



Industrial Data

ISSN: 1560-9146

ISSN: 1810-9993

industrialdata@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Perú

Yabar Baños, Carlos; Aramburú Rojas, Vidal; Tinoco Ángeles, Félix

Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en
el área de chancado del sector de San Nicolás-Marcona

Industrial Data, vol. 23, núm. 1, 2020, -Junio, pp. 23-38

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Lima, Perú

DOI: <https://doi.org/10.15381/idata.v23i1.16548>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81664593002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en el área de chancado del sector de San Nicolás-Marcona

CARLOS YABAR BAÑOS¹
VIDAL ARAMBURÚ ROJAS²
FÉLIX TINOCO ÁNGELES³

RECIBIDO: 21/08/2019 ACEPTADO: 06/11/2019 PUBLICADO: 16/10/2020

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es demostrar la disminución en la polución ambiental y exposición ocupacional mediante la sistematización del proceso de mitigación de polvo de hierro en el área de chancado del sector de beneficio San Nicolás de la empresa minera Shougang Hierro Perú S. A. El estudio se desarrolló bajo la metodología de tipo aplicativo, llegándose a demostrar, mediante monitoreo ambiental de partículas suspendidas, la relación causal entre polución ambiental y exposición ocupacional. Con una muestra de 15 trabajadores, se logró medir la percepción de disminución de la polución ambiental con un enfoque cuantitativo y un procesamiento de datos con el método de estadística descriptiva e inferencial. Los resultados reflejan que el promedio del nivel de influencia del esquema de mitigación de polvo de mineral de hierro es significativo, a un nivel de confianza del 95% y significancia del 5%; en tal sentido, el sistema es eficiente para la reducción hasta el límite máximo permisible de calidad ambiental actual ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$), el límite de la exposición ocupacional a partículas de polvo respirable ($3.2 \text{ mg}/\text{m}^3$) y de polvo inhalable ($13 \text{ mg}/\text{m}^3$). Luego de los monitoreos ambientales y ocupacionales respectivos, se pudo lograr un límite máximo permisible de calidad ambiental menor a $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un límite ocupacional de partículas de polvo respirable de $2.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ y de polvo inhalable de $9.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ en el área de chancado del sector de beneficio San Nicolás. Así, se concluye que el sistema de mitigación de polvo de hierro es eficiente para minimizarlo en la planta indicada.

Palabras clave: mitigación; polvo; planta chancadora; salud ocupacional; seguridad ocupacional.

INTRODUCCIÓN

Lo minero, a nivel general, es visto como algo dañino y atrofante hacia el medio ambiente, pues produce perturbaciones de salud en las comunidades. Actualmente, el desarrollo tecnológico permite el uso de elementos para minimizar esta situación. Esto viene como consecuencia de las exigencias de la población y de un mundo globalizado, en el que se busca un progreso menos contaminante.

Este estudio se ha localizado en una planta chancadora del sector de beneficio San Nicolás de Shougang Hierro Perú S. A. A., donde se observó la generación de material particulado. Ante esta situación, se hacía necesaria la adaptación de un medio para disminuir la cantidad de moléculas presentes en el ambiente (especialmente, en las cercanías de la planta) mediante la colocación de un método que absorba esta nube de partículas.

Las referencias para realizar dicha tarea han sido el Decreto Supremo n.º 007-2008-MINAM (García y Fernández, 6 de diciembre de 2008), las normativas para la realización de monitoreos ambientales detalladas en el Decreto Supremo n.º 059-93-EM (Ministerio de Energía y Minas, 10 de diciembre de 1993) y la nueva Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo n.º 29783 en 2011 (Humala y Villena, 20 de agosto de 2011; Humala y Villena, 25 de abril de 2012).

