se resalta en negrita los valores inaceptables para el nivel de exposición inaceptable.

Tabla 2 | Evaluación de exposición laboral. Tomado de (Comité Técnico CTN 81 2019)

Evaluación de exposición laboral	
Exposición aceptable	$I \leq 0.1$
Exposición inaceptable	$\boldsymbol{I > 1}$

Al realizar el cálculo del índice de exposición por trabajador, durante los tres días distintos por diferentes áreas de trabajo, se puede determinar si existe o no una sobreexposición al polvo de madera.

3. Resultados y discusión

3.1. Reconocimiento y situación de la empresa

La Empresa Muebles y Maderas Freire Lugo se dedica a la fabricación de varios enseres para distintos usos y espacios, como de vivienda, oficina, utilitario e incluso piezas de respaldos y techos para carrocería. En la empresa laboran (05) cinco personas, uno de ellos con amplia experiencia, que se encarga del diseño y ensamblaje de muebles, y el restante se encarga de los cortes de madera, preparaciones y demás actividades.

Los trabajadores de la empresa manejan diversos tipos de maderas, los cuales son surtidos por diversos proveedores y almacenados en una bodega que ocupa casi el 50% del espacio de la empresa.

En la **Tabla 3** se indican los procesos que se realizan en la empresa para la fabricación de diferentes piezas de madera.

Tabla 3 | Procesos para la elaboración de muebles dentro de la empresa

Proceso	Actividades del proceso
Área de cepillado	• Desbastado de la madera • Nivelación y alisamiento de superficies de las tablas • Rebaje de material • Lijado superficial
Área de Trazado	• Marcado de piezas • Corte y preparación de piezas • Diseño de esquema de montaje de muebles y enseres • Organización del flujo de trabajo en general
Área de Lijado y Pintado	• Lijado detallado de superficies. • Preparación del acabado final de los muebles • Pintura y barnizado • Secado y curado de piezas y productos finales.

3.2. Acciones y condiciones subestándares

Mediante observación directa se determinó que en el área de lijado y pintado existe el mayor tiempo de exposición del polvo de madera por parte de la mayoría de trabajadores. Por lo tanto, se tomó esta área para recolectar información acerca de las acciones subestándares, que se indica en la **(Tabla 4)**.

Tabla 4 | Ficha de observación de acciones subestándares

Ficha de Observación de Acciones Subestándares			
Empresa:	Muebles y Maderas Freire Lugo		
Área	Lijado y pintado	**Fecha:**	feb-24
Nombre del responsable: Jefferson Altamirano			
Objetivo de la visita: Inspeccionar las acciones subestándares del área de lijado y pintado para diagnosticar el estado actual del área.			
Código	**Acciones Subestándares**		**Observaciones**
1	No usar el equipo de protección personal	**X**	Los trabajadores no son obligados a emplear el equipo de protección personal. Y no emplean cubrebocas adecuado para operaciones de lijado y pintado.
2	Trabajar en condiciones inseguras	**X**	Existen conexiones eléctricas inadecuadas y con evidente peligro para los trabajadores.
3	Operar sin autorización	**X**	Los empleados sin mucha experiencia operan maquinaria sin autorización
4	No asegurar	**X**	Los empleados sin experiencia no aseguran las cargas pesadas para evitar caídas y accidentes.
5	Operar en velocidad inadecuada		No aplica
6	Usar equipos defectuosos o incorrectos	**X**	No existe un adecuado mantenimiento a la maquinaria
7	Carga y descarga correcta	**X**	Los empleados sin experiencia no realizan los procesos de descarga en los sitios destinados para la madera.
8	Levantamiento de peso correcto	-	No aplica
9	Posición corporal incorrecta	-	No aplica
10	Mantenimiento del equipo móvil	**X**	No existe un evidente mantenimiento de la maquinaria ni equipo operativo.
11	Realizar bromas a compañeros de trabajo	**X**	Los compañeros de trabajo no se respetan entre sí en jornada laboral.
12	Consumir drogas y alcohol	-	No aplica
13	Ubicarse debajo de cargas en suspensión	-	No aplica
14	Otros, especifique	-	No aplica

En la **Tabla 5** se evidencia las condiciones subestándares del área de lijado y pintado. En las (**Tablas 4 y 5**) anteriores, se indican las acciones y condiciones subestándares que imperan en el espacio de trabajo de la Empresa Muebles y Maderas Freire Lugo. En cuanto a las acciones subestándares, se puede deducir que existe un descuido en el uso del equipo de protección personal por parte de los trabajadores. En la investigación de Reyes Segovia (2019) se evidenció la falta de control del Equipo de Protección Personal en una empresa de elaboración de plásticos reforzados en la ciudad de Ambato. La autora menciona que este tipo de agravantes pueden desencadenar en enfermedades laborales y por tanto sanciones del Ministerio de Trabajo. Los equipos de protección personal están diseñados para proteger al empleado de lesiones y enfermedades que se originan de la actividad laboral, por lo tanto, son importantes para prevenir de patologías en los pulmones, ojos y contacto del polvo de madera con la piel (Blog RH 2018).

