

RELIGACIÓN

R E V I S T A

Análisis del impacto de riesgos químicos en la salud ocupacional en la industria manufacturera del Cantón Riobamba

Analysis of the impact of chemical Hazards on Occupational Health in the Manufacturing Industry of the Canton of Riobamba

Liceth Daniela Cañarte Velastegui, Guido Patricio Santillán Lima

Resumen

Esta investigación examina la exposición ocupacional a partículas químicas en procesos de manufactura, empleando como estudio de caso la empresa MINABRADEC CIA. LTDA., situada en el Parque Industrial de Riobamba y dedicada a la producción de materiales abrasivos. Evaluamos si la concentración de material particulado volátil (MPV) y sedimentable (MPS) en el entorno laboral supera los límites de la normativa y su potencial impacto potencial en la salud de los trabajadores. Para ello, se consideraron seis puntos de muestreo con el uso de que fueron analizados con instrumentos especializados como microscopio de barrido, balanza analítica SARTORIUS y DustTrak™. Los resultados obtenidos revelan concentraciones de MP2.5 (106.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y MP10 (168.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), así como de MPS (1.183 mg/cm²/mes), que superan los parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la normativa TULSMA. Esta evidencia sugiere la presencia de riesgos químicos significativos en el área de trabajo, subrayando la necesidad de implementar estrategias de control ambiental, monitoreo continuo y mejoras en las condiciones laborales para mitigar potenciales impactos en la salud ocupacional.

Palabras clave: Riesgo químicos; Factor de Riesgo; Lesiones; Seguridad Ocupacional

Liceth Daniela Cañarte Velastegui

Universidad Nacional de Chimborazo | Riobamba | Ecuador | liceth.canarte@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-0008-4434>

Guido Patricio Santillán Lima

Universidad Nacional de Chimborazo | Riobamba | Ecuador | psantillan@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0743-9107>

<http://doi.org/10.46652/rgn.v10i47.1507>
ISSN 2477-9083
Vol. 10 No. 47 octubre-diciembre, 2025, e2501507
Quito, Ecuador

Enviado: abril 01, 2025
Aceptado: julio 27, 2025
Publicado: agosto 06, 2025
Publicación Continua



Abstract

This research examines occupational exposure to chemical particles in manufacturing processes, using MINABRADEC CIA. LTDA., a company located in the Riobamba Industrial Park and dedicated to the production of abrasive materials, as a case study. We evaluate whether the concentration of volatile particulate matter (VPM) and settleable particulate matter (SPM) in the workplace exceeds regulatory limits and its potential impact on worker health. To this end, six sampling points were considered, analyzed with specialized instruments such as a scanning microscope, a SARTORIUS analytical balance, and DustTrak™. The results obtained reveal concentrations of PM2.5 (106.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and PM10 (168.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), as well as SPM (1,183 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{month}$), which exceed the parameters established by the World Health Organization (WHO) and the TULSMA regulations. This evidence suggests the presence of significant chemical hazards in the workplace, underscoring the need to implement environmental control strategies, continuous monitoring, and improvements in working conditions to mitigate potential impacts on occupational health.

Keywords: Chemical risk; risk factor; injuries; occupational safety.

Introducción

Las empresas que se dedican a la producción de materiales abrasivos presentan dentro de los entornos laborales una alta concentración de partículas volátiles y sedimentables las cuales son resultado de procesos como pulido, corte y el tratamiento de superficies. Estas partículas, donde se presentan especialmente aquellas con un diámetro respirable (MP2.5 y MP10), representan un significativo riesgo para la salud ocupacional de los trabajadores. Según lo indica Pertuz et al. (2022), los empleados que manipulan de forma directa partículas finas dentro de sectores industriales presentan una elevada presencia de patologías y afecciones de tipo respiratorio y dermatológico. Esto se evidencia especialmente en cuando los procesos no cuentan con medidas de efectivas de mitigación. Asimismo, la exposición prolongada a este tipo de contaminantes ha sido asociada con la ocurrencia de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, fibrosis pulmonar, dermatitis ocupacional e incluso a diversos tipos de cáncer, como el de pulmón y vejiga (Koch, 2024).

Como ejemplo, la sílice cristalina que está presente en muchos materiales abrasivos ha sido clasificada como carcinógeno humano por la International Agency for Research on Cancer (IARC). La inhalación de este material está vinculada a la silicosis y al desarrollo de mesotelioma en trabajadores expuestos (CDC, 2012). Según las estimaciones del Centers for Disease Control and Prevention, entre el 3% y el 6% de los casos de cáncer a nivel mundial tiene relación con la exposición laboral a agentes carcinógenos.

Ante este panorama, resulta prioritario la implementación de protocolos de bioseguridad, monitoreo ambiental constante y capacitación continua para reducir los riesgos y proteger la salud del personal expuesto.

En los últimos años ha aumentado el uso de métodos simplificados para evaluar el riesgo de inhalación de agentes químicos los cuales facilitan el diagnóstico inicial de situaciones de riesgo y su clasificación como aceptables o inaceptables. Como lo mencionan González-Díaz et al. (2021), estos métodos minimizan el costo de la evaluación de riesgos porque no hay necesidad

de medir la concentración de agentes químicos en el ambiente, ahorrando así tiempo y costos de instrumentación específica. Adicionalmente, según lo manifiestan Calera et al. (2005), la falta de información y conocimiento de las propiedades intrínsecas de una sustancia química, la exposición derivada de su uso y de su eliminación dificulta la prevención de los trabajadores expuestos a los riesgos del uso de los químicos en el área de producción lo que explica el aumento de los daños a la salud.

En el entorno laboral los riesgos varían según las actividades, por lo que las empresas deben aplicar estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad pertinentes en cada caso. Las medidas de prevención son cruciales para reducir los accidentes o enfermedades ocupacionales que puedan afectar la salud de los trabajadores a corto, mediano o largo plazo en busca de la mejora continua de la empresa (Zeballos Soriano & Núñez Solano, 2021).