Las partículas sólidas de polvos son generadas en las diferentes operaciones de la minería, en las que se produce una serie de emisiones de polvo en la atmósfera; fundamentalmente, esto sucede durante las actividades extractivas, como la voladura, el

- 1 Ingeniero de materiales por la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa (Arequipa, Perú). Actualmente, labora como prevencionista de control de pérdidas en la empresa Shougang Hierro Perú S. A. A. (Ica, Perú).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0854-6852>
E-mail: cyabar@shp.pe
- 2 Doctor en Gestión de Empresas y magister en Ingeniería Metalúrgica por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima, Perú). Actualmente, es docente de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la misma universidad. (Lima, Perú).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7411-3866>
E-mail: varamburu@unmsm.edu.pe
- 3 Magister en Gestión de Operaciones y Servicios Logísticos por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima, Perú). Consultor independiente.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-4657>
E-mail: tinocofelix@gmail.com

carguío, el acarreo, el chancado primario o secundario de mineral y el transporte por fajas. Mediante las supervisiones ambientales PM-10, se registran concentraciones medias aritméticas diarias superiores a $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las cuales representan el límite máximo de calidad del aire aprobada por la Resolución Ministerial n.º 315-96 EM/VMM (Hokama, 16 de julio de 1996) (ver Tabla 1).

Un aspecto ambiental de especial consideración es la velocidad del viento que se registra en el distrito de San Juan de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica, considerado como uno de los lugares con mayor incidencia de vientos a nivel nacional, con un promedio de 9 m/s a un nivel de 40 m s. n. m. (Glave y Kuramoto, 2002). Este es un factor influyente a considerar en el proceso de mitigación de polvo en la planta de chancado secundario, ubicada a 3200 m s. n. m.

1. Efectos patológicos del polvo en la minería

Para Martínez, Quero, Isidro y Rego (2001), estas nubes de partículas, en principio, debido a su composición, disminuyen la iluminación ambiental, ocasionando daños en la salud. Este efecto ocurre por el tamaño de las partículas y por la combinación de distintos elementos. Las partículas tienen diferentes tamaños, lo que les permite mantenerse en el aire, por efecto de la fuerza de sustentación, donde las de menor dimensión y densidad son arrastradas por mayores recorridos y tiempo. Una vez que el viento baja su velocidad, las partículas tienden a caer al suelo.

Para constituyentes de poca densidad y dimensiones inferiores a $2.3 \text{ mg}/\text{m}^3$, las partículas se mantienen por un tiempo relativamente mayor en el aire, lo que permite que sean inhaladas por los seres vivos, produciendo efectos sobre su salud. Cuando las partículas están por debajo de un valor de $10 \text{ mg}/\text{m}^3$, son absorbidas de manera más fácil y continua, con la posibilidad de producirse perturbaciones de alcance significativo.

El valor del límite máximo permisible para conservar la calidad del aire, dispuesto por la normativa nacional, es de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las partículas en suspensión. Para una concentración media aritmética diaria, mediante los monitoreos PM-10 realizados en nuestro caso, se determinó que la concentración supera ese límite, lo que evidencia la necesidad de medidas de control para la optimización del aire.

2. Escogimiento y dotación de equipos para la disminución de elementos de polución

Según los estudios realizados por Warner (1981) y Anguita y Moreno (1993), las cribas están a un espaciamiento menor para poder filtrar partículas muy pequeñas contenidas en el aire. La captación de partículas suspendidas de polvo dependerá directamente del tamaño de las mismas y la aplicación posterior de un equipo que integre el sistema de mitigación de polvo (ver Tabla 2).

Además de lo anterior, Vega (2007) refiere a qué equipos usar en función de la retención de las partículas contaminantes. Para dicha elección, no es suficiente lo físico en cuanto a tamaño, forma o cualquier otra especificidad de las partículas, lo importante es su composición química, determinante en lo dañino y perturbador para la salud.

