

ARTÍCULOS

Exposición a monóxido de carbono en labores subterráneas en trabajos de remediación Zaruma

Exposure to carbon monoxide in underground workings at Zaruma remediation works

Acurio-Rivera, Alexandra Pamela



Alexandra Pamela Acurio-Rivera



apame23@gmail.com

Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Proyecto remediación superficial y de galerías subterráneas. El Oro, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 17, núm. 1, 2024

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 27 octubre 2023

Aprobación: 26 enero 2024

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v17i1.5719>

Agradecimiento

Agradecimiento al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Zaruma, institución que ha realizado las gestiones para la remediación parcial de su ciudad, al Cuerpo de Ingenieros del Ejército institución que realizó las obras de remediación en las etapas I, II, III.

Autor de correspondencia:

apame23@gmail.com



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar: Acurio-Rivera, A. P. (2024). Exposición a monóxido de carbono en labores subterráneas en trabajos de remediación Zaruma. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 17(1), 77-86. <https://doi.org/10.29166/revfig.v17i1.5719>

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las galerías subterráneas de Zaruma, ciudad ubicada en la Provincia de El Oro al Sur Oeste del Ecuador. Zaruma es una ciudad que ha sido explotada desde los años 1500, el casco urbano se asienta sobre un enjambre de vetas enriquecidas con oro, la explotación antitécnica ha provocado la aparición de hundimientos en la superficie de la ciudad, con la emergencia sucedida en diciembre del 2021, se realizó la remediación parcial que corresponde al relleno de la galerías y construcción de tapones con la finalidad de evitar colapsos en el casco urbano, para la ejecución de las obras de remediación se requirió de mano de obra, operarios quienes ingresaron a las labores subterráneas en las que se detectaron monóxido de carbono (CO), el objetivo evaluar los efectos en la salud en relación a los niveles de exposición a monóxido de carbono. Se ha aplicado una metodología de investigación no experimental, de corte transversal, descriptivo, con una muestra de quince trabajadores operativos interior mina, se realizó mediciones de monóxido de carbono en las labores mineras y se aplicó entrevistas de sintomatología a los operarios tomando aspectos de edad y tiempo de exposición. Los resultados describen que los operarios presentaron síntomas: cefaleas, náuseas, fatiga, debilidad, la severidad de los síntomas está en función del tiempo y concentración de CO. Se concluye que la exposición a CO en concentraciones altas por un periodo de tiempo causa intoxicación, siendo la cefalea el síntoma que se presenta como el más frecuente.

Palabras claves: monóxido; carbono; minería; salud; Zaruma.

ABSTRACT

The present research work was carried out in Zaruma's underground workings, a city located in the province of El Oro in the southwest of Ecuador. Zaruma is a city that has been exploited since the 1500's, the urban center sits on a swarm of veins enriched with gold, the antitechnical exploitation has caused the appearance of sinkholes on the surface of the city, with the emergency that occurred in December 2021, partial remediation was carried out corresponding to the filling of the galleries and construction of plugs in order to avoid collapses in the urban area, for the execution of the remediation work required manpower, workers who entered the s underground galleries in which carbon monoxide (CO) was detected, the objective was evaluated the health effects based on the levels of exposure to carbon monoxide. The research methodology is a non-experimental, cross-sectional, descriptive study,

with a sample of fifteen workers operating inside the mine, carbon monoxide measurements were taken in the mine workings and symptomatology interviews were applied to the workers taking aspects of age and time of exposure. The results describe that the operators presented symptoms: headaches, nausea, fatigue, weakness; the severity of the symptoms is a function of time and CO concentration. It's concluded that exposure to CO in high concentrations for a period of time causes intoxication, with headache being the most frequent symptom.

Keywords: *monoxide; carbon; mining; health; Zaruma.*

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad que se ha practicado desde los inicios de la humanidad, y se ha convertido con el paso del tiempo en una de las industrias esenciales para el desarrollo económico de las naciones, debido a los eminentes beneficios que conciben a la sociedad a nivel mundial (López Valdivia, 2022). Dentro de las actividades de alto riesgo laboral se encuentra la minería subterránea, los trabajadores se encuentran expuestos a múltiples factores de riesgo como físicos por la exposición a vibración, iluminación deficiente, temperaturas extremas, químicos por exposición a gases, vapores, polvos, entre otros; la investigación de Galvis-Ocampo, Oviedo-Rubiano y Franco-Sepúlveda (2021) refiere que en minería subterránea la principal variable de incidencia en las estadísticas de emergencias y fatalidades de las minas de Colombia, se evidencia como causas principales: derrumbe, atmósfera viciada y explosión. La presente investigación se enfoca en establecer los efectos en la salud de los operarios expuestos a monóxido de carbono en los trabajos de remediación del casco urbano de Zaruma, cuyos minerales han sido explotados en el interior de la tierra a través de túneles horizontales o verticales, labores que corresponden a minería subterránea. En operaciones subterráneas, cada mina es diferente en todas se requiere conseguir un entorno de trabajo seguro y un funcionamiento rentable; para la correcta elección del método de explotación depende de la forma, el tamaño de la veta, el valor de los minerales contenidos, la composición, estabilidad, fuerza del estrato rocoso, demanda de producción y condiciones de seguridad del trabajo (Herrera Herbert, 2020).

Para Calizaya (2022) la operación eficiente y segura de una mina subterránea depende en gran medida del sistema de ventilación, que consiste de varias excavaciones subterráneas, ventiladores y controles de ventilación; galerías, rampas, chimeneas y pozos, son utilizadas para conducir el aire fresco a los centros de trabajo y expulsar el aire contaminado a la superficie.