Además, las instalaciones eléctricas representan un riesgo para la salud de los empleados que pueden sufrir lesiones graves en caso de ocurrir un accidente. De hecho, Santillán et al. (2021) menciona que los aserraderos en la ciudad de Riobamba carecen de una adecuada infraestructura para su funcionamiento. De igual manera, los empleados sin mucha experiencia en el trabajo, operan maquinaria sin autorización, y manipulan cargas pesadas sin asegurarlas. No existe un adecuado mantenimiento a la maquinaria para hacerla más operativa y funcional. Por último, se debe trabajar la relación personal entre los empleados para que exista un respeto laboral. En un estudio que tenía por objetivo identificar los niveles de accidentes y riesgos laborales en operadores de equipos vaccums, los investigadores determinaron que el 85% de los accidentes laborales dentro de la empresa se producían por acciones subestándares (Miño Cascante, Esparza Paz y Esparza Córdova 2020), por lo tanto, disminuyendo los puntajes de acciones subestándares resultará en una disminución de los accidentes laborales

Tabla 5 | Ficha de observación de condiciones subestándares

Ficha de Observación de Condiciones Subestándares			
Empresa:	Muebles y Maderas Freire Lugo		
Área	Lijado y pintado	**Fecha:**	feb-24
Nombre del responsable: Jefferson Altamirano			
Objetivo de la visita: Inspeccionar las condiciones subestándares del área de lijado y pintado para diagnosticar el estado actual del área.			
Código	**Acciones Subestándares**		**Observaciones**
20	Protección y resguardo inadecuados	**X**	No existen resguardo ni protección contra la caída de madera, cortadura o mala manipulación de maquinaria.
21	Ausencia de orden y limpieza	**X**	No existe una limpieza constante dentro del área de trabajo
22	Falta de espacio para trabajar	**X**	Debido al mal almacenaje de materiales se reduce el espacio disponible para el trabajo
23	Incorrecto almacenamiento	**X**	Los empleados sin experiencia no almacenan adecuadamente los materiales ni equipo de trabajo
24	Excesivos niveles de ruido	**X**	Los niveles de ruido de la maquinaria llegan a ensordecer a los operarios.
25	Iluminación y ventilación	**X**	No existe adecuada ventilación en el lugar, tampoco iluminación.
26	Señalética	**X**	No existe señalética adecuada sobre el trabajo alrededor del lugar.
27	Pisos en mal estado	-	No aplica
28	Herramientas defectuosas	-	No aplica
29	Equipos en mal estado	-	No existe un adecuado mantenimiento a la maquinaria
30	Excesiva presencia de gas, polvo, humo o vapores.	**X**	Al momento de lijar existe excesiva presencia de polvo.
31	Infraestructura insegura	**X**	Las mesas se utilizan para ubicar varios objetos y obstaculiza la realización de otros procesos.

En cuanto a las condiciones subestándares o de inseguridad, no existe una protección ni resguardo para protegerse de la caída de madera o accidentes de corte por mala manipulación de maquinaria, igualmente el almacenamiento de los materiales no es el adecuado y se subutilizan espacios de trabajo que pueden emplearse de forma adecuada. Existe nula o poca iluminación durante el día. Existe escasa ventilación y adecuada señalética para el correcto desempeño del trabajo.

Miño Cascante, Esparza Paz y Esparza Córdova (2020) mencionan que la posibilidad de un accidente o enfermedad en el lugar de trabajo depende de cambios en los elementos del conjunto: agente, entorno y empleado. Esto significa que, si las condiciones laborales no son adecuadas (condiciones subestándares), junto con las acciones inseguras por parte del empleado (acciones subestándares), pueden resultar en problemas enfermedades laborales.

3.3. Mediciones del material particulado de polvo de madera de 2,5 ug/m3 y 10 ug/m3 en las áreas de procesos

Las muestras de material particulado de diferentes diámetros fueron tomadas durante tres días distintos, y a un trabajador de cada área de procesos dentro de la empresa como se observa en la **(Tabla 6)**.

Tabla 6 | Toma de muestras en las diferentes áreas de proceso dentro de la empresa

Fecha	Hora	Número de trabajadores	Área de proceso
24/2/2024	10 am - 11 am	1	área de cepillado
	11 am - 12 pm	1	área de trazado
	3 pm - 4 pm	1	área de lijado y pintado
25/2/2024	10 am - 11 am	1	área de cepillado
	11 am - 12 pm	1	área de trazado
	3 pm - 4 pm	1	área de lijado y pintado
26/2/2024	10 am - 11 am	1	área de cepillado
	11 am - 12 pm	1	área de trazado
	3 pm - 4 pm	1	área de lijado y pintado

La toma de muestras durante los tres días distintos a la misma hora y a los mismos tres trabajadores se realizó con el fin de que los datos no se vean afectados en distintas condiciones ambientales existentes en cada día.

En cada día se tomaron 20 muestras de 1 minuto a cada trabajador durante el tiempo indicado en la tabla anterior. En cada medida se obtuvieron los valores de material particulado PM1, PM2.5, PM4, PM7, PM10 y TSP. Además, se logró medir los valores de temperatura y humedad relativa, los cuales nos sirven para conocer las condiciones meteorológicas en las que se encontraban las distintas áreas de procesos. Luego, se calcularon los estadísticos media, máximo, mínimo y desviación estándar, con el fin de resumir y describir el conjunto de datos.

En las siguientes tablas se indican los resultados estadísticos de los materiales particulados medidos con el instrumento durante los tres días consecutivos. En la **(Tabla 7 – 9)** se muestran los datos obtenidos durante el primer día del material particulado PM2.5 y PM10.