3. Sistema de colectores de polvo

El trabajo de Moraga, Rivera y Soto (2013), en Coldelco, Chile, aborda el caso de una planta de chancado secundario-terciario; además, hace la descripción de 19 colectores de polvo operativos, de los cuales, 13 son del tipo Aeromix Wet Scrubbers y 6, del tipo Rotoclone. Estos equipos para sacar el polvo se encuentran en lugares donde pueden absorber las partículas de manera continua y permanente de los medios que transportan el material triturado. Este polvo atrapado es mezclado con agua para que se aglomere y pueda ser vertido en los canales de desagüe, de donde, luego, separado del agua,

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de calidad de aire.

Parámetro	Concentración media aritmética diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	Concentración media aritmética anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración media geométrica anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Anhidrido sulfuroso	572*	172	-
Partículas en suspensión	350*	-	150
Plomo	-	0.5	-
Arsénico	6	-	-

* No debe ser excedido más de una vez al año.

Fuente: Hokama (16 de julio de 1996).

Tabla 2. Tamaños de partículas a ser atrapadas.

Equipo	Rango de partículas que atrapa en micras
Precipitadores electrostáticos Torres empacadas	0.01 a 90
Filtros de papel	0.01 a 100
Filtros de tela	0.005 a 8
Lavadores de gases	0.05 a 90
Separadores centrífugos	0.05 a 100
Cámaras de sedimentación	5 a 100

Fuente: Vega (2007).

se recoge el material depositado. Este cúmulo de minerales es recuperado para su procesamiento.

Esta agrupación de extractores, en general, está en continuo funcionamiento, es por ello que debe tener un plan de mantenimiento programado para evitar paradas no deseadas que puedan afectar la succión de las moléculas de polvo y generar una polución de gran alcance. A su vez, es necesario llevar un registro del uso de estos equipos a través de un personal calificado (Moraga *et al.*, 2013).

Las propiedades físicas y químicas de las partículas son invariables. El tamaño, forma y particularidades de las mismas están sujetas a la cantidad de humedad presente en el material, a los equipos usados y su mantenimiento. Es importante considerar la cota de las acumulaciones de material y, de manera expresa, de las condiciones climatológicas entre ellas: cantidad de agua caída por precipitaciones, variabilidad de la dirección y sentido de la celeridad del viento.

Es importante destacar a Martínez *et al.* (2001), quienes hacen la diferenciación relativa desde el tamaño, dado que, independientemente de este, la salud de los trabajadores se deteriora, pues las partículas se alojan en el sistema pulmonar: las de mayor tamaño van a la tráquea, ductos nasales y bronquios; las intermedias, a los sectores pulmonares y las ultrafinas, a la intimidad alveolar.

4. Valores admisibles de polvos que contaminan el aire

Los patrones actuales de aceptación de niveles de contaminación de aire son usados referencialmente como aquellos que tienen poca capacidad de generar problemas de salud. Se encuentran señalados en los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el aire, establecidos por el Ministerio de Ambiente. Estos valores deben ser considerados como primarios para desarrollar políticas ambientales y proyectos de tipo minero o de otra clase.

Por su lado, la EPA (Environmental Protection Agency) de EE. UU. estima datos de polución del aire, y refiere a límites de la misma para niños, ancianos y asmáticos, en primera instancia; para el descenso de la visión; así como para evitar perturbaciones de la flora y fauna (Bartual y Berenguer, 2001).

5. Contaminación ambiental

Según Aguilar (2006), la propagación del daño del medio ambiente es producto de diversos agentes presentes en el aire, agua y en partes donde las condiciones de vida están amenazadas por elementos tóxicos, sean estos de tipo bioquímico, biofísico o simplemente físico o químico; además, es posible que se presenten uno de ellos o todos en conjunto. De cualquier manera, todos estos elementos afectan el desenvolvimiento humano e incrementan el desmejoramiento de la flora y la fauna. Campos (2000) complementa la definición anterior manifestando la existencia de los factores bióticos, aquellos de los seres vivos y sustancias orgánicas, y los no bióticos, mencionados inicialmente (agua, aire y minerales), que afectan de algún modo el medio ambiente.