Mainiero, Harris y Rowland (2007) aseguran que la excavación de labores subterráneas genera gases tóxicos cuando se realizan la rotura de la roca con el método de perforación y voladura. Los contaminantes gaseosos liberados inmediatamente después de la voladura son principalmente monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

El monóxido de carbono no produce irritación, de ahí su peligrosidad, cuando una persona respira aire contaminado con monóxido de carbono, este gas entra a los pulmones y se transfieren al sistema sanguíneo, provocando la falta de oxígeno en el cuerpo, incluyendo el cerebro (Vega-Luna, Lagos-Acosta y Salgado-Guzmán, 2017, p.74). La concentración de CO en el aire del ambiente se mide en partes por millón (ppm). Cuando una persona está expuesta a CO puede presentar diversos efectos dependiendo de la concentración del gas. La exposición laboral crónica a CO en los trabajadores expuestos se constituye en un factor de riesgo importante para el desarrollo de alteraciones cardiovasculares y neuropsicológicas (Mayorga Ruge, 2019). La inhalación regular de pequeñas concentraciones de CO es responsable de una encefalopatía mínima, en ocasiones reversible que presenta clínicamente: astenia física y psicológica, bajo rendimiento laboral e intelectual, trastornos del sueño, cefaleas de todo tipo y vértigos con trastornos de la estabilidad (Saravi, Torolla y Fernández, 2018, p. 64). Los síntomas neurológicos, junto con los trastornos digestivos (náuseas, vómitos y diarrea), suelen dominar el cuadro clínico de la intoxicación aguda por CO (Crespo *et al.*, 2001, p. 1047). Otros síntomas menos frecuentes destacan, dolor en el pecho, disnea, isquemia cardiaca, acidosis metabólica y convulsiones, la manifestación de múltiples síntomas es causa de preocupación, ya que se pueden desarrollar estados de síncope y pérdida de la conciencia, si no se manejan oportunamente conducen a la muerte (Jiménez *et al.*, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Zaruma se encuentra ubicada en la Provincia de El Oro, al sur oeste del Ecuador como se representa en la figura 1, a una altura de 1200 metros sobre el nivel del mar. El cantón Zaruma es parte de uno de los distritos mineros vetiformes más productivos de oro del sur del Ecuador, su explotación data de la colonia, hace 424 años (Burbano Morillo *et al.*, 2021). El desarrollo económico de esta ciudad se basa fundamentalmente en la actividad minera, de esta depende directa e indirectamente el 65% de la población económicamente activa. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de explotación y procesos para la extracción del mineral se realizan de forma antitécnica, desde finales de los años 70 se explotaron minas abandonadas por las compañías SADCO y CIMA (Oliva González, Ruiz Pozo y Gallardo Amaya, 2017).