Por lo anterior, la seguridad industrial y los riesgos laborales en una empresa debe ser de vital importancia con el objetivo de que los trabajadores no cometan errores que afecten su salud o provoquen daños al medio ambiente. Es común que la falta de elementos de protección personal o la deficiente señalética en el área de trabajo sean las principales causas que llevan a una serie de riesgos laborales que se ven expuestos los trabajadores. Para prevenir esto, la empresa ha estructurado un sistema de gestión en seguridad, salud y ambiente. En los procesos de producción de los materiales abrasivos se genera gran cantidad de material particulado que afecta a la calidad del aire y por ende la potencial afectación directa al trabajador, por lo que la capacitación a los trabajadores del área de producción sobre el correcto uso de los equipos de protección personal para la prevención de riesgos químicos se vuelve primordial.

Según Tarquino Machado-Miranda et al. (2019), para la prevención de los riesgos existen varias normas nacionales e internacionales que establecen los requisitos mínimos que deben cumplir las condiciones de trabajo para proteger la seguridad y salud de los trabajadores. Para ello, el manejo adecuado de sustancias químicas es crucial en las industrias, sin embargo, miles de estas sustancias no son manipuladas de forma apropiada por los operadores debido principalmente a la falta de conocimiento y planificación, lo que resulta un déficit significativo, dando poca importancia a proponer y ejecutar un plan de manejo de sustancias químicas (Rodríguez Yanzapanta, 2024).

Con este marco, que evidencia la importancia de prevención de riesgos, se evaluó realizar un análisis de caso en empresas que realizan actividades donde se presente exposición a material particulado sedimentable (MPS) y material particulado volátil (MPV), donde como caso de estudio se analizaron las condiciones laborales a los que se exponen trabajadores en el sector manufacturero.

Para lo anterior, se tomó entonces el caso de la empresa MINABRADEC CIA. LTDA., la cual inició actividades el 27 de abril de 2010 dentro del Parque Industrial de la ciudad de Riobamba. Esta empresa se dedica principalmente a la producción y distribución de material abrasivo, mismo que se emplea principalmente para la limpieza de materiales metálicos y entrega de material residual.

La empresa tiene especialidad en la generación de minerales abrasivos utilizados principalmente para el mercado petrolero, marino y en la industria en general (Arias Espinosa & Silva Zambrano, 2019). La empresa cuenta con 16 trabajadores distribuidos en diferentes áreas de producción, y que por las condiciones de trabajo se encuentran expuestos a riesgos laborales que pueden afectar su salud por la presencia de materiales particulados sedimentables y volátiles (MPS y MPV). Debido a este riesgo, la empresa debe evaluar los riesgos químicos a los que están expuestos el área de producción y con ello implementar las medidas de mitigación para prevenir la afectación potencial a la salud de sus trabajadores.

Metodología

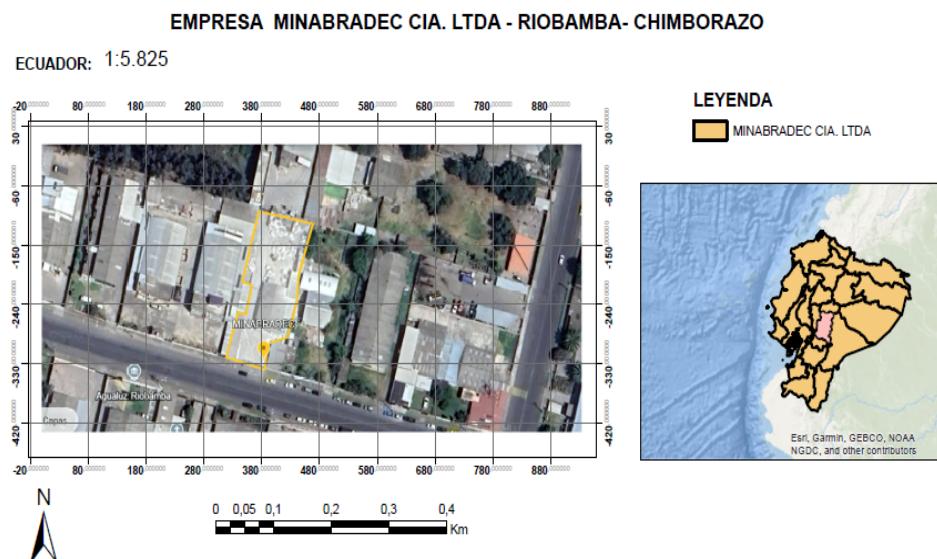
Tipo y enfoque de la investigación

La investigación realizada tuvo un enfoque cuantitativo donde se estimaron las concentraciones de los químicos en el ambiente de trabajo a fin de evaluar la frecuencia de exposición de los trabajadores del área de producción de la empresa MINABRADEC CIA. LTDA.

Tras contar con los datos obtenidos, la investigación incluyó un enfoque descriptivo, con el fin de determinar las causas y condiciones de trabajo, con lo cual se propusieron medidas preventivas basadas en un análisis de los riesgos químicos.

La modalidad de trabajo fue de una investigación de campo, donde se realizaron actividades de observación de las condiciones, toma de comentarios al personal e interacción con los trabajadores, y la identificación de los riesgos químicos a los que se encontraban expuestos, observando además las condiciones en las que operaba la empresa. Se solicitó además a la Dirección de la empresa la disponibilidad de información relacionada a plan de manejo de emergencias y de las fichas de seguridad presentes en las áreas.

Figura 1. Ubicación de la empresa MINABRADEC CIA. LTDA



Fuente: elaboración propia a partir de datos extraídos de la Geo portal IGM.