6. Pasivos ambientales de la minería

Según Herrera y Millones (2011), el consumo de agua es un componente que perturba de forma constante el desarrollo agrícola y pecuario de las zonas cercanas a los centros trituradores de material. Este agotamiento está ligado a lavar las cantidades de movido y removido, ya que dicha agua relativamente contaminada afecta las cuencas hidrográficas del Locumba, Cañete, Mantaro, Acarí y Moche, además, una parte de estas llega a la vertiente del Pacífico. Medina (2008) acota que en el río Mantaro el efecto de las aguas usadas en el lavado de material ha ocasionado pérdidas de animales y tierras cultivables, y daños significativos a la economía de la zona. La empresa involucrada en dichos detrimentos señala que, en estos momentos, el caudal de este río solo sirve para desagüe

de las plantas cercanas a este afluente. En esta misma línea, se debe mencionar el daño ecológico a la Reserva Nacional de Junín, en el lago Chinchaycocha, situación que ha contribuido a la eliminación de animales, ríos y plantas, y al desmejoramiento de la calidad del aire; asimismo, ha promovido la desaparición de especies como el zambullidor de Junín y otras aves presentes en el lago (Castillo, 2008).

METODOLOGÍA

Implementación del sistema de atenuación de polvos en el área de chancado n.º 1-San Nicolás

Las tareas de supervisión y monitoreo de los ecosistemas se llevan a cabo con el objetivo de cuantificar la existencia y concentración de contaminantes en el ambiente, además, permiten examinar la situación en que se conservan los recursos naturales (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

Las condiciones generales fueron: 83.5 m s. n. m., temperatura máxima del aire: 32 °C, temperatura mínima del aire: 18 °C, humedad relativa: 95% y atmósfera salina (ver Figura 1).

Descripción del proyecto

La ejecución consistió en lo siguiente:

- Instalación de ductos colectores, campanas de extracción y soportes metálicos desde la línea 1 y la torre de zarandas.

- Montaje de precipitador.
- Implementación de transportadores que recolectan partículas finas.
- Montaje de ventilador.
- Montaje de chimenea.
- Construcción de pozas de humidificación.
- Montaje e instalación de compresora
- Montaje e instalación de “tanque pulmón” para almacenar aire de 3 m³.
- Montaje de línea de inyección de aire para limpiar filtros.
- Instalación de sistemas de inicio, control y equipamiento auxiliar.
- Montaje e instalación del equipamiento eléctrico en media tensión (celdas y/o arrancadores en 4.16 kV) y en baja tensión (440 V, 220 V, 120 V).
- Montaje e instalación de infraestructura eléctrica y sistemas de canalización para el funcionamiento y supervisión de diferentes equipos electromecánicos.
- Instalación de infraestructura eléctrica de fuerza, instrumentación, automatización y de monitoreo en general.
- Construcción de subestación eléctrica completamente equipada.

En la Tabla 3, se muestran los parámetros técnicos considerados en la empresa para la implementación del sistema.