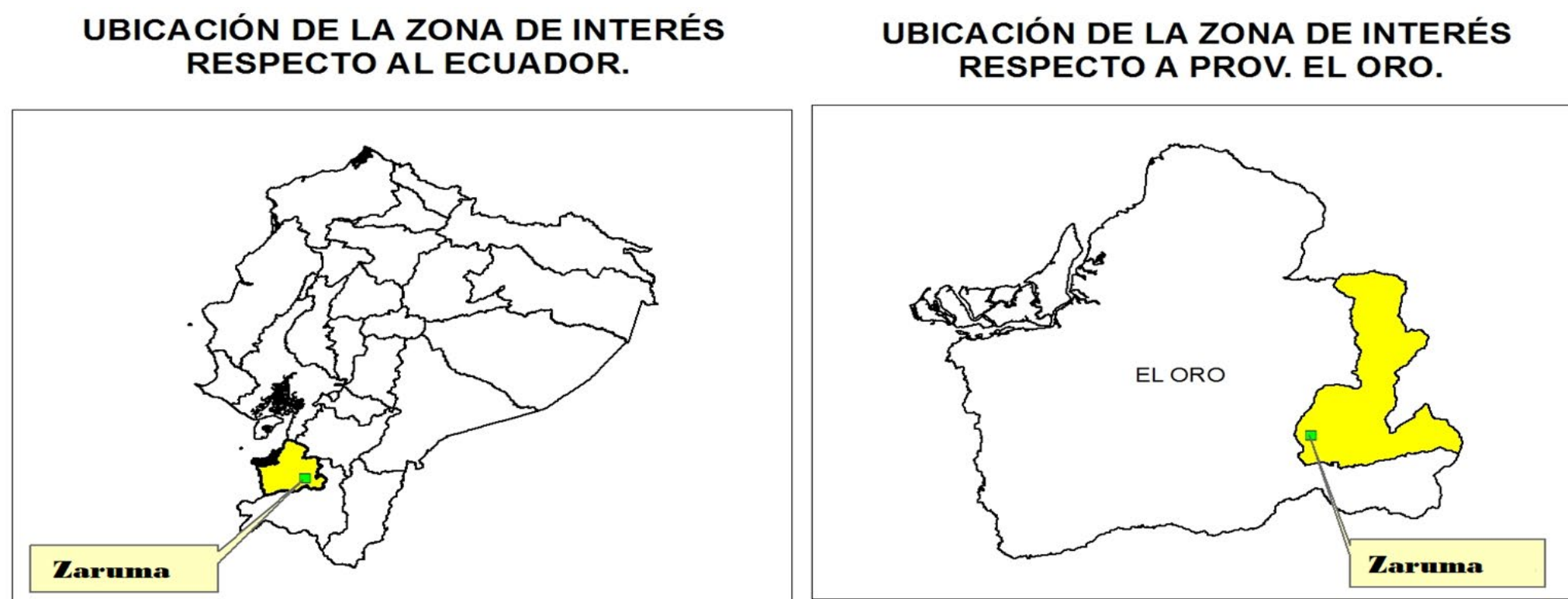


FIGURA 1
Ubicación geográfica de Zaruma

En Zaruma, desde el año 2016 se avistan hundimientos de la superficie terrestre que afectan a esta ciudad y ponen en riesgo la vida de sus habitantes. Burbano *et al.* (2021) mencionan que los recursos minerales dejados por la compañía CIMA, y el colchón de seguridad dejado por la SADCO han sido aprovechados, ocasionando que la extracción del recurso mineral ascienda a la superficie de manera indiscriminada, provocando la inestabilidad del estrato rocoso de la ciudad de Zaruma asociado con factores como litología, meteorización, cargas estáticas y dinámicas, voladuras, infiltraciones, acelera los fenómenos de subsidencia hasta producirse la chimenea de colapso por debajo de la escuela La Inmaculada, al no controlarse la explotación irracional en el casco urbano de Zaruma se presentan nuevas subsidencias. El 15 de diciembre del 2021, se produjo un hundimiento en esta ciudad, el desplazamiento vertical, corresponde a labores mineras subterráneas, construidas a pocos metros de profundidad desde la superficie, con un perfil del subsuelo compuesto de arcillas de estratos entre 15 y 25 metros sobre capas de roca de bajas características geomecánicas (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2021); como consecuencia este último hundimiento el Gobierno de la República del Ecuador del Sr. Guillermo Lasso Mendoza mediante Decreto Ejecutivo No. 296 de 17 diciembre de 2021, declaró el estado de excepción por calamidad pública en Zaruma, debido a los hundimientos ocurridos a causa de la actividad minera ilegal. Dentro del citado decreto ejecutivo, deja constancia que los trabajos de remediación, encárguese, entre otros al Ministerio de Gobierno, Ministerio de Defensa Nacional, así como al Cuerpo de Ingenieros del Ejército (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2021). Para realizar los trabajos de remediación en el sector de hundimiento del casco urbano de Zaruma, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Zaruma y el Cuerpo de Ingeniero del Ejército firman el contrato RE-CEP-GZAR-01-2022 denominado remediación de galerías subterráneas (SERCOP, 2022).

Los trabajos de remediación consisten en la construcción de by passes, ductos, tapones y relleno de hormigón desde la superficie hasta varios puntos interior mina, para este estudio el lugar de investigación se centra en el subsuelo, específicamente el sector Medalla Milagrosa en la cota 1100 ms.n.m.; para realizar los trabajos de construcción se requiere de mano de obra, si se tiene en cuenta los procesos que se realizan en el ámbito de minería, en su mayoría por no decir en su totalidad, hacen que su personal se encuentre sujeto a sufrir algún daño, ya sea de menor o mayor importancia (Florez Salas *et al.*, 2022). Los operarios ingresan a las labores subterráneas cuyas condiciones de ventilación e infraestructura no son las más favorables y un gas altamente tóxico que no puede ser detectado por el ser humano y que causa daños en la salud es el monóxido de carbono. Saravi, Torolla y Fernández (2018) afirman que el monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico, incoloro, inodoro, conocido como "el asesino silencioso", forma parte de gases asfixiantes químicos y aun cuando es considerado como un gas potencialmente peligroso, el riesgo

de sufrir una intoxicación por CO frente a una exposición es subestimada.

El diseño de la metodología obedece al método investigación no experimental, de corte transversal, descriptivo, que tiene como objetivo realizar un análisis de las manifestaciones de signos y síntomas por intoxicación por monóxido de carbono en relación al nivel de exposición.

Para este estudio, se toma como estrategia de medición de monóxido de carbono la medición de punto fijo, colocando el equipo portátil detector de CO ET110 Klein Tool® en el mismo lugar cada hora a partir de las 8H00 hasta las 13h00 durante los días comprendidos del 12 al 16 de diciembre del 2022, el lugar de análisis corresponde al denominado "Medalla Milagrosa" como se muestra en la figura 2 que refiere al esquema de excavaciones mineras en el centro de la ciudad de Zaruma.