Tabla 7 | Mediciones del día 1 en el área de cepillado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de cepillado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 1						
Estadístico	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	122.3	118.6	122.8	1502.3	1498.6	1502.8
Máxima	124.7	119.9	124.6	1504.7	1499.9	1504.6
Mínima	119.8	117.3	120.5	1499.8	1497.3	1500.5
DE	1.4	0.7	1.0	1.4	0.7	1.0

Las concentraciones más elevadas de material particulado fueron en el área de lijado y pintura, donde el rango promedio para PM2.5 oscila entre 1,063 – 10,65 ug/m3. El valor mínimo fue de 1,065 ug/m3 y el máximo de 1067 ug/m3. Mientras que para PM10 el rango de valores promedio fue de 10,657 – 10,659 ug/m3. Santillán et al (2021) reportan valores de material particulado volátil de 19.83 ug/m3 para PM2.5, y de 42,67 ug/m3 para los aserraderos en un Barrio de la ciudad de Riobamba.

Tabla 8 | Mediciones del día 1 en el área de trazado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de trazado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 1						
Estadístico	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	285.7	285.7	285.8	3382.2	3382.0	3382.8
Máxima	286.3	286.2	286.3	3384.7	3383.9	3384.6
Mínima	285.2	285.3	285.3	3380.2	3380.5	3380.5
DE	0.3	0.2	0.3	1.3	1.0	1.0

Tabla 9 | Mediciones del día 1 en el área de lijado y pintado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de lijado y pintado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 1						
Estadístico	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	1063.8	1063.9	1065.2	10657.8	10657.9	10659.2
Máxima	1066	1065.9	1067.6	10660	10659.9	10661.6
Mínima	1061.9	1062.5	1062.5	10655.9	10656.5	10656.5
DE	1.2	1.0	1.3	1.2	1.0	1.3

Las actividades que generan mayor cantidad de polvo son las relacionadas con el pulimiento y lijadura de superficies, y es donde existe mayor probabilidad de contraer una enfermedad pulmonar (Sánchez García 2018). La tendencia de que el área que reporta mayor cantidad de material particulado es la de lijado y pintura se mantiene a lo largo de todos los resultados.

En la **Figura 3** se muestran los resultados de la concentración del material particulado PM2.5 en las diferentes áreas de la empresa durante el primer día.

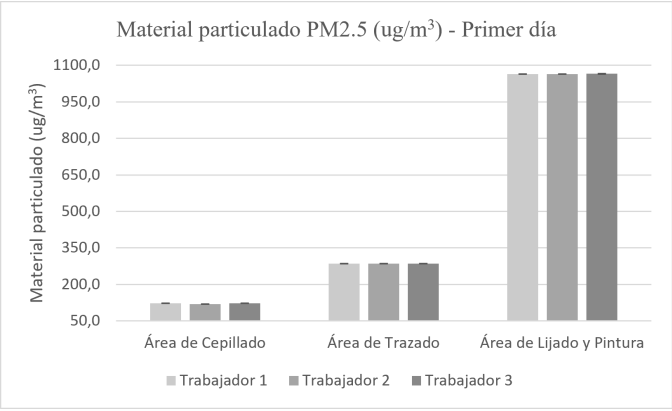


Figura 3 | Resultados de la medición de material particulado PM2.5 durante el primer día.

En la **Figura 4** se muestran los resultados de la concentración del material particulado PM10 en las diferentes áreas de la empresa durante el primer día.

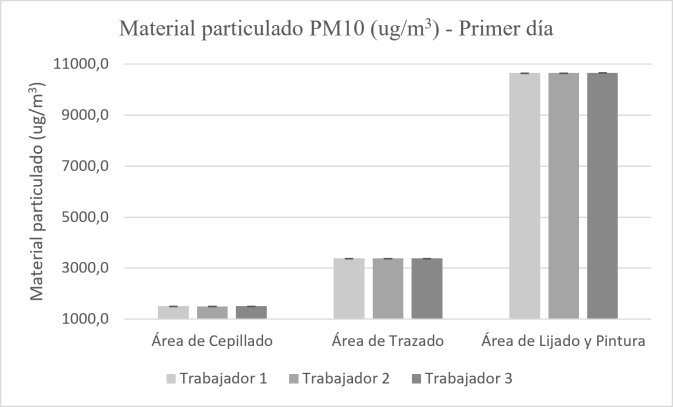


Figura 4 | Resultados de la medición de material particulado PM10 durante el primer día.

En las **(Figuras 3 y 4)**, se muestra una clara relación entre la concentración del material particulado y las áreas dentro de la empresa. El área con menor cantidad de material es el área de cepillado, mientras que el lijado y pintura es donde existe mayor concentración. Las barras de error casi no se pueden distinguir debido a que los valores de desviación estándar oscilan entre 1 – 1.3, esto indica que no existe en general dispersión de los datos con respecto al promedio (Becerra Espinosa 2024). Esta tendencia se mantiene en general a lo largo de todos los resultados.

En las **(Tablas 10 – 12)** se muestran los datos obtenidos durante el segundo día del material particulado PM2.5 y PM10.

Tabla 10 | Mediciones del día 2 en el área de cepillado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de cepillado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 2						
Estadístico	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	122.5	118.8	123.0	1502.4	1498.7	1503.0
Máxima	125	120	124.7	1505	1500	1504.9
Mínima	120.2	117.3	120.7	1500	1497.3	1500.6
DE	1.4	0.8	1.1	1.5	0.8	1.1

Tabla 11 | Mediciones del día 2 en el área de trazado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de trazado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 2						
Estadístico	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	285.9	285.9	285.9	3382.4	3382.2	3383.0
Máxima	286.5	286.4	286.5	3384.9	3384.1	3384.8
Mínima	285.4	285.5	285.4	3380.4	3380.7	3380.6
DE	0.3	0.2	0.3	1.3	1.0	1.0

Tabla 12 | Mediciones del día 2 en el área de lijado y pintado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de lijado y pintado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 2						
Estadístico	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	1063.9	1064.0	1065.3	10657.9	10658.0	10659.3
Máxima	1066.1	1066	1067.7	10660.1	10660	10661.7
Mínima	1062	1062.6	1062.6	10656	10656.6	10656.6
DE	1.2	1.0	1.3	1.2	1.0	1.3

En la **Figura 5** se muestran los resultados de la concentración del material particulado PM2.5 en las diferentes áreas de la empresa durante el segundo día.

