



**Universidad del
Rosario**

Mezclas de metales: exposición a As y Ni en población de Montelíbano Córdoba (2021)

Autor

Angélica María Moreno Mendieta

Directoras

Marcela Eugenia Varona Uribe

Gilma Norela Hernández Herrera

Maestría en Salud Pública

Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud

Maestría en Salud Pública

Universidad del Rosario

Bogotá - Colombia

2023

Abstract

Introducción: Actualmente en Colombia, las actividades agrícolas y mineras constituyen una fuente de contaminación por metales pesados. El municipio de Montelíbano, Córdoba se caracteriza por la explotación de níquel, pues se ubica uno de los yacimientos de este metal. Se desarrollan actividades agrícolas, se puede ver involucrado el Arsénico. En Colombia, existe poca evidencia frente a la exposición de estos metales pesados y a las interacciones entre estas sustancias.

Objetivo: Determinar la exposición a arsénico y níquel, los niveles en matrices ambientales y la asociación con algunos factores relacionados, Montelíbano, Córdoba. 2021.

Materiales y métodos: Estudio descriptivo de corte transversal con muestreo no probabilístico de 100 individuos. 63 ocupacionalmente expuestos y 36 ambientalmente expuestos. Muestras biológicas (cabello) y ambientales (agua y pescado) para medir niveles de níquel y arsénico.

Resultados: El 95,24% de las personas ocupacionalmente expuestas eran hombres, el 63,89% de las personas ambientalmente expuestas eran hombres. El 63% tenía un oficio, el 90,48% trabajaba en minería y el 9,52% eran agricultores. La mayoría de la población no residía en zonas industriales. La mediana de edad de las personas ocupacionalmente expuestas fue de 54 años, la mediana de las personas ambientalmente expuestas fue de 59,50 años.

El 41,27% de las personas expuestas ocupacionalmente consumían alimentos mientras trabajaban y lo hacían diariamente. El 77,78% de los expuestos ocupacionales usan guantes y el 68,25% usan respirador. El 80,95% de los expuestos ocupacionales utilizaba botas de cuero.

La mayoría de la población consumía agua de llave y filtro. El pescado más consumido era el Bocachico 1 a 2 veces por semana. Las concentraciones de níquel y arsénico en el cabello están por encima del valor de referencia (ambas poblaciones).

Se presentan análisis estadísticos y correlaciones entre los niveles de metales en el cabello, variables sociodemográficas y ocupacionales. La presencia de arsénico y el uso de elementos de protección personal influyen en las concentraciones de níquel en el cabello. Se encuentra una correlación leve pero significativa entre los niveles de níquel y arsénico.

Conclusión: En la zona de estudio se presenta exposición ambiental y ocupacional a mezclas de metales pesados, de manera directa al Níquel y de forma indirecta al Arsénico. Se recomienda realizar estudios permitan resolver las limitaciones evidenciadas y ahondar en el biomonitoreo de mezclas de metales y sustancias químicas, y así obtener información, y un panorama respecto a esta problemática no solo en este municipio particularmente, sino en el país.

1. Introducción

Los metales pesados podían ser definidos como sustancias químicas (Thiel, 2017) que no se degradan ni se destruyen, son disueltos por agentes físicos y químicos (Londoño et al., 2016). El contacto con estos elementos ha estado relacionado con efectos en la salud de los humanos (Carpenter et al., 2002), que dependerán de la concentración y tipo del metal y de las características propias de los individuos a estudiar (Reyes et al., 2016).

La exposición a estas sustancias químicas se produce de forma puntual en las actividades laborales encaminadas a la agricultura, la extracción minera, industria de transformación y metalurgia (Ferrer, 2003), a esto se le denomina exposición ocupacional. Aquellas personas que no llevan a cabo labores asociadas a lo previamente mencionado, pero

de igual manera entran en contacto con estas sustancias químicas a través del agua, del suelo, de alimentos y el ambiente (Ferrer, 2003), se podrían definir como personas ambientalmente expuestas.

La extracción minera constituye una fuente antrópica que contribuye a la generación de metales pesados (Martínez et al., 2017). En Colombia, esta actividad se enfoca en el desarrollo de la minería de carbón, esmeraldas, materiales de construcción y metales dentro de los cuales se encuentra el Níquel (Mosquera et al., 2019). La explotación de Níquel (Ni), en Colombia está localizada al norte del país en la mina de Cerro Matoso, ubicada en el municipio de Montelíbano, Córdoba, considerada como la cuarta mina a cielo abierto de Ni en Latinoamérica (Rendón, 2016, referenciado por Mosquera et al., 2019) y la segunda mina de Ferroníquel (FeNi) en mundo (Rodríguez Yee et al., 2009 referenciado por Mosquera et al., 2019)

En un estudio realizado por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INML) a comunidades que se encuentran dentro de la zona de influencia por Cerro Matoso (excluyendo trabajadores de la mina), se estimó que en muestras biológicas de orina y sangre existían concentraciones de $27,26 \mu\text{g/L} \pm 15,89$ y $0,53 \mu\text{g/L} \pm 5,38$, respectivamente; valores superiores a los límites definidos por otras investigaciones en el mundo (Mosquera et al., 2019) No obstante, la Sociedad Colombiana de Medicina del Trabajo constituyó un grupo de expertos nacionales e internacionales cuya función fue el análisis del estudio realizado por Medicina Legal, resaltaron las siguientes limitantes: a) la no consideración de otros potenciales factores de confusión; b) los factores de confusión considerados no fueron medidos ni analizados correctamente; c) existieron problemas en el manejo de las muestras, lo anterior planteado por Lydia Espitia y Carlos Molina, autores del capítulo “Efectos en la salud asociados con minería de Níquel” (Mosquera et al., 2019).