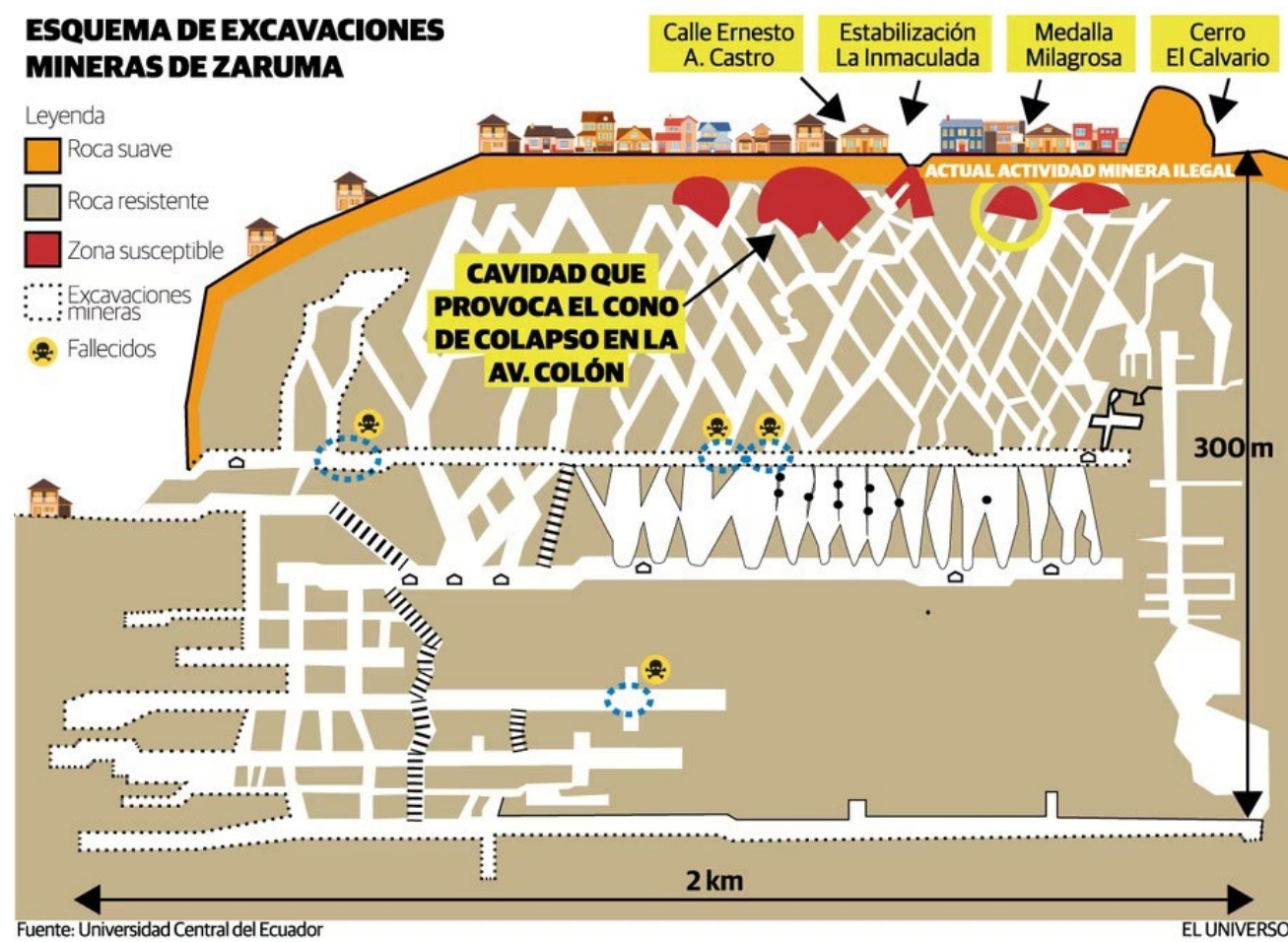


FIGURA 1
Esquema de excavaciones mineras en Zaruma

Fuente: El Universo (2021)

Para llevar a cabo el estudio, se recopilaron y analizaron las mediciones en campo de los niveles de monóxido de carbono, además de las encuestas realizadas a los operarios expuestos a este gas y entrevistas in situ.

Efectuada la medición de CO se realiza la entrevista, técnica que consiste en recoger información mediante un proceso directo de comunicación en el que el entrevistado describe los signos y síntomas que presentó en el lugar de estudio, esta técnica se apoya con la encuesta, método empírico complementario de investigación que aplica la elaboración de un cuestionario previamente elaborado, a través del cual se puede conocer la valoración del sujeto (Pascual, Rodríguez y Palacios, 2021); la entrevista y la encuesta a los operarios está construida en base al cuadro de intoxicación por CO que se manifiesta con signos y síntomas que se pueden agrupar como se muestra en la tabla 1.

TABLA 1
Clasificación por síntomas de la intoxicación por monóxido de carbono

Severidad	Signos y síntomas
Leve	Astenia, debilidad, malestar general, cefalea, mareo, confusión, desorientación, visión borrosa, náusea, vómito.
Moderada	Ataxia, síncope, taquipnea, disnea, palpitaciones, dolor torácico.
Severa	Hipotensión, arritmias, isquemia miocárdica, coma, depresión respiratoria, edema agudo pulmonar no cardiogénico, crisis convulsivas, paro respiratorio.

Fuente: Hernández Bello, Figueroa-Uribe y Hernández-Ramírez (2022)

Se cuenta como población de estudio: quince operarios de Cuerpo de Ingeniero del Ejército, para el estudio se ha segmentado en edades quienes realizan su ingreso diario a las labores mineras con su respectivo equipo de protección personal en que incluye una mascarilla media cara con filtros. La información recogida en la entrevista a los operarios expuestos a monóxido de carbono quienes presentan diversos efectos dependiendo de la concentración del gas, como se indica en la tabla 2.

TABLA 2
Concentraciones de CO y efectos en el ser humano

Concentración CO (ppm)	Efectos
50	Nivel de exposición admisible durante 8 horas.
200	Dolor de cabeza moderado después de 2 horas.
400	Dolor de cabeza y náuseas después de 1 o 2 horas.
800	Dolor de cabeza, mareos y náuseas después de 45 minutos. Descompensación y riesgo de muerte después de 2 horas.
1600	Dolor de cabeza, mareos y náuseas después de 20 minutos. Descompensación y riesgo de muerte después de 1 hora.
3200	Dolor de cabeza y mareos después de 5 a 10 minutos. Pérdida de conciencia y riesgo de muerte después de 30 minutos.
6400	Dolor de cabeza y mareos después de 1 a 2 minutos. Pérdida de conciencia y riesgo de muerte después de 10 a 15 minutos.
12 800	Efectos inmediatos, pérdida de conciencia. Riesgo de muerte después de 1 a 3 minutos.

Fuente: Vega-Luna, Lagos-Acosta y Salgado-Guzmán (2017)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se tomaron un total de 36 mediciones, 6 mediciones diarias por intervalo de 1 hora para cubrir la jornada laboral como se describe en la tabla 3.