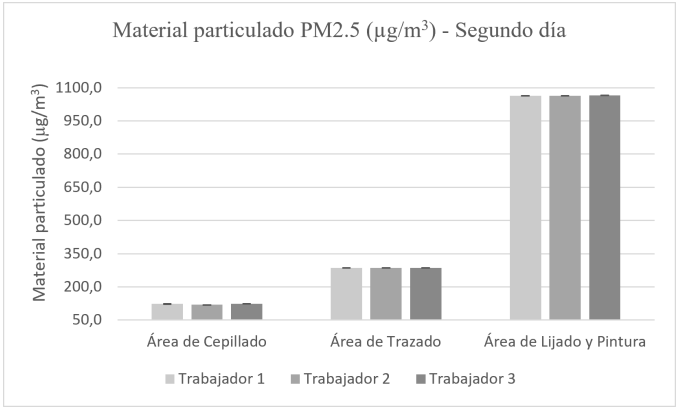


Figura 5 | Resultados de la medición de material particulado PM2.5 durante el segundo día

En la **Figura 6** se muestran los resultados de la concentración del material particulado PM10 en las diferentes áreas de la empresa durante el segundo día.

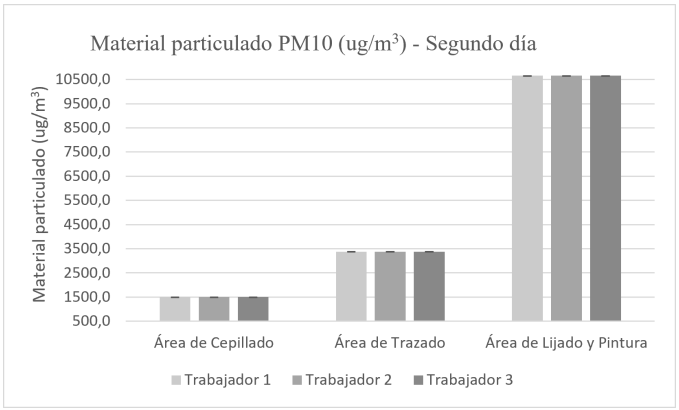


Figura 6 | Resultados de la medición de material particulado PM10 durante el segundo día.

En las **(Tablas 13, 14 y 15)** se muestran los datos obtenidos durante el tercer día, del material particulado PM2,5 y PM10.

Tabla 13 | Mediciones del día 3 en el área de cepillado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de cepillado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 3						
N°	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	122.6	118.8	123.1	1502.5	1498.8	1503.0
Máxima	125.1	120	124.8	1505.1	1500	1504.9
Mínima	120.3	117.3	120.8	1500.1	1497.4	1500.7
DE	1.4	0.8	1.1	1.4	0.8	1.1

Tabla 14 | Mediciones del día 3 en el área de trazado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de trazado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 2						
Estadístico	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	285.9	285.9	285.9	3382.4	3382.2	3383.0
Máxima	286.5	286.4	286.5	3384.9	3384.1	3384.8
Mínima	285.4	285.5	285.4	3380.4	3380.7	3380.6
DE	0.3	0.2	0.3	1.3	1.0	1.0

Tabla 15 | Mediciones del día 3 en el área de lijado y pintado PM2,5 y PM10

Proceso: Área de lijado y pintado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 3						
N°	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
Media	1064.0	1064.1	1065.4	10658.0	10658.1	10659.4
Máxima	1066.2	1066.1	1067.8	10660.2	10660.1	10661.8
Mínima	1062.1	1062.7	1062.7	10656.1	10656.7	10656.7
DE	1.2	1.0	1.3	1.2	1.0	1.3

En la **Figura 7** se muestran los resultados de la concentración del material particulado PM2.5 en las diferentes áreas de la empresa durante el tercer día.

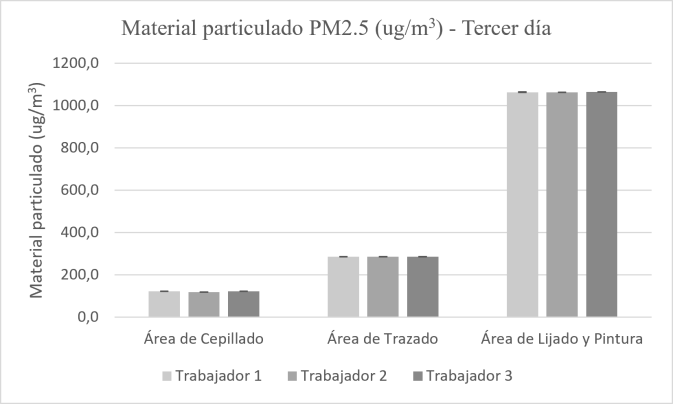


Figura 7 | Resultados de la medición de material particulado PM2.5 durante el Tercer día.

En la **Figura 8** se muestran los resultados de la concentración del material particulado PM10 en las diferentes áreas de la empresa durante el tercer día.