Con relación a la exposición por arsénico se llevó a cabo un estudio en población indígena en San José de Uré, Córdoba, en el cual se pretendió evidenciar los efectos adversos en salud y los niveles de arsénico en muestras de cabello. Respecto a este último factor, se demostró que las concentraciones de arsénico en cabello oscilaron entre $0,011$ y $0,26 \mu\text{g/g}$, concentraciones superiores a los valores de referencia de arsénico en esta matriz, sin embargo, esta exploración no identificó Cerro Matoso como fuente de exposición potencial (Idrovo et al., 2017). Por el contrario, existen autores que sugieren que las fuentes de agua cercanas a la zona de estudio, presentan excesiva sedimentación y cambios de coloración, por lo cual, es posible que sean fuentes de metales, incluyendo el arsénico (Marrugo-Negrete et al., 2018).

Al mismo tiempo, y en virtud de destacar la probable presencia de arsénico en muestras de agua en Montelíbano, Córdoba, se expone una investigación realizada por la Universidad Nacional de Colombia en el Complejo Ciénaga de Ayapel, Córdoba (Escobilla, Ayapel Central y Paticos), que sufre presión por la minería de aluvión. Los resultados de arsénico en agua fueron los siguientes: Escobilla de $9,68 \mu\text{g/L}$, Ayapel Central en $17,18 \mu\text{g/L}$ y en Paticos en $39,16 \mu\text{g/L}$. Estos datos permitieron determinar que las concentraciones de Arsénico en época de aguas bajas sobrepasaron el límite permisible estipulado por la OMS para agua potable ($10 \mu\text{g/L}$) (Pedraza & Ramírez, 2022).

Por su parte, Lydia Espitia, y Carlos Molina, (Mosquera et al., 2019), establece que existe falta de información sobre las características sociodemográficas de las poblaciones expuestas, factores de riesgo propios y contaminación de matrices (ambientales y biológicas) (Espitia, et al., 2019, p 258). Otros autores afirman que de acuerdo con las investigaciones realizadas, tanto el níquel como el arsénico, en Colombia, no representan la misma atención para estudio, que metales como el Cadmio, Plomo, Mercurio, Cobre y Cromo (Mahecha Pulido et al., 2017).

Adicional a la información previamente mencionada, es importante establecer que dentro de los efectos en la salud que tiene Arsénico son neuropatía con pérdida de la sensibilidad en pies y manos, disminución de la percepción del estímulo doloroso, debilidad muscular y parálisis de miembros superiores e inferiores la cual se presenta años después de iniciada la exposición. Puede producir cáncer de piel con un período de latencia hasta de 24 años y cáncer pulmonar

en trabajadores que usan plaguicidas con arsénico, fundidores de cobre y en procesos metalúrgicos (Suzuki et al., 2018); (Beeravolu et al., 2017) (Chatterjee et al., 2017). Por su parte, el Níquel, puede ocasionar embolia pulmonar y falla respiratoria, asimismo, puede desencadenar lesiones en la piel y reacciones alérgicas. También puede ocasionar defectos de nacimiento, asma, cardiopatía y bronquitis crónica. Se ha comentado aún sin comprobarse, sobre la contaminación con níquel y su asociación a cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata (Dunia & Heredia, 2017).

Dado lo previamente expuesto se ve la necesidad de generar un panorama frente a la exposición de níquel y de arsénico en municipio, crear una línea base que contribuya a la justificación de una eventual acción en salud pública, impulsar nuevas determinaciones para evaluar el riesgo en las comunidades, visibilizar la importancia del monitoreo ambiental en estos metales y diseñar nuevas investigaciones, a partir de las recomendaciones y limitaciones del estudio. Es por lo anterior, que se pretende evaluar la exposición a arsénico y níquel, los niveles en matrices ambientales y la asociación con algunos factores relacionados, en población del municipio de Montelíbano, Córdoba. 2020, por medio de la caracterización de la población, la identificación de los niveles de Arsénico y Níquel en matrices ambientales (pescado y agua), matrices biológicas (cabello), y la asociación entre estas variables con composición sociodemográfica, exposición ambiental, exposición ocupacional y hábitos de vida.

2. Método

2.1. Diseño del estudio y población

Este estudio hace parte del proyecto de investigación denominado “Evaluación de la exposición a mezclas de contaminantes ambientales y efectos en salud en población rural de tres departamentos de Colombia, 2020”, de la Universidad del Rosario, el cual a su vez hace parte del Programa de Investigación en Salud Ambiental liderado por la Universidad Industrial de Santander y financiando por Minciencias mediante contrato 905 de 2019. Se realizó un estudio analítico de corte transversal, debido a la pandemia por COVID-19, el estudio se llevó a cabo en el año 2021.

La población objeto de estudio estuvo dividida en dos grupos, personas ocupacionalmente expuestas que tuvieran antecedentes laborales relacionados con actividades mineras o agricultura (desde hace seis meses como mínimo) y, en segundo lugar, quienes residían en la zona de estudio (desde hace seis meses como mínimo) constituyendo la población ambientalmente expuesta, adicionalmente debían ser mayores de 18 años y se excluyeron aquellas que no firmaran el consentimiento informado.