TABLA 3
Mediciones de monóxido de carbono (ppm)

Fecha/hora	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00
12 de diciembre del 2022	230	180	135	70	40	27
13 de diciembre del 2022	245	188	146	65	46	25
14 de diciembre del 2022	221	170	140	55	50	24
15 de diciembre del 2022	235	180	125	87	40	25
16 de diciembre del 2022	215	194	134	75	36	26

Los resultados determinan que las horas de máxima concentración corresponde a 08h00 y 09h00 que conciernen a la acumulación de monóxido de carbono por ausencia de ventilación. Los valores son superiores a los reportados en estudios realizados en minas de carbón de Tópoga-Colombia, según las mediciones del estudio el valor máximo del CO es 30 ppm (Torres-Sandoval y Murcia-Hurtado, 2021). Así como en la investigación de Ayaz *et al.* (2022) refieren que en las minas de carbón de Balochistán - Pakistán presentan niveles de concentración de monóxido de carbono en el rango de 38.7- 48.9 ppm.

En la presente investigación, los resultados muestran que el monóxido de carbono disminuye a medida que pasa el tiempo como se observa en la figura 3, esta disminución ocurre cuando se introduce aire como parte de la ventilación, tal como mencionan Heriyadi y Zakri (2021), el sistema de ventilación de la mina en las operaciones subterráneas de minería de carbón es como la circulación sanguínea en el cuerpo humano, una correcta ventilación permite al trabajador sentirse más seguro.

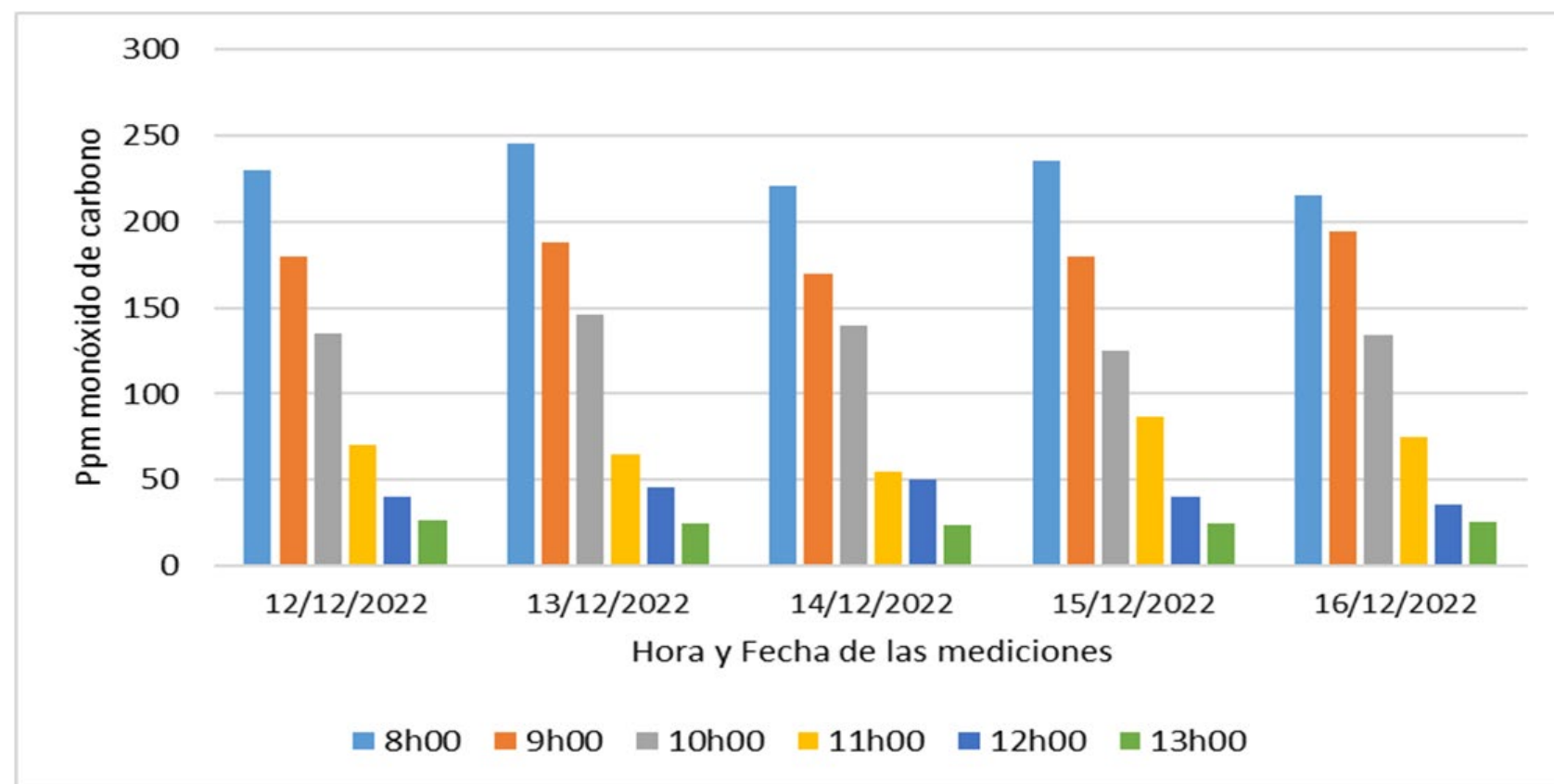


FIGURA 3

Concentración de monóxido de carbono (ppm) según hora y fecha de medición

La distribución de los signos y síntomas con severidad leve y moderada planteados en la entrevista a los operarios se muestra en la tabla 4.