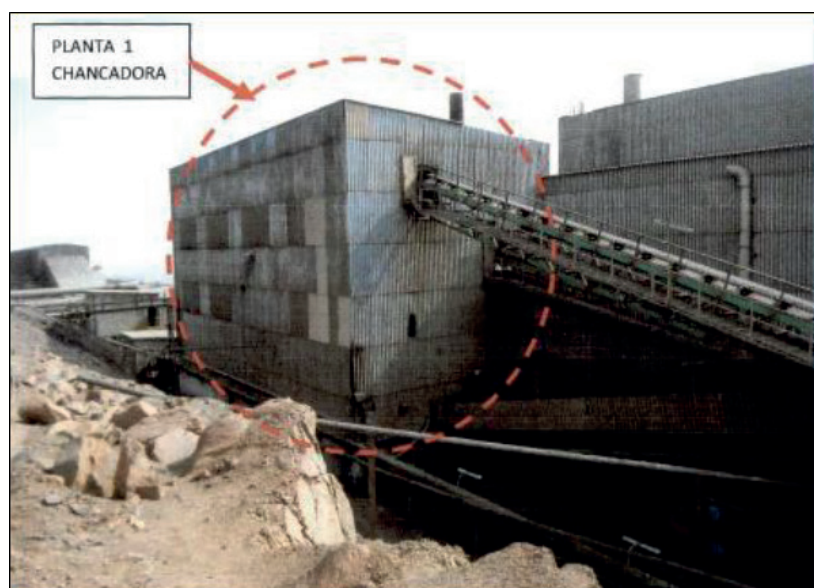


Figura 1. Área de chancado de Shougang Hierro Perú S. A. A.

Fuente: Elaboración propia. Fotografía de Carlos Yabar Baños.

Tabla 3. *Parámetros técnicos. Shougang Hierro Perú S. A. A.*

Parámetro	Unidad
Volumen de aire procesado	450 000 m ³ /h
Área de filtrado	7200 m ²
Velocidad del viento en filtro	1.04 m/min
Resistencia de equipo	1800 Pa
Número de cámara de filtros	16
Cantidad de mangas de filtros	2400
Dimensiones de mangas de filtros	0160 x 6000 mm
Dimensiones de soporte de mangas de filtros	0155 x 5980 mm
Cantidad de soportes para filtros de manga	2400
Material de los filtros	Waterproof Polyester Needle Felt
Cantidad de válvulas de pulso	160
Dimensiones de válvulas de pulso	3"
Dimensiones de válvulas Flashboard	300 x 300
Cantidad de válvulas de descarga	8
Tipo de válvula de descarga	YJD-16A
Cantidad de válvulas Off-line	16

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha encontrado personal expuesto a los polvos o materiales particulados generados en las diversas plantas de chancado secundario, equivalente a 15 trabajadores. Asimismo, se ha monitoreado al personal que labora en el interior de la planta, esto incluye al personal de mantenimiento mecánico y eléctrico, y los operadores de equipos de planta. El punto de monitoreo mensual con los equipos instalados PM10 fue en lugares estratégicos aprobados por el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).

La selección de la muestra se ha realizado de forma paulatina: se inició con las personas con mayor exposición hasta llegar a aquellas con menor exposición. Se registró cada monitoreo y se ha determinado la comparación con registros anteriores.

Supervisión ambiental PM10. Su finalidad es la evaluación de las minúsculas partículas de polvo, en sólido o líquido, las cenizas, el hollín, las partículas metálicas y el cemento, los cuales se hallan en estado de dispersión en el espacio atmosférico y cuyo radio es menor a 5 µm. En su composición se presentan sustancias inorgánicas, como sales de aluminio y sílice, metales pesados, entre otros. El particulado orgánico se asocia a polvo de carbono.

Monitoreos personales de polvo respirable e inhalables con bombas SCORT MSA. Es el estudio

que se lleva a cabo para establecer una comparación con la metodología de muestreo NIOSH, e intenta encontrar la magnitud de concentración de polvo que puede ser respirado en el lugar de trabajo (vía el método 0600, que denota las partículas no regulables respirables).

Estación meteorológica. Es un dispositivo cuya finalidad es medir y detectar regularmente diferentes variables meteorológicas. Los datos que se obtienen se emplean tanto para la predicción, a partir de modelos numéricos, como para investigaciones climatológicas.

Mapas de riesgo. Es el mapa de la planta chancadora con la identificación de señales de advertencia, informativas, de obligatoriedad y contra incendios.

Matrices IPERC de línea base. Es la tabla para identificar peligros, evaluación de riesgos y controles.

Las Tablas 4 y 5 reportan los resultados del monitoreo de polvos suspendidos entre junio y octubre de 2016, con equipo de alto volumen.