Se calculó un tamaño de muestra mínimo para estudios descriptivos transversales en el aplicativo Open Epi, utilizando la población del municipio de Montelíbano (Córdoba) que de acuerdo con el censo de 2005 (DANE) era de 73.247 personas. La frecuencia esperada del factor de estudio fue del 30.3%, que corresponde a la proporción de individuos ambientalmente expuestos con niveles de mercurio en orina que superan los límites permisibles, según estudio llevado a cabo en los Departamentos de Bolívar, Sucre, Antioquía y Córdoba. Se tomó el mercurio como químico de referencia, dada que es la información con la que se cuenta en Colombia con respecto a la proporción de individuos. (Min Salud, 2018, p. 7). Asimismo, teniendo en cuenta que dentro del estudio macro se contemplan otros metales y dentro de ellos se encuentra el mercurio, se toma como referencia este porcentaje.

El margen de error aceptable definido fue del 5%, con un nivel de confianza del 95%, quedando un tamaño de muestra de 100 personas incluyendo un 20% de pérdidas. Para este estudio se tomó una muestra de 100 individuos de Montelíbano (Córdoba) en donde el 50% fueron ambientalmente expuestos, y el 50% ocupacionalmente expuestos. Soportados en el tamaño de la muestra inicial (100 personas), se llevó a cabo un muestreo no probabilístico y a conveniencia en el cual se iba seleccionando individuos que cumplieran con los criterios de inclusión definidos por el grupo investigador.

Con el apoyo de la secretaria de Salud municipal y departamental, se identificaron las áreas y lugares y se llevó a cabo la selección de la población. Se informó acerca de la realización del presente estudio, explicando sus objetivos y beneficios de participar en el mismo.

Teniendo en cuenta la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud que establece las normas académicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, en el Título II Capítulo I Artículo 11 sobre los aspectos éticos de la investigación en seres humanos, se clasifica esta investigación como de riesgo mínimo. (Resolución 8430 de 1993)

A cada individuo se le proporcionó una hoja de consentimiento, la cual tuvieron que firmar antes de contestar las preguntas de las encuestas individuales y de la toma de muestras biológicas. Previo al inicio de la recolección de la información y de las muestras, se informó a los individuos los objetivos y el tipo de estudio que conllevó la investigación, comprendiendo la importancia y beneficios que representaría su participación, a quienes se les entregó posteriormente los resultados de las pruebas paraclínicas, cuyos datos fueron tratados con total confidencialidad por el grupo investigador.

El estudio cumplió con los principios y disposiciones de la Declaración de Helsinki (World Medical Association, 1964) y los principios bioéticos (Emanuel, 1999). El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética y Metodologías de Investigación (CEMIN) del Instituto Nacional de Salud (INS) mediante acta CEMIN-23-2018.

2.2. Caracterización de la población por composición sociodemográfica, exposición ambiental y exposición ocupacional, hábitos de vida

Se utilizó una encuesta para la recolección de la información que se aplicó en la totalidad a los individuos seleccionados tanto expuestos ocupacionales como ambientales, la cual fue adaptada del instrumento de evaluación en salud del Global Mercury Project (Veiga et al., 2004). Este proceso de adaptación se hace a través de la evaluación de expertos en medicina del trabajo, salud ocupacional y ambiental de la Universidad del Rosario, y de esta manera, ajustar el instrumento de acuerdo con las observaciones definidas por ellos.

En segundo lugar, antes de iniciar la fase de recolección de información se realizó una inducción al personal encargado de diligenciar la encuesta a cada uno de los individuos seleccionados en la muestra.

Por otro lado, la encuesta fue piloteada con un 10% del total de la muestra de individuos a través de llamadas telefónicas, en la que tres de los investigadores del estudio ya capacitados, hicieron las preguntas a un total de 10 personas entre estudiantes pertenecientes a las universidades que hacen parte del estudio macro y al personal operativo y administrativo del sector. Estos participantes no hicieron parte de la muestra seleccionada.

El instrumento incluyó 82 preguntas dividido en las siguientes secciones: Información sociodemográfica, la evaluación de la exposición ocupacional y extra ocupacional, medidas de higiene y seguridad, antecedentes toxicológicos y hábitos alimenticios.

La encuesta fue aplicada en físico con cada uno de los participantes, se les entregó el consentimiento informado, se les indicó el tipo de trabajo que se estaba desarrollando, explicando que los datos solicitados eran confidenciales y serían utilizados únicamente para fines investigativos.

2.3. Muestras matrices biológicas

Luego de la explicación de los procedimientos y de la firma del consentimiento informado, se le tomó una muestra de cabello a los participantes. Sin embargo, de los 99 encuestados, a 78 se le tomaron las muestras de cabello, debido a que eran quienes cumplían con las condiciones para la toma de la muestra.

Estas muestras de cabello fueron obtenidas del área occipital de la cabeza e incluyeron por lo menos 20 hilos de cabello con una longitud promedio de 1,0 cm (10 mg aproximadamente) cortado con tijeras a la raíz del cabello.

Se sujetó la muestra con una cinta adhesiva de tal forma que se pudiera identificar la parte de la raíz del cabello y colocar la muestra en bolsas de polietileno almacenándolas a temperatura ambiente. En estas muestras se determinaron las concentraciones de níquel y arsénico. Las muestras fueron analizadas por ICP-MS (Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente) del Departamento de Química de la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro en Brasil.

Para evaluar metales pesados en cabello se tuvo en cuenta el protocolo descrito por Olivero-Verbel et al., 2011 y Nunes et al., 2010. En primer lugar, las muestras se limpiaron con agua desionizada y acetona dentro de un baño de ultrasonidos, para eliminar los elementos exógenos y se secaron al horno a 60 °C. Luego se acidificaron con 2,50 mL de HNO₃ (sub-bidistilado) en tubos de polipropileno de 50 mL y se digirieron a temperatura ambiente. Posterior se realizó una nueva digestión de 1 hora a 70 °C, las muestras se diluirán para la determinación de elementos (Olivero-Verbel et al., 2011 y Nunes et al., 2010).