TABLA 4
Frecuencia de síntomas

Síntoma	F	FR%	Síntoma	F	FR%
Cefaleas	106	64,24	Confusión	0	0
Náuseas	26	15,76	Visión borrosa	0	0
Fatiga	16	9,7	Síncope	0	0
Debilidad	17	10,3	Taquipnea	0	0
Vómito	0	0	Disnea	0	0
Astenia	0	0	Dolor torácico	0	0
Total	165	100			

Los operarios experimentaron síntomas como cefaleas, náuseas, fatiga y debilidad. Sin embargo, no se observaron interacciones para los síntomas de vómito, visión borrosa, confusión y astenia. Además, tampoco se presentaron síntomas de severidad moderada. Según los resultados la cefalea es el síntoma más frecuente (Figura 4). Todos los seres humanos estamos expuestos al CO en diferentes concentraciones, sin embargo, inhalarlo en grandes cantidades puede ser mortal, como lo afirma Chavarría Segura (2023) una vez que se inhala el CO, no produce lesión a nivel local,

sino que se absorbe hacia la sangre, ejerciendo su efecto a nivel sistémico. Se une fuertemente a la hemoglobina, con una afinidad muy superior a la del oxígeno, formándose carboxihemoglobina (COHb) conllevando a la intoxicación de CO.

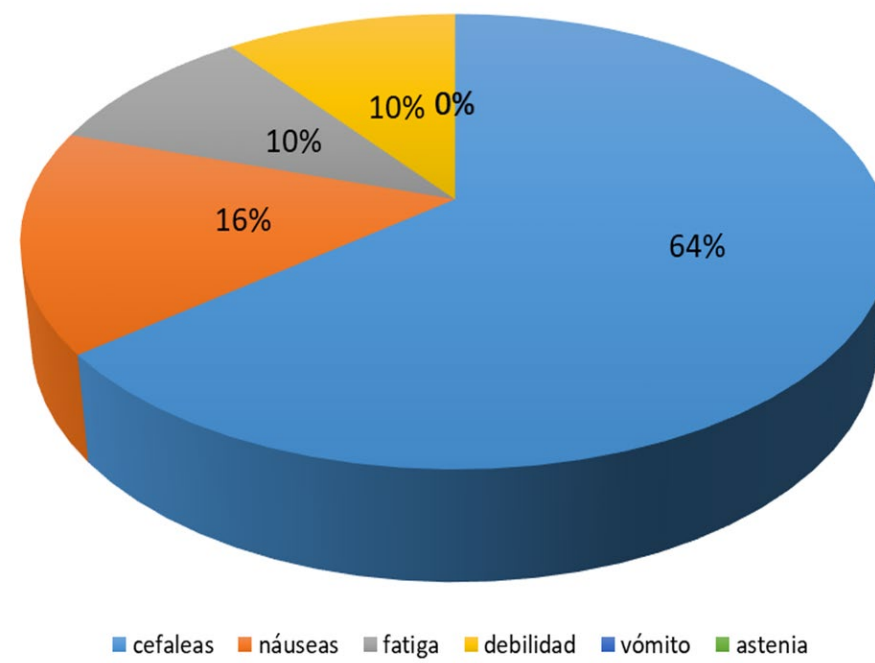


FIGURA 4

Porcentaje de síntomas presentados a la exposición de monóxido de carbono

La población de estudio está compuesta por quince operarios de diferentes edades, como se muestra en la tabla 5.

TABLA 5

Descripción de los operarios por edad y sexo

Grupo	Femenino	Masculino
18 - 25 años	0	1
26 - 35 años	0	6
36 - 45 años	0	6
46 - 55 años	0	2

Los resultados obtenidos no evidencian una correlación entre los efectos en la salud y la edad de los operarios. La toxicidad del monóxido de carbono (CO) está determinada por la concentración en el aire y el tiempo de exposición. Según Tortorella y Laborde (2021), concentraciones de 200 ppm de CO en el aire causan cefaleas después de dos horas de exposición, mientras que concentraciones de 400 ppm provocan los mismos síntomas en tan solo una hora. La figura 5 muestra la relación entre la edad y la incidencia de los síntomas causados por la exposición al monóxido de carbono.