A continuación, se ilustran los resultados obtenidos en la evaluación posttest al medir las cantidades registradas de la polución ambiental. Esto se realizó mediante un cuestionario aplicado a los 15 trabajadores que desarrollaban sus labores en la planta chancadora de San Nicolás de la empresa Shougang Hierro Perú S. A. A. (ver Tabla 6), con

Tabla 4. Evaluación de polvos suspendidos en junio, julio y agosto de 2016.

ESTACIÓN	Filtro n.º	Mes	Tiempo de muestreo minutos	Peso de filtro		Material colectado gramos	Temperatura °C	Altura del agua		Pf mm. Hg	Presión Po/Pa	Flujo real tabla Qa (m³/min)	Flujo estándar Qstd (m³/min)	Volumen estándar Qstd (m³)	Volumen estándar Qstd (m³/día)	ug/m³
				gramos	gramos			pulgadas	pulgadas							
E-7	260	Junio de 2016	1200	3.53211	3.86193	0.3298	25.0	14.3	27.43	0.964	1.180	1.187	1.187	1424.222	1709.07	232
							20.0	15.1								
	272		1200	3.54228	3.79383	0.2516	20.0	11.0	21.09	0.972	1.188	1.201	1.201	1441.193	1729.43	175
							22.0	11.6								
	274		1200	3.53929	3.88622	0.3469	22.0	15.0	28.55	0.962	1.178	1.185	1.185	1421.506	1705.81	244
							23.0	15.6								
	298	Julio de 2016	1200	3.53243	3.79945	0.2670	21.0	15.0	28.93	0.962	1.180	1.195	1.195	1433.623	1720.35	186
							20.0	16.0								
	300		1200	3.52506	3.70462	0.1796	20.0	14.0	27.53	0.964	1.186	1.193	1.193	1431.464	1717.76	125
							25.0	15.5								
	302		1200	3.55960	3.67478	0.1152	25.0	12.3	23.61	0.969	1.195	1.196	1.196	1435.042	1722.05	80
							23.0	13.0								

Fuente: Programa de monitoreo ambiental de evaluación de polvos suspendidos, con equipo muestreador de alto volumen High-Vol PM10, SHP.

Tabla 5. Evaluación de polvos suspendidos en setiembre, octubre y noviembre de 2016.

ESTACIÓN	Filtro n.º	Mes	Tiempo de muestreo Minutos	Peso de filtro		Material colectado gramos	Temperatura °C	Altura del agua		Pf mm. Hg	Presión Po/Pa	Flujo real tabla Qa (m³/min)	Flujo estándar Qstd (m³/min)	Volumen estándar Qstd (m³)	Volumen estándar Qstd (m³/día)	ug/m³
				gramos	gramos			pulgadas	pulgadas							
E-7	365	Setiembre de 2016	1200	3.59187	3.83908	0.2472	26.0	15.4	29.30	0.961	1.171	1.162	1.162	1394.185	1673.02	177
							27.0	16.0								
	371		1200	3.60071	3.79335	0.2000	27.0	9.5	23.89	0.968	1.180	1.169	1.169	1402.859	1683.43	143
							27.0	16.1								
	376		1200	3.59332	3.66239	0.0691	27.0	16.1	30.70	0.959	1.169	1.156	1.156	1386.875	1664.25	50
							28.0	16.8								
	410	Octubre de 2016	1200	3.55996	3.69316	0.1332	23.0	14.7	28.18	0.963	1.176	1.177	1.177	1412.225	1694.67	94
							25.0	15.5								
	413		1200	3.5604	3.86348	0.3031	25.0	15.5	29.02	0.962	1.179	1.170	1.170	1404.010	1684.81	216
							28.0	15.6								
	416		1200	3.56261	3.84775	0.2851	28.0	15.6	25.75	0.966	1.187	1.172	1.172	1406.492	1687.79	203
							28.0	12.0								

Fuente: Programa de monitoreo ambiental de evaluación de polvos suspendidos, con equipo muestreador de alto volumen High Vol PM10, SHP.

el fin de conocer los resultados en cuanto a la disminución de la contaminación ambiental en ese sector desde la perspectiva del trabajador de la planta.