Población y muestra

La población de estudio consideró a todo el personal operativo del área de producción de la empresa MINABRADEC CIA. LTDA. En el área de estudio se tomaron 6 puntos de muestreo considerando aquellos con mayor vulnerabilidad, determinado por los procesos de trituración de materia prima y que genera mayor concentración de material particulado. Además, se encuestó a todo el personal de la empresa sobre la exposición de riesgos químicos y se proporcionó información sobre el uso correcto de los equipos de protección personal y de las medidas de control implementadas.

Metodología y/o instrumentos utilizados

Para la recolección de datos del área de estudio se tomaron 6 puntos de muestreo donde se procedió a aplicar el método pasivo, que consiste en colocar papel filtro, mismo que es pesado antes y después de la recolección de material particulado dentro de una caja Petri. Las cajas permanecieron expuestas a los diferentes ambientes durante un mes de monitoreo, situadas en las zonas de mayor recepción posible de MPS.

Según lo determina el TULSMA (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2017), en su Anexo 4, el muestreo se debe llevar a cabo durante 30 días de forma continua, siendo así que la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por 30 días.

Obtenido el muestreo, los papeles filtros fueron llevados a la estufa a 50°C durante 24 horas con el fin de eliminar la humedad adquirida durante el proceso de recolección, para posteriormente pesarse en la balanza analítica marca SARTORIUS, modelo BP221S, de precisión 0.0001g (Tituaña Quillupangui, 2019).

Figura 2. Balanza analítica SARTORIUS



Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Monitoreo de MPS

Para el cálculo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en mg/cm²/mes, su valor se obtiene mediante las diferencias de peso inicial y final sobre el área del papel filtro para obtener el valor donde se acumuló la muestra por el mes de muestreo empleando la siguiente ecuación (Méndez Figueroa & Morán Amasifuén, 2022):

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{area} * 1 \text{ mes}$$

Donde:

- PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable
- Pi: Peso inicial
- Pf: Peso final

Para el cálculo del área del papel utilizamos la siguiente ecuación

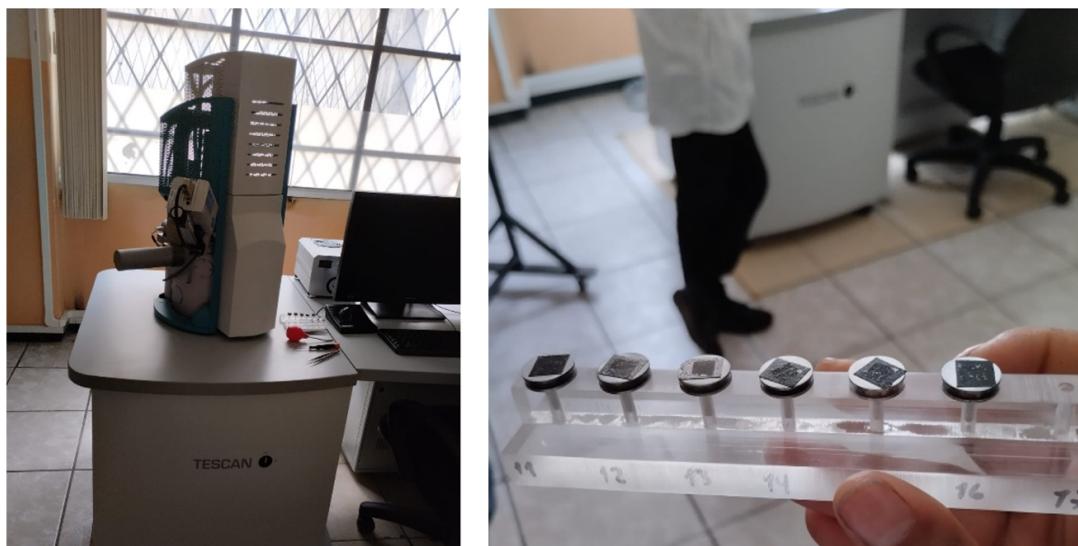
$$A = \pi * r^2$$

- π : valor de pi
- r: Radio al cuadrado.

Análisis morfológico de MPS

El análisis morfológico se realizó en el microscopio electrónico de barrido (MEB), el cual permite obtener imágenes de alta resolución con aumentos de 100x y 200x. Estas imágenes nos permiten observar la forma, tamaño y composición química del MPS. Las muestras de papel filtro fueron colocadas sobre un porta muestras para tomar sus respectivas fotografías donde se puede apreciar la forma, tamaño y color de las partículas, tal como lo describen en el análisis de Puetate Alquinga et al. (2024).

Figura 3. Microscopio de Barrido (MEB)



Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la caracterización del MPS se realizó un corte de 1cm² al papel filtro de las muestras representativas que contengan mayor concentración las cuales luego fueron colocadas sobre el porta muestras de aluminio y recubiertas con partículas de oro para obtener imágenes óptimas (Urrutia Llerena & Santillán Lima, 2021).

Monitoreo de MPV

Se llevo a cabo durante un mes, teniendo en consideración la mayor concentración de material particulado volátil y el proceso operativo en las horas de producción, el cual se realizó con el DustTrak™, utilizado para medir concentraciones de material particulado presente en la atmósfera. Para al proceso de medición se procedió a calibrar el equipo con un filtro 0 mm, terminada la calibración se colocaron los filtros de 10 mm y 2,5 mm para medir la concentración de concentración de MPV el cual dura 2 minutos para cada filtro obteniendo valores en mg/m³, y posteriormente transformar a μ g/m³.

Figura 4. Equipo DustTrak™



Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Resultados

Los resultados muestran la concentración de MPS en el área productiva- operativa de la empresa MINABRADEC CIA. LTDA en los puntos de muestreo, así como también la composición química y su morfología.

En el área de producción al analizar y evaluar los riesgos químicos se identifica que en el puesto de trabajo de operador Molino dos como se observa en la Tabla 1, existe presencia de material particulado que afecta a la salud de los trabajadores, debido a que en algunas ocasiones no utilizan de manera adecuada los EPP.

Tabla 1. Evaluación riesgo químico: Operador Molino 2.