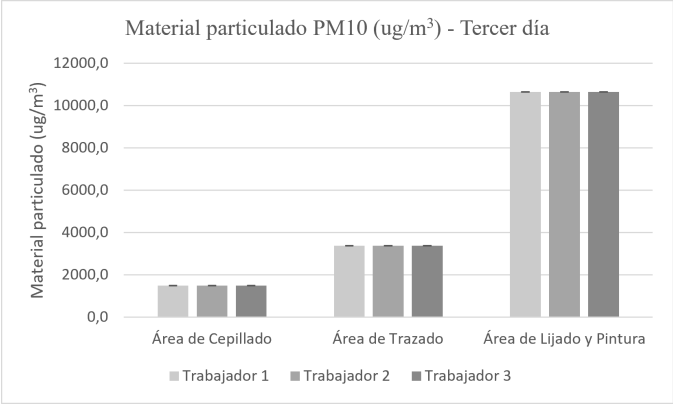


Figura 8 | Resultados de la medición de material particulado PM10 durante el Tercer día.

En la **Tabla 16** se indican los resultados del cálculo de la concentración promedio, exposición diaria y el índice de exposición para el día 1, de acuerdo a los datos de concentración reportados por el medidor AEROCET 532.

En las **(Tablas 16-18)** se muestra que los índices de exposición del polvo de madera del día 1, los valores son menores a 0.1 en las áreas de cepillado y trazado, por lo que este riesgo es aceptable para los trabajadores. Sin embargo, los valores del índice de exposición en el área de lijado y pintado del material particulado PM10 superan el 0.1, por lo que se deben considerar tomar medidas preventivas como mejora a la ventilación y el uso obligatorio de mascarillas para los trabajadores.

Tabla 16 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 1 en el área de cepillado

Proceso: Área de cepillado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 1						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	122.3	118.6	122.8	1502.3	1498.6	1502.8
ED	61.1	59.3	61.4	751.1	749.3	751.4
ED (mg/m^3)	0.0611	0.0593	0.0614	0.7511	0.7493	0.7514
I	0.0041	0.0040	0.0041	0.0501	0.0500	0.0501

Tabla 17 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 1 en el área de trazado

Proceso: Área de trazado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 1						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	285.7	285.7	285.8	3382.2	3382.0	3382.8
ED	142.9	142.9	142.9	1691.1	1691.0	1691.4
ED (mg/m^3)	0.1429	0.1429	0.1429	1.6911	1.6910	1.6914
I	0.00952	0.00952	0.00953	0.11274	0.11273	0.11276

Tabla 18 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 1 en el área de lijado y pintado

Proceso: Área de lijado y pintado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 1						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	1063.8	1063.9	1065.2	10657.8	10657.9	10659.2
ED	531.9	532.0	532.6	5328.9	5329.0	5329.6
ED (mg/m^3)	0.5319	0.5320	0.5326	5.3289	5.3290	5.3296
I	0.03546	0.03546	0.03551	**0.35526**	**0.35526**	**0.35531**

En las **(Tablas 19-21)** se muestra que los índices de exposición del polvo de madera del segundo día, en el área de cepillado no superar el valor 0.1, por lo que es un riesgo aceptable para los trabajadores. Sin embargo, tanto en el área de trazado, lijado y pintura, los valores del material PM10 superan el 0.1, aunque no superan el límite 1, por lo que representan un riesgo aceptable, pero que debe ser monitoreado y mejorar los sistemas de ventilación.

Tabla 19 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 2 en el área de cepillado

Proceso: Área de cepillado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 2						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajado r 3 (ug/m^3)
C	122.5	118.8	123.0	1502.4	1498.7	1503.0
ED	61.2	59.4	61.5	751.2	749.4	751.5
ED (mg/m^3)	0.0612	0.0594	0.0615	0.7512	0.7494	0.7515
I	0.0041	0.0040	0.0041	0.0501	0.0500	0.0501

Tabla 20 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 2 en el área de trazado

Proceso: Área de trazado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 2						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	285.9	285.9	285.9	3382.4	3382.2	3383.0
ED	143.0	143.0	143.0	1691.2	1691.1	1691.5
ED (mg/m^3)	0.1430	0.1430	0.1430	1.6912	1.6911	1.6915
I	0.0095	0.0095	0.0095	**0.1127**	**0.1127**	**0.1128**

Tabla 21 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 2 en el área de lijado y pintado

Proceso: Área de lijado y pintado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 2						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	1063.9	1064.0	1065.3	10657.9	10658.0	10659.3
ED	532.0	532.0	532.7	5329.0	5329.0	5329.7
ED (mg/m^3)	0.5320	0.5320	0.5327	5.3290	5.3290	5.3297
I	0.0355	0.0355	0.0355	**0.3553**	**0.3553**	**0.3553**

En las **(Tablas 22-24)** se muestra que los índices de exposición del polvo de madera del día 3, son menores que 0.1, por lo que representa un riesgo moderado. Al igual que el día 2, los valores del material particulado PM10 en el área de trazado, lijado y pintado se encuentran en el rango 0.1 - 1, por lo que no representa un riesgo para la salud de los trabajadores, sin embargo, se deben tomar medidas de prevención para enfermedades pulmonares.