La preparación y análisis de las muestras estuvo a cargo del Laboratorio ICP-MS e ICP OES (LABSPECTRO) del Departamento de Química de la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, en Brasil. Allí se limpiaron las muestras con agua desionizada y acetona por tres repeticiones, con cada solución dentro de un baño de ultrasonidos para eliminar los elementos exógenos. Las muestras de cabello se secaron en estufa a 60 °C y se pesaron. Luego, las muestras se acidificaron con 2,50 ml de HNO₃ en tubos de polipropileno de 50 ml y se digirieron a 70 °C durante 4 horas. Finalmente, se diluyeron para determinación elemental. Las concentraciones de elementos capilares se evaluaron mediante espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente utilizando un espectrómetro Elan DRCII ICP-MS (Analyst 200, PerkinElmer, Sciex, Norwalk, CT, EE. UU.) Cada punto de calibración de la curva (blanco, blanco de reactivo y muestra) se analizó con el estándar interno de rodio. Se utilizó argón como gas portador a un caudal de 50 ml min⁻¹.

Los datos obtenidos referentes a los análisis de cabello serán comparados con los valores de referencia reportados en la literatura a nivel mundial para casos de exposición multi-elemental por fuentes ambientales.

Metal	LOD	LOQ	Valor de referencia (ppm)	Fuente
Arsénico	0.003	0.011	0.011 ± 0.007	España. Liang G, et al. (2017).
Níquel	0.003	0.011	0.22 ± 0.08	OMS (1991)

2.4. Muestras matrices ambientales

El análisis de metales se realizó por espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío (CVAAS). Se llevó a cabo una digestión fría húmeda convencional y mejorada por el empleo de un sistema mixto de ácidos con una relación elevada de ácido sulfúrico, HNO₃ – HClO₄ – H₂SO₄ (1: 1: 5), este sistema es innovador ya que puede ser completado con un tiempo relativamente corto de digestión a una temperatura superior a 200°C.

Agua: para la recolección de la muestra se sumergió el dispositivo de muestreo en la corriente a fin de obtener el volumen necesario de muestra (1 litro) para el análisis de los metales. Se tomaron 6 muestras agua en el municipio de Montelíbano para la determinación de metales. Se toma las muestras de agua de los cuerpos de agua que se encuentran en zonas aledañas a la mina y fuentes de agua de consumo humano, para seleccionar dichos lugares se lleva a cabo una georreferenciación, no obstante, la información detallada de esta georreferenciación estará descrita en los resultados del proyecto macro.

Pescado: La recolección de muestras de pescado estuvo a cargo de un funcionario de la secretaria de salud municipal, quien seleccionó las estaciones de muestreos (sitios estratégicos de pesca artesanal).

Se llevo a cabo una georreferenciación, no obstante, la información detallada de esta georreferenciación estará descrita en los resultados del proyecto macro. En cada sitio se colectaron muestras mayores de 25 cm de longitud, para cada especie, quienes fueron capturados directamente por un pescador local contratado para tal fin.

Especie	Lugar de la toma
Comelón	Rio San Jorge
Bocachico	Rio San Jorge
Cachama	Cultivo
Barbudo	Rio San Jorge
Blanquillo	Rio San Jorge

Los organismos colectados se identificaron in situ, registrados fotográficamente, medidos (longitud total - LT y longitud estándar LE), con la ayuda de una cinta métrica (cm) y pesados (peso total – PT). Los organismos capturados y seleccionados fueron los siguientes: Bocachico no carnívoro (*Prochilodus magdalena*), Blanquillo carnívoro (*Sorubim cuspicaudus*), Cachama no carnívora, (*Colossoma macropomum* - cachama negra- y *Piaractus brachypomus* -cachama blanca-), Comelón no carnívoro (*Leporinus muyscurum*) Barbudo no carnívoro (*Rhamdia sp*)

2.5. Análisis estadístico

Para la descripción de los participantes se utilizaron distribuciones de frecuencias absolutas y proporciones en las variables nominales y ordinales. A las variables continuas se les determinó el tipo de distribución para decidir los estadísticos a reportar (media y DS o mediana y Rango intercuartil), para ello se utilizaron las siguientes pruebas: Shapiro-Wilk (para muestras de menos de 50) y Kolmogorov-Smirnov (para muestras de más de 50) y de acuerdo con el resultado obtenido, se reportaron las medias con las desviaciones estándar o las medianas con los rangos intercuartiles. Se compararon las medianas de los niveles de metales (Ni y As) en cabello por características sociodemográficas, antecedentes de exposición ocupacional y ambiental y hábitos de vida a través de la prueba de Mann-Withney.

Por otro lado, se calcularon además coeficientes de correlación de Spearman entre los niveles de Níquel y Arsénico, para observar la posible existencia de relación.

Se realizaron modelos de regresión múltiple con variables independientes edad, sexo, ubicación de residencia y tiempo de residencia en el municipio y variable dependiente las concentraciones de níquel en cabello con el fin de identificar factores que ayuden a explicar la exposición ambiental y ocupacional en la zona de estudio. Fue necesario convertir a Logaritmo la variable de Níquel en cabello, para de esta manera normalizarla y utilizar el Test de ANOVA a fin de desarrollar la regresión previamente mencionada.

El análisis estadístico se desarrolló en el programa SPSS versión 28, licencia del software entregada por la Universidad del Rosario.