EVALUACIÓN DEL RIESGO QUÍMICO: OPERADOR DE MOLINO 2.												
Clasificación del Riesgo.	Consecuencia Daño.	Consecuencia (C)				Probabilidad (P)				Riesgo		
		Afectación a la Seguridad y Salud Ocupacional. AS (1, 2, 3, 4)	Pérdida Económica Producción o Medios AE (1, 2, 3, 4)	Consecuencia (1 a 3)	Nivel	Frecuencia de la Acción (Tarea, Aspecto, Exposición) FA (1, 2, 3, 4)	Probabilidad de la Acción (Tarea, Aspecto, Exposición) FA (1, 2, 3, 4)	Probabilidad de la Consecuencia PC (1, 2, 3, 4)	Probabilidad de la Consecuencia PC (1 a 3)	Nivel	Valor. (0 a 9)	Nivel
Químico	Material Particulado. Alteración Respiratoria.	3	3	3	Extremadamente Dañino.	3	3	3	Alta	9	Intolerable	No

Fuente: elaboración propia.

Los valores presentados miden la consecuencia de grado 3, lo que implica un nivel de riesgo extremadamente dañino y el valor de la probabilidad que se obtiene es 9 siendo un nivel de riesgo intolerable, no es aceptable para un ambiente laboral seguro.

Concentración y análisis descriptivo del MPS

Realizado el monitoreo en el área productiva-operativa en la empresa MINABRADEC CIA. LTDA., durante un mes MPS en los seis puntos de muestreo según el método pasivo, se tiene los datos correspondientes de peso para cada punto de monitoreo en Tabla 2, donde se obtuvo un promedio de 1.183 mg/cm²/ mes de los seis puntos de muestreo, para el periodo mayo junio de 2019, este valor sobrepasa los LPM propuesto por la OMS y el TULSMA.

Tabla 2. Concentración del MPS en cada punto de monitoreo

Punto	Ubicación Geográfica (UTM)	Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	PMS (mg/cm ² / mes)
1	762748	9821387	431,6	523,2
2	763313	9814397	434,1	504,5
3	763319	9814397	434,3	508,8
4	763332	9814400	439,3	480,5
5	763323	9814398	433,4	468,6
6	763338	9814394	435,4	535,5

Fuente: elaboración propia.

Caracterización Química del MPS

La composición química del MPS, se realizó a partir de una muestra representativa de cada punto de monitoreo es decir de las 6 muestras analizadas mediante la técnica de fotones rayos x dispersados (EDX), en el laboratorio de microscopía de la ESPOCH de ingeniería Mecánica.

En la Tabla 2, se indica el total de los elementos químicos encontrados en cada uno de los puntos de monitoreo en el área productiva operativa. Los elementos químicos se determinaron con el uso del Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).

Tabla 3. Elementos Químicos encontrados en cada punto de monitoreo

Elemento	Porcentaje (%)					
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
C	4.28	13.28	35.88	-	-	-
O	39.66	63.14	111.89	129.01	151.9	91.9
Na	3.17	3.38	7.12	10.11	12.77	8.45
Mg	1.00	1.99	2.89	3.31	-	-
Al	8.32	13.68	22.79	25.17	29.36	18.97

Si	23.61	36.85	61.88	74.76	85.24	60.74
K	2.74	-	-	-	-	5.73
Ca	3.44	-	-	-	-	-
Fe	11.58	20.75	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

El promedio global de concentración de cada uno de los 9 elementos químicos encontrados en el muestreo como se observa en la Tabla 4, la clasificación de estos elementos se basa en el porcentaje de concentración.

Tabla 4. Elementos Químicos encontrados en cada punto de monitoreo

Elementos químicos mayoritarios (%)	Elementos químicos de menor concentración (%)	Elementos químicos de cantidades inferiores (%)			
O	97.94	C	8.91	Mg	1.53
Si	57.18	Na	7.75	K	1.41
Al	19.72	Fe	2.69	Ca	0.57

Fuente: elaboración propia.

Observamos que los elementos con mayor concentración son Oxígeno con el 97.94%, Silicio con el 57.18% y Aluminio con el 19.72%, los cuales se producen debido a los procesos de trituración de la materia prima que es la andesita esto provoca grandes cantidades de polvo que son inhalados por los operarios que liberan partículas en la atmósfera.

La elevada concentración de Oxígeno se atribuye principalmente al gas que se utiliza en el análisis de la caracterización química del MPS con el uso del microscopio de barrido. Además, la presencia de carbono se debe al papel filtro que empleamos como soporte para las muestras. Tanto el oxígeno como el carbono se descartan como contaminantes directos del proceso industrial.

Como lo señalan Rattia-Rivas et al. (2022), una de las enfermedades asociadas a la alta exposición del silicio es la silicosis es una neumatosis causada por la inhalación prolongada de polvo de alto contenido de sílice durante largos períodos de exposición provocando una enfermedad crónica, evolutiva, incapacitante e incurable, se trata de una enfermedad fibrótica cardiovascular de carácter irreversible. En el proceso de explotación, el riesgo principal radica en la exposición respiratoria al polvo.

Caracterización morfológica

La caracterización morfológica de las seis muestras de MPS se realizó mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (MEB), este análisis permitió identificar la forma y las características superficiales de las partículas.

Al analizar la morfología de las muestras recolectadas en el área de estudio productiva-operativa de la empresa se observó mediante el uso de el microscopio de barrido (MEB), que la mayoría de las partículas son de forma irregular y esférica con diámetro que oscila entre 5 μ m a 80 μ m. Estas características morfológicas indican que las partículas provienen de los procesos de trituración de la materia prima en todas las etapas como se observa en las imágenes.