Tabla 22 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 3 en el área de cepillado

Proceso: Área de cepillado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 3						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	122.6	118.8	123.1	1502.5	1498.8	1503.0
ED	61.3	59.4	61.6	751.2	749.4	751.5
ED (mg/m^3)	0.0613	0.0594	0.0616	0.7512	0.7494	0.7515
I	0.0041	0.0040	0.0041	0.0501	0.0500	0.0501

Tabla 23 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 3 en el área de trazado

Proceso: Área de trazado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 3						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	286.0	286.0	286.1	3382.5	3382.3	3383.1
ED	143.0	143.0	143.0	1691.2	1691.2	1691.5
ED (mg/m^3)	0.1430	0.1430	0.1430	1.6912	1.6912	1.6915
I	0.0095	0.0095	0.0095	**0.1127**	**0.1127**	**0.1128**

Tabla 24 | Concentración, exposición diaria e índice de exposición día 3 en el área de lijado y pintado

Proceso: Área de lijado y pintado						
Duración de la muestra: 1 minuto						
Número de muestras: 20 muestras						
Día: 3						
Variable	**PM2,5**			**PM10**		
	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)	Trabajador 1 (ug/m^3)	Trabajador 2 (ug/m^3)	Trabajador 3 (ug/m^3)
C	1064.0	1064.1	1065.4	10658.0	10658.1	10659.4
ED	532.0	532.1	532.7	5329.0	5329.1	5329.7
ED (mg/m^3)	0.5320	0.5321	0.5327	5.3290	5.3291	5.3297
I	0.0355	0.0355	0.0355	**0.3553**	**0.3553**	**0.3553**

En las (Figura 9-11) se indican gráficamente los resultados del límite de exposición al material particulado obtenidos durante los tres primeros días, tanto para PM2.5 y PM10. Bajo la línea azul se ubican los valores de exposición aceptable. La línea roja indica los valores de exposición inaceptable para los trabajadores. En el medio se halla una zona de transición, la cual no representa un peligro para los empleados, pero se debe trabajar en medidas de prevención de forma urgente (Reyes Segovia 2019).

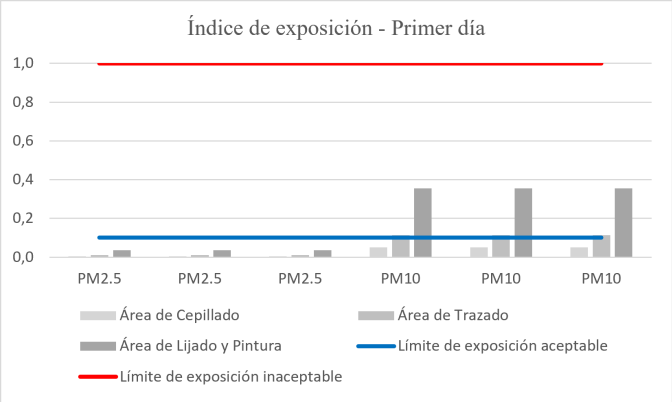


Figura 9 | Índice de exposición para el primer día.

En la figura 9 se muestra que, durante el primer día, los valores de PM2.5 no superan el límite de exposición aceptable, por lo que no supone un riesgo para los trabajadores. Sin embargo, en el área de Lijado y Pintura, los valores de exposición superan el límite, aunque no representen un riesgo considerable para los empleados de la empresa, se deben tomar medidas preventivas, tales como la obligatoriedad de usar mascarilla con filtro de partículas, el uso de pantallas faciales, o el mejoramiento de los implementos de corte (3M Science Applied to Life 2024). Además, como medida adicional se pueden implementar sistemas de extracción de polvo dentro del área de trabajo, lo cual resultan eficaces para el control del polvo generado por el cerramiento de la madera. Se recomienda además automatizar ciertas partes de los procesos de tratamiento de la madera, y la reducción de las intervenciones manuales con el fin de prevenir en lo posible accidentes y trastornos físicos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) 2021)

Al igual que la figura 9, en la Figura 10 se muestra que en el área de lijado y pintura se superan los límites de exposición aceptable. Las partículas de diámetro 10 micrómetros, son inhalables por el ser humano, por tal razón se deben tomar medidas preventivas (Santillán et al. 2021).

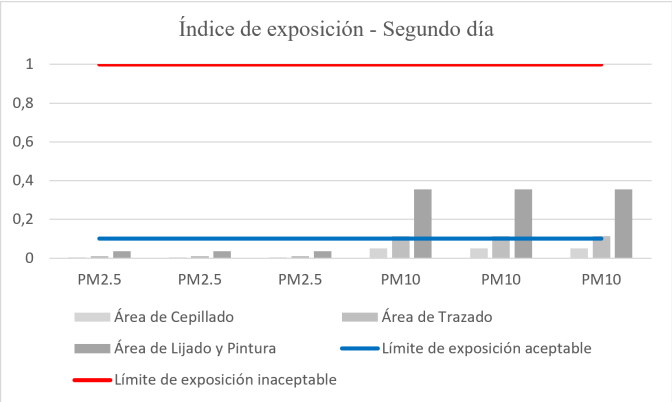


Figura 10 | Índice de exposición para el segundo día.

En el estudio de Reyes Segovia (2019), los resultados del cálculo del índice de exposición para el área de pulido de partes en fibra de vidrio, fueron de 0.007 – 0.008 ug/cm3 para PM2.5, incluso más bajos que los reportados en la presente investigación. Es importante recordar que el material particulado de diámetro 2.5 micrómetros son partículas finas (Santillán Lima, Lara Basantes y Caichug Rivera 2022).

El rango de valores para el material particulado PM10 osciló entre 1.030 – 1.542 ug/cm3, es decir que superaba los límites de exposición aceptables y representaba un riesgo inaceptable para los trabajadores. En contraste con nuestros resultados que no superan el límite de exposición inaceptable. Se puede decir que la generación de polvo y el riesgo de exposición al mismo para la salud humana en determinada industria, depende en gran medida de la materia prima que se esté manipulando, así como de las condiciones de infraestructura de la empresa, sin dejar de lado, la rigurosidad y conciencia de los propios trabajadores para adoptar las medidas de protección personal en todo momento y sin supervisión.