3. Resultados

En la Tabla 1 se evidencia la Caracterización sociodemográfica en la cual se establece que de las personas ocupacionalmente expuestas, el 95,24% de la población eran hombres, y de las ambientalmente expuestas el 63,89% eran de sexo masculino. Por otro lado, el 63% de la población tenía un oficio, y de estos el 90,48% desarrollaba

actividades relacionadas con minería y el 9,52% restante eran agricultores. El 92,92% del total de la población informó no residir en zonas industriales. En las personas ocupacionalmente expuestas, se estima que la mediana de la edad fue 54 años (IQR 47:60), el promedio del tiempo que llevaban viviendo en el municipio fue de 453,25 meses (163,589), y la mediana del tiempo que llevaban en su oficio fue de 241 meses (IQR 192:365). Por otro lado, en las personas ambientalmente expuestas, se calcula que la mediana para la edad fue de 59,50 años (IQR 41:64) y la media del tiempo que llevan viviendo en el municipio fue de 480 meses (IQR 384:552).

Tabla 1: Caracterización sociodemográfica de la población del municipio de Montelíbano, Córdoba, 2021

Chi cuadrado $p \leq 0,05$

	Exposición				p
	Ocupacional		Ambiental		
	n = 63		n= 36		
Sexo					
Femenino	3	4,76%	13	36,11%	< 0,001
Masculino	60	95,24%	23	63,89%	
Área					
Cabecera municipal	57	90,48%	25	69,44%	0,008
Rural	6	9,52%	11	30,56%	
Tipo de SGSS					
Contributivo	58	92,06%	24	66,67%	--
Subsidiado	5	7,94%	11	30,56%	
No afiliado	0	0,00%	1	2,78%	
Estado Civil					
Casado	37	58,73%	14	38,89%	--
Unido	20	31,75%	16	44,44%	
Separado	2	3,17%	0	0,00%	
Soltero	4	6,35%	6	16,67%	
Escolaridad					
Analfabeto	0	0,00%	2	5,56%	--
Primaria Incompleta	4	6,35%	2	5,56%	
Primaria Completa	1	1,59%	5	13,89%	
Secundaria incompleta	5	7,94%	1	2,78%	
Secundaria Completa	19	30,16%	10	27,78%	
Técnico incompleto	1	1,59%	1	2,78%	
Técnico Completo	25	39,68%	9	25,00%	
Universitaria Completa	7	11,11%	5	13,89%	
Universitaria Incompleta	1	1,59%	1	2,78%	
Trabaja en minería					
No	6	9,52%	36	100,00%	--
Si	57	90,48%	0	0,00%	
Trabaja en agricultura					
No	57	90,48%	36	100,00%	--
Si	6	9,52%	0	0,00%	
Residencia en zona industrial					
No	58	92,06%	34	94,44%	--
Si	5	7,94%	2	5,56%	

Se evidenció que de los expuestos ocupacionalmente (n=63) el 41,27% consume alimentos mientras trabaja, y de ese porcentaje, la frecuencia de consumo es diaria para el 61,53%. Respecto a los elementos de protección personal, el

77,78% la población ocupacionalmente expuesta utiliza guantes y de ese porcentaje, la mayoría utiliza de cuero y carnaza (67,35%). Asimismo, el 68,25% de los expuestos ocupacionales utiliza respirador para llevar a cabo labores de su oficio. Frente a los elementos de protección personal de miembros inferiores, el 80,95% de los expuestos ocupacionales utiliza botas de cuero para llevar a cabo labores relacionadas. Las variables adicionales asociadas con la exposición ocupacional se encuentran definidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Medidas de higiene y uso de elementos de protección personal empleados por la población ocupacionalmente expuesta de Montelíbano (Córdoba), 2021.

Variables		Exposición ocupacional			
		(N=63)			
MEDIDAS DE HIGIENE Y USO DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	Ropa de trabajo	53	84.13%		
	Se ducha el cuerpo después del trabajo	Siempre	50	82,0%	
		A veces	5	8,2%	
		Nunca	6	9,8%	
	Toma alimentos en el lugar de trabajo	26	41.27%		
	Se lava las manos antes de consumir los alimentos	26	100%		
	Protección del rostro	Respirador	43	68,25%	
		Tapabocas	19	30,16%	
		Visor	11	17,46%	
		Monogafas	43	68,25%	
		Casco	10	15,87%	
	Protección de miembros superiores	Guantes	Caucho, Látex, Plástico	7	14,29%
			Cuero y Carnaza	33	67,35%
			Otros	9	18,37%
			No usa	14	22,22%
Protección tronco	Peto o delantal	Cuero	5	55,56%	
		Caucho	2	22,22%	
		Carnaza	2	22,22%	
		No usa	54	85,71%	
Protección de miembros inferiores	Calzado	Botas de caucho	4	6,35%	
		Botas en cuero	51	80,95%	
		Zapatos	1	1,59%	
		Tenis	1	1,59%	

Respecto a los hábitos de la población, es posible evidenciar que tan solo 1 persona (10,10%) reportó fumar actualmente. En el consumo de licor, 43 personas (68,25%) y 21 personas (58,33%) de los expuestos ocupacionales y ambientales respectivamente, consumen licor actualmente, no obstante, este consumo es ocasional.

En relación con los antecedentes de exposición ambiental, se establece que la fuente de consumo de agua fue en su mayoría de llave y filtro, tanto para población ocupacional como ambientalmente expuesta, siendo de 61,9% y el 75%

respectivamente. En menor medida, ambas poblaciones consumen agua de botellón y bolsa (26.98% expuestos ocupacionales y 22,22% expuestos ambientales).

Asimismo, se pudo observar que el Bocachico predomina como el pescado que más se consume en ambas poblaciones (80,95% expuestos ocupacionales y 75% expuestos ambientales), el tamaño es mediano y con una frecuencia de entre 1 y 2 veces por semana. El 58,58% de las personas encuestadas, dicen que el pescado proviene de áreas distantes de las minas, el 20,20% dice que son de áreas afectadas por la minería y el 16,16% de áreas afectadas por agricultura.