Figura 5. Morfología del PMS de la Muestra 1, observados a 200 x

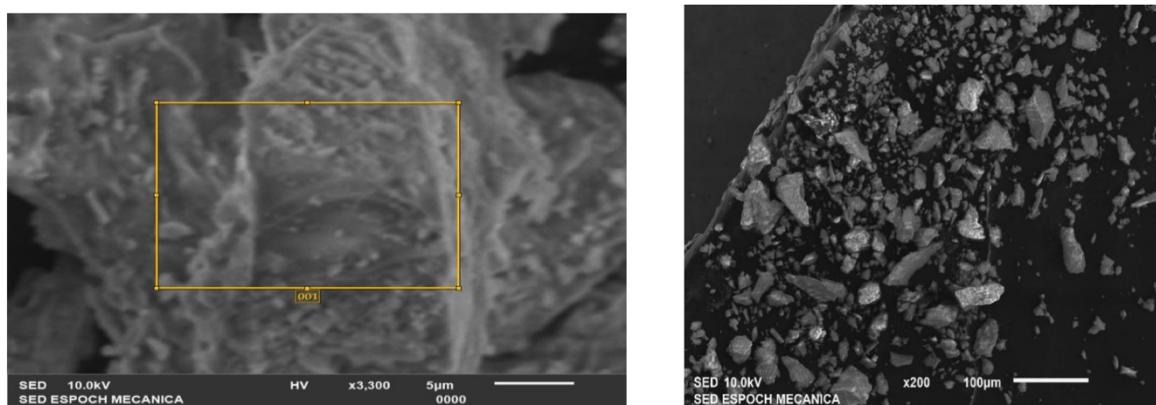
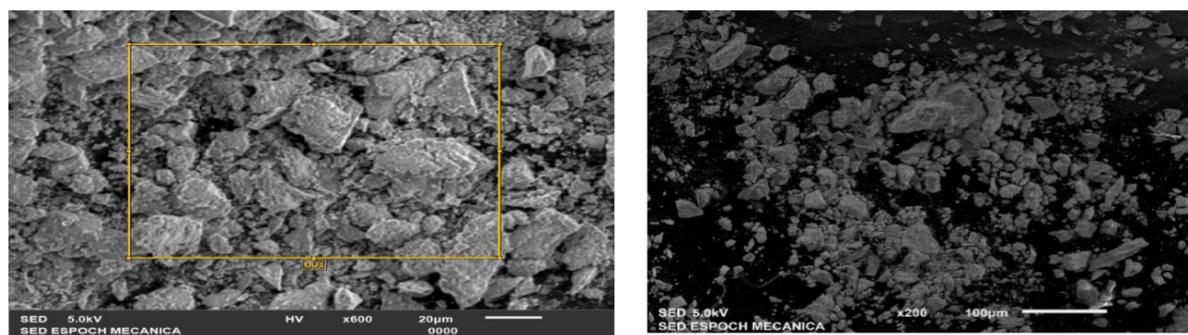
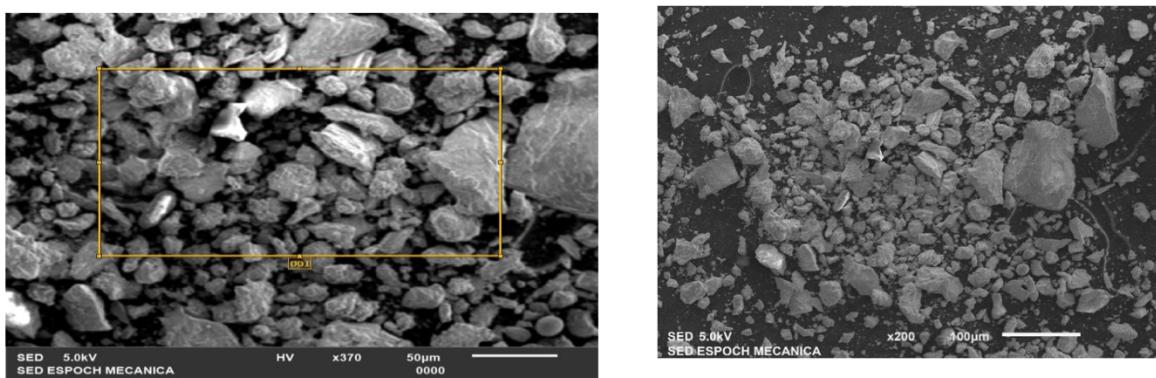


Figura 6. Morfología del PMS de la Muestra 2, observados a 200 x.



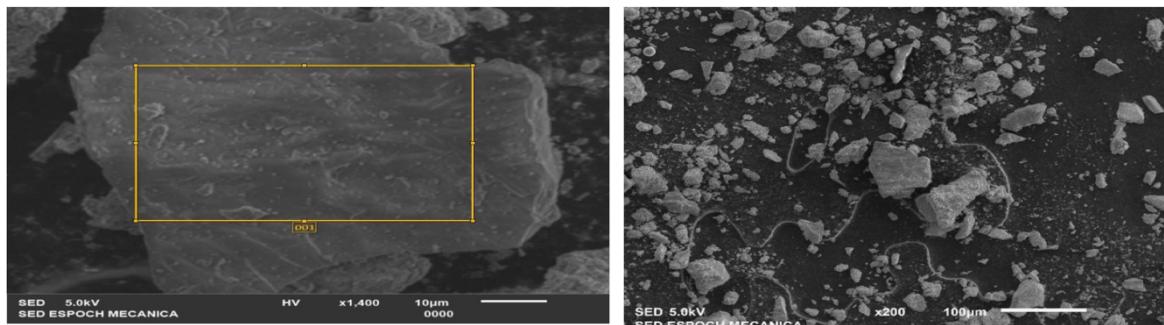
Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica de Chimborazo ESPoCH