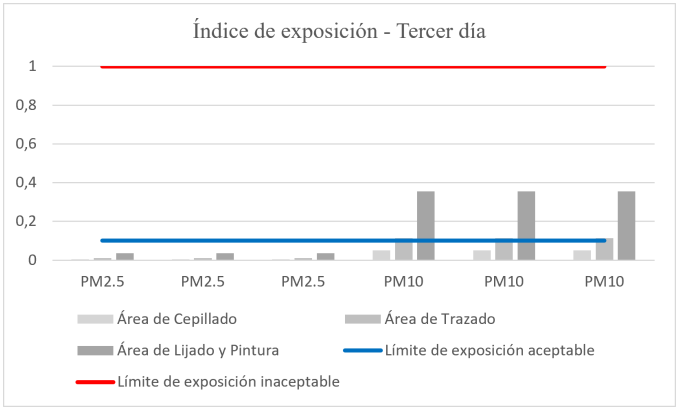


Figura 11 | Índice de exposición para el Tercer día.

4. Conclusiones

En la presente investigación, se analizó el material particulado como factor de riesgo para la salud de los trabajadores de la empresa Muebles y Maderas Freire Lugo en la ciudad de Puyo.

Se identificaron 3 áreas de elaboración de muebles: cepillado, trazado, lijado y pintura. Las observaciones de las acciones subestándares indica que se descuida el uso de equipo de protección personal por parte de los trabajadores. Existen instalaciones eléctricas defectuosas e inadecuada manipulación de cargas pesadas.

De acuerdo a la observación de las condiciones subestándares, existe un inadecuado mantenimiento a la maquinaria y ausencia de un eficiente sistema de iluminación y ventilación.

Los resultados del índice de exposición del material particulado 2.5, demuestran que representa un riesgo aceptable para los trabajadores en todas las áreas de trabajo. Para el material particulado PM10 representa un riesgo aceptable para todas las áreas de trabajo excepto para el área de Lijado y Pintura, en donde los valores superaron el Límite de exposición aceptable, aunque no superaron el Límite de exposición inaceptable.

Con base en los hallazgos del presente trabajo, se recomienda hacer un estricto control del uso del equipo de protección personal, en especial la mascarilla con filtro de polvo, para todos los trabajadores de la empresa. Se debe dar mantenimiento y mejorar las instalaciones eléctricas defectuosas, mejorar el sistema de iluminación y ventilación.

Además, se recomienda capacitar a los trabajadores acerca de recomendaciones de salud ocupacional para la adecuada manipulación de cargas pesadas y buenas prácticas laborales.

Los resultados de la presente investigación servirán para mejorar la calidad del ambiente laboral, así como las condiciones laborales de los trabajadores de la empresa.

Contribuciones de los autores

Jefferson Luis Altamirano Cadme: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Derwin Viàfara Banguera: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editad

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

3M SCIENCE APPLIED TO LIFE, 2024. Polvo en el lugar de trabajo y riesgos respiratorios. [en línea]. [consulta: 30 marzo 2024]. Disponible en: https://www.3m.com.es/3M/es_ES/metalworking-es/aplicaciones/workplace-hazards/workplace-dust-prevention/.

ALONSO-SARDÓN, M., CHAMORRO, A.-J., HERNÁNDEZ-GARCÍA, I., IGLESIAS-DE-SENA, H., MARTÍN-RODERO, H., HERRERA, C., MARCOS, M. y MIRÓN-CANELO, J.A., 2015. Association between Occupational Exposure to Wood Dust and Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. PloS one, vol. 10, no. 7, ISSN 1932-6203 (Electronic). DOI 10.1371/journal.pone.0133024.

BARRERA TORRES, D.C., 2018. Evaluación de la calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM10) en el área de madera del taller de diseño industrial, Universidad el Bosque, sede Usaquén, periodo 2018-2. S.l.: Universidad El Bosque.

BECERRA ESPINOSA, J.M., 2024. RANGO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA. [en línea]. [consulta: 30 marzo 2024]. Disponible en: http://prepa8.unam.mx/academia/colegios/matematicas/paginacolmate/applets/matematicas_IV/Applets_Geogebra/desestyvar.html#:~:text=LadesviaciÃşnestÃąndaresla,ladispersiÃşndelosdatos.

BLOG RH, 2018. La importancia del equipo de protección personal (EPP). [en línea]. [consulta: 29 marzo 2024]. Disponible en: https://www.amedirh.com.mx/blogrh/sector-energetico-en-rh/la-importancia-del-equipo-de-proteccion-personal-epp/.

BURITICA OROZCO, N., REYES GONZALEZ, W., GARRIDO RAAD, D. y LOTERO VASQUEZ, D., 2022. Factores individuales y del entorno asociados con las alteraciones pulmonares: el caso de las carpinterías en Ibagué, Tolima. Revista Sinergia, vol. 1, no. 12, DOI 10.54997/rsinergia.n12a7.

COMITÉ TÉCNICO CTN 81, 2019. Norma UNE-EN 689. . Madrid:

DEPROINSA, 2024. Material Particulado [en línea]. 2024. S.l.: s.n. [consulta: 28 enero 2024]. Disponible en: https://deproinsa.com.ec/mediciones-ambientales/material-particulado-pm10-y-pm2-5/.

DÍAZ, V. y PÁEZ, C., 2006. Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. ActaNova, vol. 3,

EPA, 2024. Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés) [en línea]. 2024. S.l.: s.n. [consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles.