La mediana de las concentraciones/niveles de Níquel en cabello en población ocupacionalmente expuesta fue de 0,548 ppm (IQR 0,276:1,243), y en los ambientalmente expuestos fue de 0,366 ppm (IQR 0,242:0,613), ambos valores por encima del nivel de referencia tenido en cuenta para este metal (Ver Tabla 3). Con relación a las concentraciones/niveles de arsénico en cabello, se establece que la mediana de los expuestos ocupacionalmente fue de 0,1606 ppm (IQR 0,105:1,243) y en los ambientales de 0,121 ppm (IQR 0,094:0,158), valores que también estuvieron por encima de los niveles de referencia tomado para la presente investigación (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Concentraciones medianas (ppm) de Níquel y Arsénico en cabello en población ocupacional y ambientalmente expuesta del municipio de Montelíbano (Córdoba), 2021

Mediana metal (ppm)	Exposición ocupacional			Exposición ambiental			P*	Valores de referencia (mg/g) ppm
	n = 47			n = 31				
	Mediana	Q1**	Q3**	Mediana	Q1**	Q3**		
Níquel	0,548	0,276	1,243	0,366	0,242	0,613	0,119	0.22 ± 0.08***
Arsénico	0,1606	0,105	0,241	0,121	0,094	0,158	0,056	0.011 ± 0.007****

* Prueba de Mann Whitney

** Q1 hace referencia al percentil 25 tenido en cuenta para el rango intercuartil reportado como límite superior con la mediana y Q3 hace referencia al percentil 75 tenido en cuenta en el rango intercuartil reportado como el límite inferior con la mediana

*** World Health Organization. Environmental Health Criteria 108, Nickel, 1991 (Hertel et al., 1991).

**** Liang G, Pan L, Liu X. Assessment of Typical Heavy Metals in Human Hair of Different Age Groups and Foodstuffs in Beijing, China. Int J Environ Res Public Health, 2017 Aug 14;14(8):914. doi: 10.3390/ijerph14080914 (Liang et al., 2017).

De las 47 muestras de los expuestos ocupacionalmente, 39 tuvieron niveles por encima del valor de referencia de Níquel (82,97%) y 47 tuvieron niveles por encima del valor de referencia del As (100%). Por su parte, de las 31 muestras de expuestos ambientales, 24 individuos obtuvieron niveles de Níquel por encima del valor de referencia de (77,41%) y 31 individuos expuestos ambientalmente tuvieron niveles de As por encima del valor de referencia (100%).

En los puntos que se tomaron las muestras de agua (n=6) para detectar Níquel y Arsénico, se encuentra niveles promedio de 0,006983ppm (SD: 0,007793) y 0,000688 ppm (SD: 0,000697) respectivamente, valores que se encuentran debajo del valor de referencia tomado para ambos metales (Ni=0,02ppm) y (As= 0,01ppm) (*Resolución 2115 del 2007*).

En las muestras de pescado (n=6), se establece que el promedio de las concentraciones de Níquel fue de 0,50338 ppm (SD: 0,26360) y la mediana de las concentraciones de este mismo metal fue de 0,40810 ppm (IQR 0,27430: 0,78010), particularmente en pescado no se tienen valores de referencia para este metal por lo que, cualquier valor es considerado positivo. Por otro lado, no se encontraron concentraciones de Arsénico en pescado.

En la Tabla 4 Se muestran las comparaciones de los niveles de metales según variables sociodemográficas y ocupacionales Las concentraciones de arsénico en cabello aumentaron en población ocupacionalmente expuesta y esta diferencia es marginalmente significativa, asimismo, que la residencia de las personas esté ubicada en zona industrial,

aumenta las concentraciones de arsénico en las mismas, y esta diferencia es marginalmente significativa. Por otro lado, las personas que trabajan en minería tienen mayores concentraciones de níquel en cabello, pero se diferencia no es estadísticamente significativa.

Tabla 4. Asociaciones variables con niveles de metales en cabello

	Níquel				Arsénico			
	P25**	Mediana	P75***	<i>p</i> *	P25**	Mediana	P75***	<i>p</i> *
Sexo								
Femenino	0,348	0,502	0,968	<i>0,393</i>	0,088	0,113	0,16	<i>0,065</i>
Masculino	0,234	0,425	0,891		0,109	0,143	0,231	
Residencia ubicada en zona industrial								
No	0,242	0,426	0,88	<i>0,173</i>	0,1	0,138	0,209	<i>0,053</i>
Si	0,276	3,062	5,222		0,141	2,03	2,449	
Trabaja en actividad minera								
No	0,235	0,375	0,66	<i>0,085</i>	0,105	0,132	0,185	<i>0,167</i>
Si	0,282	0,555	1,243		0,1	0,151	0,292	
Tipo de pescado								
Bocachico	0,263	0,496	1,039	<i>0,511</i>	0,098	0,137	0,209	<i>0,093</i>
Otros	0,222	0,424	0,792		0,113	0,197	0,235	

*Mann-Whitney $p \leq 0,05$

**P25 hace referencia al percentil 25 o al Cuartil 1 (Q1) tenido en cuenta para el rango intercuartil reportado como límite superior con la mediana

***P75 hace referencia al percentil 75 o al Cuartil 3 (Q3) tenido en cuenta en el rango intercuartil reportado como el límite inferior con la mediana

En la Tabla 5, se observa que las personas que usan Elementos de Protección Personal (EPP), tales como: guantes, respirador y botas de cuero, tienen mayores niveles de níquel en cabello, que aquellas personas que no usan los EPP, siendo esta diferencia se define como una asociación inversa. De esta misma manera, las personas que no toman alimentos mientras trabajan, tiene mayores concentraciones de Níquel en cabello que quienes consumen.