Figura 7. Morfología del PMS de la Muestra 3, observados a 200 x



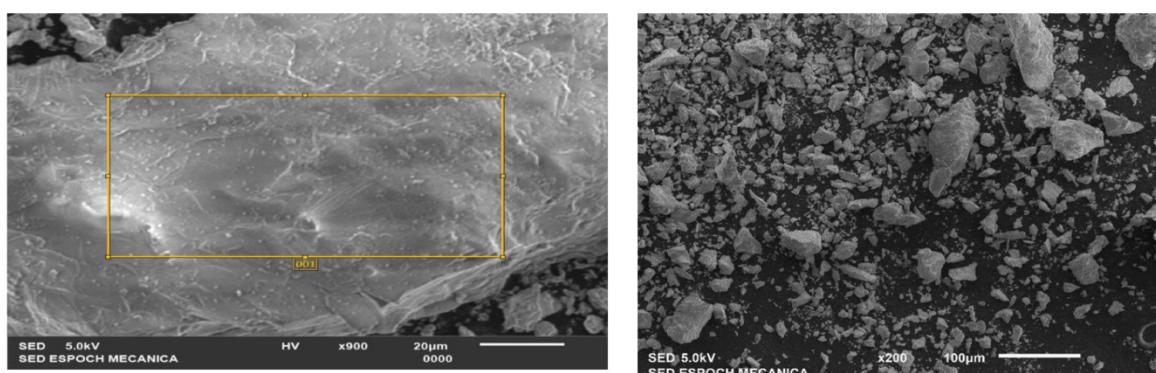
Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica de Chimborazo ESPoCH.

Figura 8. Morfología del PMS de la Muestra 4, observados a 200 x



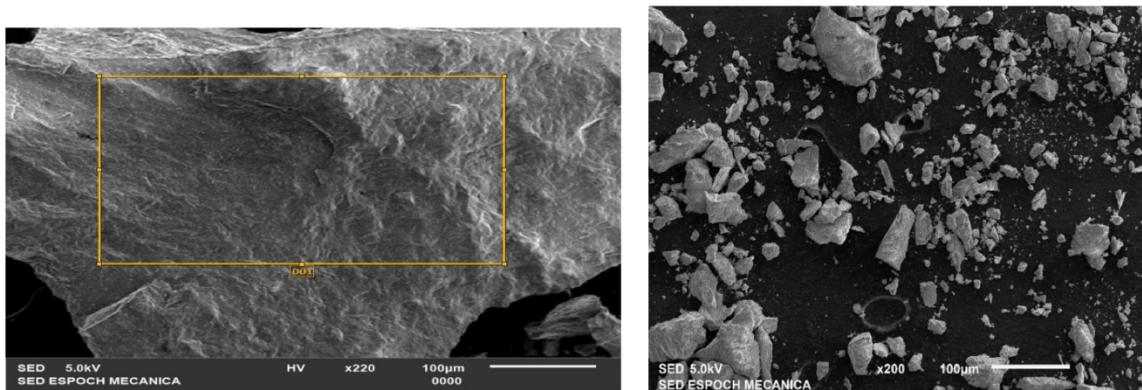
Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica de Chimborazo ESPOCH

Figura 9. Morfología del PMS de la Muestra 5, observados a 200 x



Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica de Chimborazo ESPOCH.

Figura 10. Morfología del PMS de la Muestra 6, observados a 200 x



Fuente: fotografía tomada en el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica de Chimborazo ESPOCH.

Análisis del Riesgo Químico Predominante: MPV

El monitoreo realizado con el equipo DustTrak™ II, durante un mes, en los diferentes puntos de muestreo se obtuvo los siguientes valores de concentración de 2,5 μm detallados en la Tabla 5.

Tabla 5. Datos de PM2, 5 μm en cada Punto de Muestreo a diferente horario

	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Dia
109	214	108	189	114	221	189	188	87	367	204	69	114	372	34	98	117	654	348	198	291	345	8:00	Punto 1
124	116	115	153	234	255	182	171	127	189	110	109	93	204	127	87	116	124	276	347	176	391	12:00	15:00
162	133	125	102	140	147	204	221	103	155	87	227	125	162	181	96	133	122	389	294	309	155	309	12:00
111	24	18	59	24	14	52	35	78	83	57	58	69	80	23	69	62	71	85	82	23	50	8:00	Punto 2
16	54	48	35	52	91	15	18	62	87	95	45	87	72	67	75	37	101	62	58	82	27	12:00	15:00
81	63	29	64	32	39	10	11	68	24	26	115	90	76	14	93	65	52	98	23	18	87	8:00	Punto 3
54	56	62	98	38	80	58	45	97	41	92	67	108	76	34	64	113	108	76	64	86	176	8:00	Punto 4
34	63	51	76	75	103	52	76	67	34	96	64	51	54	45	103	34	87	34	54	67	89	12:00	15:00
76	78	78	56	90	99	67	47	63	76	60	86	98	62	78	72	74	83	60	78	58	102	8:00	Punto 5
65	98	107	102	97	78	65	93	43	54	65	70	98	87	37	90	89	76	45	48	65	87	12:00	15:00
34	70	49	48	34	93	76	104	65	92	76	52	76	54	98	87	72	87	54	67	45	65	8:00	Punto 6
54	76	80	87	71	91	42	82	45	29	45	60	89	65	23	43	90	87	62	54	76	89	12:00	15:00
32	75	71	41	52	73	45	56	69	43	99	96	87	57	59	58	45	65	67	78	98	108	8:00	Punto 1
78	56	74	98	90	102	46	78	56	76	54	87	89	86	80	75	74	79	67	90	91	93	12:00	15:00
72	45	76	45	167	53	95	87	56	98	76	198	61	108	89	98	110	94	98	62	98	68	8:00	Punto 2
288	244	255	109	245	367	398	306	205	207	187	196	176	189	165	187	435	234	145	167	123	109	12:00	15:00
654	234	256	356	302	321	234	134	156	198	145	126	176	178	321	176	156	342	163	198	166	209	12:00	15:00
178	176	125	321	208	301	234	106	129	765	156	234	309	209	108	168	176	564	432	234	123	234	8:00	Punto 3

Fuente: elaboración propia

Concentración de MPV en el área productiva-operativa “MINABRADEC”.