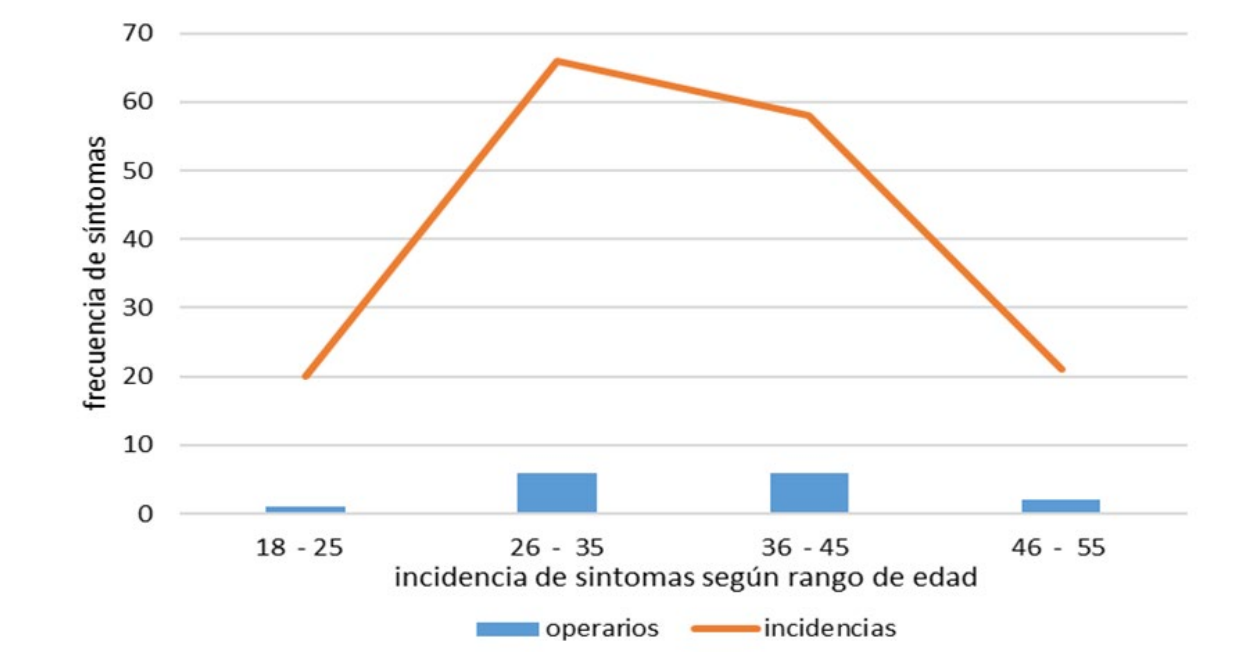


FIGURA 5

Rango de edad y número de incidencias por exposición a CO

La manifestación de los síntomas se relaciona con niveles de CO que superan los 200 ppm. Si un operario permanece en el área durante más de 2 horas, es probable que experimente cefaleas. Sin embargo, la intensidad de este síntoma disminuye a medida que la concentración de CO en el aire disminuye. Esto se debe a que la eliminación del monóxido de carbono se produce a través de la respiración. En personas sanas que respiran aire ambiente, la vida media del monóxido de carbono es de aproximadamente 5 horas, y esta disminuye a medida que aumenta la presión parcial de oxígeno en el aire inhalado (Zaragoza et al., 2021, p. 895), el estudio muestra que existen efectos en la salud de los trabajadores cuando se superan los límites de exposición PEL de OSHA - TWA de 50 ppm de CO (NIOSH, 2017). La exposición al monóxido de carbono tiene efectos negativos en la salud de los trabajadores, lo cual aumenta los costos asociados a la salud. Ayaz et al. (2022) describen en su estudio que niveles más altos de concentración de CO en las minas de carbón resultan en un mayor riesgo de daños musculoesqueléticos y un aumento en los costos directos de salud.

Según la investigación de Chavarría Segura (2023), se describe el caso de una víctima que, en horas de la mañana, mientras se encontraba en una mina, ocurrió una aparente fuga de gas tóxico. Esta fuga se originó debido a la remoción de material en el interior del túnel. Posteriormente, la víctima experimentó pérdida de la conciencia. Al ser sacada del túnel, ya no mostraba signos vitales. La causa de su muerte fue catalogada como un accidente laboral debido a la intoxicación por monóxido de carbono.

Es evidente que la remediación integral del casco urbano de Zaruma debe llevarse a cabo a corto plazo. Con base en los resultados obtenidos, se pueden proponer alternativas para reducir la concentración de monóxido de carbono, como la implementación de sistemas de ventilación en las operaciones subterráneas antes de continuar con dichos trabajos. Esto se debe a que las consecuencias de la intoxicación por monóxido de carbono podrían ser fatales

CONCLUSIONES

La explotación irracional ha causado el deterioro del macizo rocoso, y las prácticas antitécnicas han provocado una deficiencia en el suministro de aire. Durante los trabajos de remediación en Zaruma, es común encontrar la presencia recurrente de monóxido de carbono. Los trabajadores expuestos a este gas durante estas labores presentan múltiples síntomas, los cuales disminuyen a medida que se introduce aire fresco.

El presente estudio aborda el efecto que la exposición al monóxido de carbono tiene en la salud humana. La exposición a concentraciones altas de CO durante un período prolongado provoca la manifestación de síntomas de intoxicación por monóxido de carbono, siendo la cefalea el síntoma más frecuente. La gravedad de los síntomas depende del tiempo y la concentración de exposición.

La industria minera, como parte de su sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional, debe implementar monitoreo continuo de la calidad del aire, especialmente en relación a los proyectos de ventilación de las minas, ya que esto es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores. Los organismos estatales deben fortalecer las estrategias destinadas a prevenir y mitigar el impacto de las atmósferas deficientes en la calidad del aire a las que están expuestos los mineros.

REFERENCIAS

- Ayaz, M., Jehan, N., Nakonieczny, J., & Mentel, U. (2022) Health costs of environmental pollution faced by underground coal miners: Evidence from Balochistan, Pakistan. *Resources Policy*, 76, 102536. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102536>
- Burbano Morillo, D. S., Rivadeneira Gallardo, A. M., Cerón Uquillas, A. A., & García Fonseca, T. E. (2021) Análisis tenso-deformacional de las obras de remediación implementadas para estabilizar la subsidencia minera bajo la Escuela La Inmaculada, Zaruma-Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 12(2), pp. 1-14. <https://doi.org/10.29166/revfig.v12i2.3054>
- Calizaya, F. (2022) Instalación de ventiladores y controles de ventilación en minas metálicas. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 7(1), pp. 21-31. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522022000100002&lng=es&tlng=es.
- Chavarría Segura, M. (2023) Aspectos por considerar en autopsias por intoxicación aguda con monóxido de carbono, el asesino silente. A propósito de dos casos. *Medicina Legal de Costa Rica*, 40(2), pp. 14-20.