Tabla 5. Asociaciones Elementos de Protección Personal con niveles de metales en cabello

	Níquel				Arsénico			
	P25	Mediana	P75	<i>p</i> *	P25	Mediana	P75	<i>p</i> *
Toma alimento cuando trabaja								
No	0,312	0,804	1,381	<i>0,038</i>	0,108	0,151	0,267	<i>0,784</i>
Si	0,234	0,341	0,496		0,097	0,197	0,231	
Guantes								
No	0,188	0,235	0,404	<i>0,027</i>	0,097	0,173	0,198	<i>0,303</i>
Si	0,33	0,753	1,359		0,108	0,156	0,315	
Respirador								
No	0,205	0,354	0,632	<i>0,037</i>	0,101	0,167	0,203	<i>0,334</i>
Si	0,319	0,873	1,39		0,112	0,152	0,381	

Botas en cuero								
No	0,124	0,187	0,228	0,002	0,097	0,132	0,185	0,257
Si	0,341	0,716	1,373		0,112	0,173	0,292	

*Mann-Whitney $p \leq 0,05$

Por su parte, la Tabla 6, se presentan los coeficientes de correlación entre los niveles de Níquel y Arsénico en cabello, por lo que, las concentraciones de Níquel en cabello se explican en un 28,1% por la presencia de Arsénico, y viceversa. La correlación de estos metales se considera estadísticamente significativa, pero la fuerza de esta relación es leve.

Tabla 6. Correlación de Spearman de niveles de cabello de arsénico y níquel

Correlación Coeficiente de Spearman		Ni 60 (ppm)	As 75 (ppm)
Ni 60 (ppm)	Coeficiente de correlación	1	,281*
	Valor de p		0,013
As 75 (ppm)	Coeficiente de correlación	,281*	1
	Valor de p	0,013	

En la Tabla 7, muestra que en las personas que están expuestas ambientalmente son menores en promedio los niveles de Logaritmo de Níquel cuando se ajusta el modelo teniendo en cuenta la edad, el sexo, la ubicación de residencia en la zona industrial y el tiempo que han vivido en el municipio (marginamente significativo). Por otro lado, a modo de exploración, para las personas que trabajan en minería son mayores en promedio los valores de los niveles del logaritmo de Níquel, teniendo en cuenta la edad y el sexo de esta población en particular (significativa).

Tabla 7. Asociación entre las concentraciones del Logaritmo de Níquel en cabello y el tipo de exposición

Logaritmo de Níquel*			
β sin ajustar (IC)	p	β ajustado (IC)**	p
-0,190 (-0,404; 0,25)	0,082	-0,223 (-0,463; 0,017)	0,068

*Variable Níquel modificada a Logaritmo
 ** Ajuste del modelo: Sexo, edad. Residencia en zona industrial y Tiempo viviendo en el municipio
 ***Variable referencia: exposición
 ****Categoría de referencia: exposición ambiental

Logaritmo de Níquel*			
β sin ajustar (IC)	p	β ajustado (IC)**	p
0,196 (-0,014;0,406)	0,067	0,241 (0,003;0,478)	0,048

*Variable Níquel modificada a Logaritmo
 **Ajuste de modelo: Edad y Sexo
 ***Variable de referencia: Trabajo en minería

4. Discusión

El presente estudio analizó la exposición ocupacional y ambiental a arsénico y níquel y la asociación con factores relacionados en población del municipio de Montelíbano. Los niveles de Ni en cabello en población ocupacionalmente expuesta fueron mayores, que en población ambientalmente expuesta, esto también se evidenció en una investigación realizada en Rusia en trabajadores de aluminio, pues quienes no estaban expuestos ocupacionalmente, tenían menores concentraciones de níquel en cabello que quienes estaban expuestos. (Skalny et al., 2018). En contradicción con esto,

en un estudio de soldadores en Emiratos Árabes Unidos, se reveló que quienes estaban expuestos ocupacionalmente, tenían niveles de Ni menores que aquellos que no estaban expuestos (Lotah et al., 2022). Las diferencias de las concentraciones de Ni en cabello, pueden deberse a las disparidades que existen respecto a las labores desarrolladas. Sin embargo, el comportamiento de los niveles de Níquel en cabello, en la presente investigación se relaciona con que la población ocupacionalmente expuesta desarrolla actividades de minería de FeNi y por lo tanto sus niveles son mayores.

Al igual que el Ni, los niveles de arsénico en cabello tanto en población ocupacional como ambientalmente expuesta, estuvieron por encima del valor de referencia tenido en cuenta para esta investigación. Esta información concuerda con el estudio realizado en la misma zona (San José de Uré) por Idrovo et al., 2017, en donde los niveles de arsénico en cabello estuvieron por encima del valor de referencia tenido en cuenta en dicha investigación, esto podría ser consecuencia de varios factores, tales como, la potencial capacidad de movilizar arsénico geológicamente el cual está presente en dicha zona hacía las fuentes hídricas que son empleadas para consumo humano (Alonso et al., 2014 referenciado por Mosquera et al., 2019), asimismo, la combustión de carbón en hornos eléctricos (Li & Lee, 2006; Y. Kodama, 1976 referenciado por Mosquera et al., 2019), los depósitos de desechos y escombreras metálicas, la conservación de la madera, fundición y combustión de fuel fósil, los plaguicidas y la industria pirometalúrgica (Adriano, 2001), este último podría estar relacionado con la forma de aprovechamiento del Níquel (pirometalurgia) (Mosquera et al., 2019). Por su parte Idrovo y colaboradores (2017) plantea que existen estudios realizados en donde se ha informado la existencia de otras fuentes de contaminación en la zona, como la mina de carbón y la explotación del oro, las cuales están asociadas a la presencia de otros metales (Idrovo et al., 2017), esto, también manifestado por Pastor y colaboradores (2020), ya que, el Sur de Córdoba es un distrito minero del país, en donde convergen varios proyectos de minería de carbón y ferroníquel (Pastor et al., 2020).