Los datos presentados en la tabla N.º 7, indican el promedio diario de concentración del MP2.5 y 10 μm de los puntos de muestreo durante los 22 días de estudio excede los límites permisibles (LMP) propuestos por las normativas OMS y el TULSMA.

Tabla 6. Concentraciones de MP 2.5 y 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), en el área productiva-operativa

Dia	8H00		12H00		15H00		Promedio($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	2.5 μm	10 μm	2.5 μm	10 μm	2.5 μm	10 μm	2.5 μm	10 μm
1	69.17	145.83	66.50	145.67	99.33	122.50	78.33	138.00
2	69.17	114.33	158.50	104.50	71.00	114.50	99.56	111.11
3	103.83	106.17	88.33	135.67	83.17	124.17	91.78	122.00
4	80.83	127.67	129.33	109.33	98.00	189.83	102.72	142.28
5	98.17	201.33	132.33	136.67	89.33	167.00	106.61	168.33
6	120.00	143.50	99.00	81.50	70.17	108.00	96.39	111.00
7	71.50	94.33	78.83	100.50	110.17	95.00	86.83	96.61
8	68.33	58.67	96.50	123.00	49.50	82.17	71.44	87.94
9	90.17	143.50	77.67	108.00	62.33	113.67	76.72	121.72
10	92.67	108.67	84.67	95.33	69.83	128.67	82.39	110.89
11	80.33	92.67	58.50	80.50	129.83	153.33	89.56	108.83
12	76.00	117.33	67.33	96.00	87.00	75.00	76.78	96.11
13	114.83	132.50	102.33	112.67	84.17	191.17	100.44	145.44
14	107.67	96.50	141.67	88.83	83.33	77.33	110.89	87.56
15	157.67	120.50	100.33	96.83	61.67	92.33	106.56	103.22
16	95.67	134.50	61.50	100.83	66.17	108.67	74.44	114.67
17	92.83	138.83	106.83	160.83	89.67	121.67	96.44	140.44
18	112.00	95.00	50.33	131.17	73.00	118.00	78.44	114.72
19	68.00	99.67	62.33	127.67	110.17	112.50	80.17	113.28
20	100.67	103.50	72.83	98.83	84.33	85.50	85.94	95.94
21	63.00	118.50	103.67	98.83	131.50	95.17	99.39	104.17
22	76.17	109.83	64.67	156.67	107.67	103.83	82.83	123.44

Fuente: elaboración propia

Se observa una considerable variación en la concentración entre días y horas. Las concentraciones de PM10 son más altas, con promedios que oscilan entre 87.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 168.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que las de PM2.5 varían entre 71.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 110.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Discusión

Los resultados de este análisis de riesgos químicos revelan la situación en la que la empresa MINABRADEC CIA. LTDA., se ve afectada por la exposición al material particulado, los niveles de material particulado sedimentable (MPS) y material particulado volátil (MPV), (MP2.5 y MP10) superan los límites máximos permisibles establecidos tanto por la Organización Mundial

de la Salud (OMS) y la normativa nacional establecida en el TULSMA, provocando un riesgo significativo para la salud y seguridad de los trabajadores del área de producción.

Los resultados con estudios previos sugieren que la exposición a material particulado en el área de producción de MINABRADEC CIA. LTDA es superior a la reportada en otros entornos industriales. En un estudio realizado por Paguay et al. (2023), en la comunidad de Gatazo, cantón Colta por incidencia industrial encontró niveles de MP2.5 y MP10 superan el límite permisible de la OMS 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero se encuentran dentro del límite permisible del TULSMA, lo que demuestra que los niveles de concentración del material particulado son altos debido a las grandes cantidades de material que se produce por las actividades industriales. Estas partículas suelen estar suspendidas en la atmósfera muchos días por lo que se considera un riesgo para la salud.

Según Astudillo Alemán et al. (2015), la concentración máxima permisible según la legislación ambiental es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual, las variaciones de las concentraciones de metales pesados en las muestras de material particulado están condicionadas al uso del suelo donde se realizó el monitoreo.

El análisis de la caracterización química del material particulado suspendido en el área de producción, revelaron una composición química con 9 elementos químicos identificados en las muestras analizadas. Los resultados indican que los elementos químicos con mayor concentración fueron Oxígeno (O) con el 97.94 %, Silicio (Si) con el 57.18% y Aluminio (Al) con el 19.72%. La presencia de estos elementos químicos en el aire se debe principalmente a los procesos de trituración de la materia prima, esto provoca grandes cantidades de polvo que son inhalados por los trabajadores. En base a estos resultados se recomienda que la empresa MINABRADEC CIA. LTDA., implemente medidas de control para reducir la cantidad de polvo en el aire.

La alta concentración de silicio puede producir en el ser humano una neumoconiosis conocida como silicosis, causada por la acumulación de polvo en los pulmones. Conforme lo señalan de Vicente et al. (2014), esta enfermedad está reconocida como enfermedad laboral y, de hecho, en investigaciones previas han demostrado que la exposición prolongada de partículas de silicio puede aumentar significativamente el riesgo de desarrollar la enfermedad.

Los resultados del análisis de riesgos químicos en el área de producción de MINEBRADEC CIA. LTDA., destaca la importancia de implementar medidas de control y programas de monitoreo continuo del material particulado. Para reducir la exposición de los trabajadores además de prevenir el desarrollo de enfermedades laborales asociadas a la inhalación de material particulado, siendo fundamental para impulsar la mejora continua en la seguridad y salud ocupacional de la empresa.

Conclusión

El análisis de los riesgos químicos del área de producción de la empresa MINABRADEC CIA. LTDA., reveló una problemática relacionada con la exposición a material particulado,

particularmente en el molino 2, donde los niveles alcanzaron un grado extremadamente dañino e intolerable para los trabajadores.