Tabla 6. Disminución de la contaminación en el medio ambiente en área de chancado del sector beneficio San Nicolás de la empresa Shougang Hierro Perú S. A. A.

Categorías	Rangos		
Bajo	[0-2>	2	13%
Regular	[2-4>	4	27%
Alto	[4-6]	9	60%
TOTAL		15	100%
\bar{X}		5.27	
S		2.07	

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos de la aplicación del cuestionario sobre la disminución de la contaminación ambiental.

Interpretación

Es importante mantener la revisión y seguimiento de fluctuación de los valores de la cantidad de polvo presente en el aire, de modo que no se alcancen los niveles críticos de 10 mg/m³ para la fracción de polvo inhalable y de 3 mg/m³ de polvo respirable (artículo 86 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, 2012). En lo que respecta a los resultados mostrados en las Tablas 4, 5 y 6 de los polvos suspendidos producto del monitoreo durante el periodo 2016, mediante el programa ambiental y usando el equipo para muestrear alto volumen High Vol PM10 (partículas con radio 5 micras o menos), estos arrojaron valores dentro del rango de 60 a 350 µg/m³ por día, con un promedio de 190 µg/m³ por día.

Los hallazgos contrastan que el sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro es eficiente para la reducción del límite máximo permisible de calidad ambiental de 350 µg/m³ (dentro de las instalaciones de la empresa) y la exposición ocupacional a partículas de polvo respirable de 3 mg/m³ y 10 mg/m³ de polvo inhalable en el área de estudio. El valor de 350 µg/m³ puede ser encontrado e, inclusive, superado en la entrada de la planta donde se tratan los materiales particulados para la minimización de la cantidad de polvo.

En la Tabla 6, se observa que 2 trabajadores, que representan el 13% de la muestra de estudio, perciben que existe una baja disminución de la contaminación del medio ambiente en la zona en estudio de la citada empresa minera; 4 trabajadores, que representan el 27%, perciben que existe una regular disminución de la contaminación del medio ambiente; y 9 trabajadores, que representan el 60%,

perciben que existe una alta disminución de la contaminación del medio ambiente.

Se determinó, a la vez, una media aritmética de 5.27 puntos, que señala una alta disminución de la contaminación en el área de estudio. Asimismo, se ha establecido una desviación estándar con una variación en ± 2.07 con relación a la media aritmética, lo que demuestra que los datos son consistentes.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los productos adquiridos de la indagación, se infirió que el sistema de mitigación de polvo de hierro es eficiente en lograr la minimización de la contaminación ambiental y exposición ocupacional.

1. Se ha determinado la eficacia del mencionado sistema.
2. Con el sistema implementado se ha reducido la exposición del personal en el interior del área de chancado al material particulado, sin exceder los límites del polvo respirable (3 mg/m³) ni los límites del polvo inhalable (10 mg/m³).
3. Se ha verificado la reducción del límite máximo permisible para la calidad de aire de 500 µg/m³ en las instalaciones de la planta chancadora.
4. Se ha demostrado la posibilidad de reducción de registro de enfermedades ocupacionales en los trabajadores.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y, en especial, a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de dicha institución, por ofrecer oportunidades de superación profesional.