- Crespo, J. M., Sesar, A., Misa, M. J., Requena, I., & Arias, M. (2001) Pseudomigraña como manifestación de intoxicación por monóxido de carbono. *Rev Neurol.*, 32(11), pp. 1047-1048. <https://doi.org/10.33588/rn.3211.2001020>
- El Universo (2021) *Tres sectores en riesgo se han identificado en el centro de Zaruma a causa de la minería ilegal*. <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/tres-sectores-en-riesgo-se-han-identificado-en-el-centro-de-zaruma-a-causa-de-la-mineria-ilegal-nota/> (Accedido: 18 junio 2023)
- Florez Salas, J. L. T., Quino Villanueva, G., Ramos Saira, E. M., & Condori Paucar, C. M. (2022). Identificación de componentes y herramientas para la gestión de seguridad del título III del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería que influyen en la mejora de la gestión de riesgos laborales de la actividad minera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), pp. 2566-2595. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2404
- Galvis-Ocampo, Y. T., Oviedo-Rubiano, N. E., y Franco-Sepúlveda, G. (2021) Emergencias y fatalidades mineras subterráneas en Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (50), pp. 77-84. <https://doi.org/10.15446/rbct.n50.95596>
- Heriyadi, B., y Zakri, R. S. (2021) Evaluation and Analysis of Needs for Air Ventilation Systems in Underground Coal Mine (Case Study in Underground Coal Mine, Sawahlunto City). *Journal of Physics: Conference Series*, 1940 (1), p. 012077. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012077>
- Hernández Bello, C. Y., Figueroa-Uribe, A. F., y Hernández-Ramírez, J. (2022) Asfixiantes bioquímicos: Monóxido de Carbono y Cianuro. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 22(3), pp. 614-624. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v22i3.4928>
- Herrera Herbert, J. (2020) *Introducción a la Minería Subterránea. Vol. IV: Métodos de explotación de interior*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.62726>.
- Jiménez, R. C., Verbel, D. M., Galiz, J. M., Almeida, E. C., Verbel, J. B., Cueto, E. R., y Lázaro, J. M. (2022) Manifestaciones clínicas de la intoxicación por monóxido de carbono en la Edad Pediátrica. *Portal de las Palabras*, 8, pp. 4-8. <https://revistas.curn.edu.co/index.php/portaldelaspalabras/article/view/2268>
- López Valdivia, D. (2022) *Simulación de dispersión de contaminantes en una explotación minera* (Master's thesis) España: Universidad Internacional de Andalucía. <http://hdl.handle.net/10334/7144>
- Mainiero, R. J., Harris, M. L., & Rowland, J. H. (2007) Dangers of toxic fumes from blasting. In *Proceedings of the 33rd Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, Nashville, TN, January, pp. 28-31. Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers. <https://www.cdc.gov/niosh/mining/userfiles/works/pdfs/dotff.pdf>
- Mayorga Ruge, L. A. (2019) *Exposición a Monóxido de Carbono, alteraciones clínicas y funcionamiento neuropsicológico en trabajadores de minas de carbón subterráneas en Cundinamarca, 2018*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75588>
- NIOSH (2017) *Monóxido de carbono*. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/npg-sp/npgd0105-sp.html> (Accedido 17 enero 2024)
- Oliva González, A. O., Ruiz Pozo, A. F., y Gallardo Amaya, R. J. (2017) Inestabilidad del terreno en zonas de actividad minera: caso ciudad de Zaruma, Ecuador. *Redes de Ingeniería*, 8(2), pp. 69-81. <https://doi.org/10.14483/2248762X.12116>
- Pascual, V. A., Rodríguez, A. A. H., y Palacios, R. H. (2021) Métodos empíricos de la investigación. *Ciencia Huasteca Boletín Científico de la Escuela Superior de Huejutla*, 9(17), pp. 33-34. <https://doi.org/10.29057/esh.v9i17.6701>.
- Saravi, A., Torolla, J. L., y Fernández, M. C. (2018) Intoxicación por monóxido de carbono. *Revista Medicina Infantil*, 25(1), pp. 63-65. <https://www.medicinainfantil.org.ar/index.php/2018-volumen-xxv-numero-1>
- Secretaría de Gestión de Riesgos (2021) *Informes de Situación – Hundimiento – El Oro / Zaruma*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-hundimiento-el-oro-zaruma/>

- SERCOP (2022) *Resumen del Contrato Principal: trabajos de remediación superficial y de galerías subterráneas en el sector de hundimiento de la calle Colón, 29 de Noviembre y 24 de Mayo, cantón Zaruma provincia de El Oro – Etapa II y Etapa III*. Secretaría de Compras Públicas. Disponible en https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/EC/resumenContractual.cpe?idSoliCompra=iMrNTbcOg7OXHFhwjBD7MBetb1R8IsxEpRvRzIKBDnI,&cnt=E7_JBHZmWyaOSHRbjQkPbBQRQuZo1I4qUGxNFFI5JAA,&contratold=gfEhFLk41rFNh7070hdGOjsghPUWPO1BiXuwYVHZyBA (Accedido: 15 mayo 2023)
- Torres-Sandoval, F. A., y Murcia-Hurtado, D. A. (2021) Riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas explosivas en minas de carbón de Tópaga, Colombia. *Entramado*, 17(2), pp. 292–304. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.7108>
- Tortorella, M. N., y Laborde, A. (2021) Escenarios de exposición a monóxido de carbono que orientan la sospecha clínica de intoxicación aguda. *Revista Médica del Uruguay*, 37(2), e204. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-03902021000201204
- Vega-Luna, J. I., Lagos-Acosta, M. A., & Salgado-Guzmán, G. (2017) Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (18), pp. 73-83. <https://doi.org/10.17163/ings.n18.2017.09>
- Zaragoza, L. A., Luque, E. C., Torres, D. Á. S., Alguacil, C. E., Roldán, S. D. P. S., & de la Fuente, M. P. (2021) Intoxicación por monóxido de carbono en una embarazada: reporte de caso. *Ginecología y obstetricia de México*, 89(11), pp. 891-897. <https://doi.org/10.24245/gom.v89i11.5511>