En cuanto al análisis de material particulado sedimentable (MPS), se determinó que la mayoría de las muestras de los filtros (1 a 6) no cumplen con los Límites máximos permisibles (LMP) de 0,5mg/cm²/meses establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Mientras que los filtros 4 y 5 cumplen con la normativa según el TULSMA y los filtros (1,2,3 y 6) exceden los límites máximos permisibles.

El estudio del material particulado volátil (MPV) evidencio que las concentraciones de MP2,5 sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) de la OMS y TULSMA, los valores alcanzan un promedio máximo de 106,61 μ g/m³ y un valor mínimo de 71,44 μ g/m³. De igual manera para MP10 se registraron concentraciones que superan los límites permisibles de la OMS siendo el máximo 168,3 μ g/m³ y un mínimo 87,56 μ g/m³. Estas concentraciones no son aceptables para un ambiente de trabajo saludable y seguro.

Los resultados de este análisis confirman la necesidad de implementar medidas de control y mitigación efectivas para reducir los niveles de material particulado en el área de producción como utilizar EPP adecuado y realizar monitoreos constantes para salvaguardar la salud del personal expuesto a estos riesgos químicos en la empresa MINABRADEC CIA. LTDA.

Referencias

- Arias Espinosa, M. N., & Silva Zambrano, S. (2019). *Análisis y valoración de riesgos laborales de la empresa Minabrec Cia. Ltda., dels Parque Industrial del Cantón Riobamba* [Tesis de ingeniería. Universidad Nacional de Chimborazo].
- Astudillo Alemán, A. L., Ramírez Orellana, M. I., García Alvear, N. B., González Arévalo, G. J., Gutiérrez Valle, I. A., & Bailón Moscoso, N. C. (2015). Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca-Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549. *Revista de Toxicología*, 32(2), 121–126.
- Calera Rubio, A. A., Roel Valdés, J. M., Casal Lareo, A., Gadea Merino, R., & Rodrigo Cencillo, F. (2005). Riesgo químico laboral: elementos para un diagnóstico en España. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 283–295.
- CDC. (2012). Occupational cancer. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov>
- de Vicente, M. Á., Díaz, C., Hervás, P., & Guisasola, A. (2014). Occupational exposure to silica and lung cancer: an evidence-based journey. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 17(3), 129–131. <https://doi.org/10.12961/aprl.2014.17.3.01>
- González-Díaz, Y., Martínez-Barbán, D., & Martínez-Sánchez, D. (2021). Evaluación de riesgos químicos en un laboratorio de Química Física. *Tecnología Química*, 41(3), 561–579.

Koch, R. W. (2024, 15 de julio). *Occupational exposures and cancer*. EBSCO Research Starters. <https://n9.cl/fldzu>

Méndez Figueroa, A. A., & Morán Amasifuén, V. J. (2022). *Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable en el área de influencia directa de la zona industrial del cercado de Tacna* [Tesis de ingeniería, Universidad Privada de Tacna].

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA)*.

Paguay Martínez, F. M., Lima, S., P., G., & Caichug Rivera, D. M. (2023). Caracterización y determinación de concentraciones de material particulado sedimentable (MPS) en la comunidad de Gatazo Grande, cantón Colta, por suceso industrial. *Polo del Conocimiento*, 8(2), 1347–1371.

Pertuz Meza, Y. R. (2022). Efectos para la salud respiratoria de los trabajadores que usan sustancias químicas en su medio laboral: Una revisión sistemática. *Salud*, 38(2), 560-585. <https://doi.org/10.14482/sun.38.2.616.2>

Puetate Alquinga, L. D., San Martín Velesaca, R. A., & Santillán Lima, G. P. (2024). *Determinación de la concentración de material particulado sedimentable generado en el cantón Colta, sector Majipamba* [Trabajo de titulación, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12989>

Rattia-Rivas, C. E., Martinez-Aguirre, S. A., Marianna, L. S., & Maqueda, J. (2022). Silicosis en trabajadores expuestos a conglomerados de cuarzo. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 68(266), 11-24. <https://dx.doi.org/10.4321/s0465-546x2022000100002>

Rodríguez Yanzapanta, J. E. (2024). *Evaluación de riesgos químicos en la empresa ROLANTEX, del cantón Pelileo. Propuesta de un plan de manejo de sustancias peligrosas* [Trabajo de titulación, Universidad Nacional de Chimborazo].

Tarquino Machado-Miranda, E., Jácome-Valdés, M. A., Mosquera-Guanoluisa, D. L., & Pilco-Salazar, A. M. (2019). Evaluación de riesgos químicos por isómeros de dimetil benceno en pintores. *Ingeniería Industrial*, 40(2), 123–135.

Tituaña Quillupangui, C. A. (2019). *Validación del método para la determinación de material particulado PM-10 y PM-2.5 en aire ambiente* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Ambato].

Urrutia Llerena, B. F., & Santillán Lima, G. P. (2021). *Estimación de la concentración de material particulado sedimentable en el centro histórico de la ciudad de Riobamba* [Trabajo de titulación, Universidad Nacional de Chimborazo].

Zeballos Soriano, R. I., & Núñez Solano, S. J. (2021). *Riesgos químicos y sus efectos en la salud del personal de producción de la empresa CHEMLOK Ecuador* [Trabajo de titulación, Universidad del Pacífico].

Autores

Liceth Daniela Cañarte Velastegui. Ingeniera ambiental, actualmente estudiante de la maestría Seguridad industrial de la universidad Nacional de Chimborazo.

Guido Patricio Santillán Lima. Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, actualmente docente de la universidad Nacional de Chimborazo y tutor para la obtención del título de posgrado.

Declaración

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Sin ayuda financiera de partes externas a este artículo.

Nota

Este artículo es producto de la tesis previo a la obtención del título de ingeniería ambiental titulada “Análisis y Valoración de Riesgos Laborales de la Empresa MINABRADEC CIA. LTDA, del parque Industrial del Cantón Riobamba” defendida en el año 2019 en la Universidad Nacional de Chimborazo.