GAD PROVINCIAL DE PASTAZA, 2019. Plan de desarrollo de la Provincia de Pastaza al año 2025: Actualización 2019. . Puyo:

GU, J., KIRSCH, I., SCHRIPP, T., FRONING-PONNDORF, F., BERTHOLD, D. y SALTHAMMER, T., 2018. Human exposure to airborne particles during wood processing. Atmospheric Environment [en línea], vol. 193, ISSN 1352-2310. DOI https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.064. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231018305855.

HSETOOLS, 2024. Actos y condiciones subestándares. ¿Qué son y cómo evitarlos? [en línea]. 2024. S.l.: s.n. [consulta: 2 febrero 2024]. Disponible en: https://hse.software/2021/11/17/actos-y-condiciones-subestandares-que-son-y-como-evitarlos/.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO (INSST), 2021. Polvo de maderas duras. [en línea]. S.l.: Disponible en: https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones.

INSTITUTO VASCO DE ESTADÍSTICA, 2024. Material particulado [en línea]. 2024. S.l.: s.n. [consulta: 24 enero 2024]. Disponible en: https://www.eustat.eus/documentos/opt_1/tema_672/elem_13172/definicion.html.

INTECCON, 2024. Aerocet 532. monitor de partículas portátil. Met One. [en línea]. [consulta: 28 marzo 2024]. Disponible en: https://inteccon.com/es/productos/aerocet-532-monitor-de-particulas-portatil-met-one/.

ISTAS, 2021. Evaluación de riesgos laborales [en línea]. 2021. S.l.: s.n. [consulta: 28 enero 2024]. Disponible en: https://istas.net/salud-laboral/actividades-preventivas/evaluacion-de-riesgos-laborales#more-in-section.

LAÍNEZ TOMALÁ, A.D. y TOMALÁ TOMALÁ, K.V., 2019. Medidas de bioseguridad y su relación con las enfermedades respiratorias en ebanistas. Comuna El Tambo. Santa Elena 2018-2019. S.l.: Universidad Estatal Península de Santa Elena.

LUNA MENDAZA, P., 2000. NTP 553: Agentes químicos: estrategias de muestreo y valoración (I). . S.l.:

MAATE, 2009. Anexo 4 - Norma de Calidad del Aire Ambiente. 2009. S.l.: Texto Unificado de Legislación Secundario de Medio Ambiente.

MIÑO CASCANTE, G.E., ESPARZA PAZ, F.E. y ESPARZA CÓRDOVA, L.A., 2020. Niveles de Accidentabilidad en Operadores de Vacuums y Riesgos Laborales. Revista DIgital Investigación & Negocios, vol. 13, no. 1, DOI https://doi.org/10.38147/inv&neg.v13i21.79.

OSHA, 1993. Occupational Safety and Health Administration. [en línea]. [consulta: 11 marzo 2024]. Disponible en: https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/1993-03-24#: :text=(As you are aware%2C OSHA,using the PEL for PNOR.

PAZMIÑO ZAPATA, P.J., 2015. Concentración de partículas solubles e insolubles en el área de producción de la Empresa Madeca y su incidencia en el cumplimiento legal de exposición del contaminante. S.l.: Universidad Técnica de Ambato.

PÉREZ-RÍOS, M., RUANO-RAVINA, A., ETMINAN, M. y TAKKOUCHE, B., 2010. Un metanálisis de la exposición a polvo de madera y el riesgo de asma. Archivos Prevención Riesgos Laborales, vol. 13, no. 1,

REYES SEGOVIA, M.E., 2019. Análisis del material particulado como factor de riesgo en la salud de los trabajadores de la empresa Fiber and Glass plásticos reforzados de la ciudad de Ambato. S.l.: Universidad Tecnológica Indoamérica.

SÁNCHEZ GARCÍA, M.C., 2018. Enfermedades pulmonares obstructivas relacionadas con la exposición a polvo de madera en obreros de empresa dedicada a la fabricación de muebles. S.l.: Universidad del Azuay.

SANTILLÁN LIMA, G.P., LARA BASANTES, C.A. y CAICHUG RIVERA, D.M., 2022. Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil por incidencia de aserraderos. Tesla Revista Científica, vol. 2, no. 1, DOI 10.55204/trc.v2i1.20.

SANTILLÁN, P., RODRÍGUEZ, M., OROZCO, J., RÍOS, I. y BAYAS, K., 2021. Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba. Novasinergia Revista Digital de Ciencia, Ingeniería Y Tecnología, vol. 4, no. 2, DOI 10.37135/ns.01.08.07.

SANTURIO DÍAZ, J.M., 2015. Estudio de la exposición al polvo de maderas

duras en carpinterías. Principado de Asturias: Tresalia Comunicación.

TORO TORO, J. de L., COMAS RODRÍGUEZ, R. y CASTRO SÁNCHEZ, F., 2020. Normativa en Seguridad y Salud Ocupacional en el Ecuador. Revista Universidad y Sociedad, vol. 12, no. S1,

UNIR, 2021a. ¿Qué es la salud ocupacional y cuáles son sus beneficios? [en línea]. 2021. S.l.: s.n. [consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/salud-ocupacional/.

UNIR, 2021b. ¿Qué son los riesgos laborales y qué tipos existen? [en línea]. 2021. S.l.: s.n. [consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/riesgos-laborales/.

VILA SABATÉ, M., 2023. Daños a la salud por exposición a polvo de madera. [en línea]. [consulta: 26 marzo 2024]. Disponible en: https://www.quironprevencion.com/blogs/es

ZAPATA CASTRILLÓN, C.A., 2020. Proceso de transformación de la madera, sus riesgos y posibles medidas de control. S.l.: Politécnico Grancolombiano.