A nuestros asesores, el Dr. Oscar Tinoco Gomez y el Dr. Vidal Aramburú Rojas, por su apoyo y consejos en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aguilar, L. (2006). *Contaminación ambiental*. Recuperado de <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com>.
- [2] Anguita, F. y Moreno, F. (1993). *Procesos geológicos externos y geología ambiental*. Madrid, España: Rueda.
- [3] Bartual, J. y Berenguer, M. J. (2001). *NTP 607: Guías de calidad de aire interior*:

- contaminantes químicos*. Madrid, España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo / Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Recuperado de https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_607.pdf/0c6960b6-b461-4d21-9757-e4ea03004327.
- [4] Campos, I. (2000). *Saneamiento ambiental*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- [5] Castillo, H. (2008). *Influencia antropogénica minera sobre la especie endémica Batrachophrynus macrostomus Peters, 1873 en peligro de extinción del lago Chinchaycocha (Pasco, Junín), 2007*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5903/Tesis%20Doctorado%20-%20HtIser%20Castillo%20Paredes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [6] García, A. y Fernández, R. (6 de diciembre de 2008). *Decreto Supremo n.º 007-2008-MINAM. Aprueban Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente*. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_007-2008-minam.pdf.
- [7] Glave, M. y Kuramoto, J. (2002). Minería, minerales y desarrollo sustentable en Perú. En Equipo MMSD América del Sur, *Minería, minerales y desarrollo sustentable en América del Sur* (pp. 529-591). Londres, Reino Unido: Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente / Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo / Iniciativa de Investigación sobre Políticas Mineras.
- [8] Herrera, P. y Millones, O. (2011). *¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú? Informe final*. Lima, Perú: Consorcio de Investigación Económica y Social / Departamento de Economía de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/FF88A00731054C670525797A006117B0/\\$FILE/Informe_Final_Costo_Economico_de_la_contaminacion_en_los_recursos_Hidrico.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/FF88A00731054C670525797A006117B0/$FILE/Informe_Final_Costo_Economico_de_la_contaminacion_en_los_recursos_Hidrico.pdf).
- [9] Hokama, D. (16 de julio de 1996). *Resolución Ministerial n.º 315-96 EM/VMM. Niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas*. Recuperado de <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/publicaciones/compendio99/rm315-96.pdf>.
- [10] Humala, O. y Villena, P. (20 de agosto de 2011). *Reglamento de la ley n.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Decreto Supremo n.º 005-2012-TR*. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/seguridad-y-salud/reglamento-ley29783.pdf>.
- [11] Humala, O. y Villena, J. (25 de abril de 2012). *Decreto Supremo n.º 005-2012-TR. Reglamento de la Ley n.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/reglamento-de-la-ley-n-29783-ley-de-seguridad-y-salud-en-e-decreto-supremo-n-005-2012-tr-781249-1/>.
- [12] Martínez, C., Quero, A., Isidro, J. y Rego, G. (2001). Enfermedades pulmonares profesionales por inhalación de polvos inorgánicos. *Jano*, 61(1397), 34-39.
- [13] Medina, F. (2008). *Inventario de pasivos ambientales mineros*. Lima, Perú: Proyecto de Reforma del Sector de Recursos Mineros del Perú.
- [14] Ministerio de Energía y Minas (10 de diciembre de 1993). *Reglamento sobre protección del medio ambiente. Decreto Supremo n.º 059-93-EM*. Recuperado de http://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=4&idLegislacion=5272.
- [15] Moraga, P., Rivera, L. y Soto, M. (2013). *Evaluar y proponer la disminución de material particulado en la planta de chancado secundario-terciario en división El Teniente de Codelco Chile*. (Tesis de grado). Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Chile. Recuperado de <http://bibliotecadigital.academia.cl/handle/123456789/1236>.
- [16] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). *Cartilla del abc de la fiscalización ambiental*. Lima, Perú: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Recuperado de <https://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/Brochure%20EI%20ABC%20de%20la%20fiscalizacion%20ambiental.pdf>.
- [17] Vega, D. (2007). El origen de polvos y su mitigación en la minería. Trabajo de investigación. *Monografias.com*. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos53/contaminacion-polvos-mineria/contaminacion-polvos-mineria.shtml>.
- [18] Warner, P. (1981). *Análisis de los contaminantes del aire*. Madrid, España: Paraninfo.