El sexo masculino predominó dentro de la población ocupacional y ambientalmente expuesta, particularmente e históricamente se ha evidenciado que el trabajo de minería ha sido ejercido por los hombres (Cifuentes & Guiza, 2021). Sin embargo, en los últimos años, las mujeres han tenido una mayor participación en la extracción de minerales, principalmente por razones sociales y culturales (Cifuentes & Guiza, 2021). La exposición de ambos grupos, estará determinada por el tiempo en años laborales y por la frecuencia y duración de la misma, lo anterior justificado y expuesto en un estudio realizado en Emiratos Árabes Unidos EAU, en el que se corrobora esta información, pues, se estimó que el Ni en uñas era significativamente más alto según el tiempo de exposición ocupacional a la soldadura, asimismo, que la concentración media de este metal era significativamente mayor en trabajadores con 20 a 30 años de experiencia (Lotah et al., 2022), y concretamente, en el presente estudio, el tiempo de oficio que lleva la población ocupacionalmente expuesta, es de 20 años aproximadamente. Con respecto a la escolaridad, se considera que el tener un nivel de escolaridad determinado, permite participar en capacitaciones y entender con mayor facilidad la toxicidad de las sustancias químicas a las cuales se expone la población y los procedimientos para el uso y manejo de estas.

Aunque en la revisión bibliográfica realizada para este estudio, no se encontró información que evaluara la correlación de estos dos metales en el marco de la minería de Níquel o Ferroníquel, con respecto a la correlación que existe en los niveles de ambos metales en cabello en el municipio, la literatura evidencia que es posible que las poblaciones expuestas a actividades industriales tengan contacto con mezclas de metales pesados. Particularmente, en un estudio realizado por Mohamed Anouar Nouioui y colaboradores (2018) en Túnez en industrias de fabricación de baterías de plomo, se demostró que quienes estaban expuestos ocupacionalmente presentaban niveles de Arsénico y Níquel en cabello, pese a que existía una correlación inversa en este biomarcador, este estudio demostró la exposición a mezclas de metales en poblaciones expuestas (ambiental y ocupacionalmente) por lo cual, concluyen que es posible se presenten efectos en la salud en estos grupos de exposición (Nouioui et al., 2018). Lo anterior, es consistente con varios estudios publicados que evalúan la asociación de concentraciones de metales y los efectos en salud (Wang et al., 2006).

De igual modo, se estimó que las personas que usan Elementos de Protección Personal tienen mayores niveles de Níquel que aquellas que están ambientalmente expuestas (estadísticamente significativa), este comportamiento

concuerta con una investigación llevada a cabo en Emiratos árabes Unidos (EAU), en el cual también se consideró que quienes utilizaban los EPP de manera regular tenían una media de niveles Ni en cabello mayor, que quienes admitieron utilizar estos equipos de manera irregular, sin embargo, para dicha investigación en específico, no se calcula una diferencia de medias para evaluar la significancia, dado que, este último grupo, era muy pequeño (Lotah et al., 2022). Este comportamiento puede deberse a la presencia de sesgo de información en la asociación debido a la falta de indagación respecto a los puestos de trabajo y al adecuado uso de los EPP. Por lo que se considera relevante y necesario profundizar en información frente al tipo de EPP utilizado, a las conductas seguras de los trabajadores en el uso de los EPP, la manera en la que almacenan estos elementos y si son acordes para la manipulación de estos metales pesados.

En cuanto a los niveles de metales en pescado, particularmente no se evidenciaron concentraciones de Arsénico esto, teniendo en cuenta que este metal no se bioacumula en pescado, sin embargo, en un estudio realizado en la Amazonía boliviana (Rodríguez-Levy et al., 2022), las muestras analizadas de pescado, parecían estar libres de contaminación por As, pues si bien existían concentraciones, estas, se encontraban muy por debajo del límite permisible (Burger & Gochfeld, 2005). Asimismo, en un estudio realizado en Brasil, se reveló que existían concentraciones promedio de As que alcanzaron 1,76 $\mu\text{g/g}$ (Rosso et al., 2013) y 1,90 $\mu\text{g/g}$ (Juncos et al., 2016) en peces de ríos contaminados. En Colombia, se desarrolló una investigación en la Ciénaga de Ayapel en el Municipio de Montelíbano, en el cual se detectó niveles de As en dos especies de pescado, Bocachico (*P. magdalenae*) y Blanquillo (*S.cuspicaudus*), este último presentó concentraciones mayores que el primero, asimismo, las concentraciones de As en el agua de la ciénaga, en diferentes momentos, se encontraban por encima del límite permitido por la OMS para agua potabilizada (10 $\mu\text{g/L}$) (Pedraza & Ramírez, 2022). Con respecto a las concentraciones de Níquel en peces, en el presente estudio se estima un valor considerable, que es superior al encontrado en la Amazonía Boliviana (Rodríguez-Levy et al., 2022), pues el valor máximo medido en dicha investigación fue de 0.18 $\mu\text{g/g}$, en donde referencian que el límite sugerido por la FDA es 400 veces mayor, de esta misma manera, esta estimación, resulta consistente con lo encontrado en el Río Madeira (Amazonas) en el que los niveles de níquel registrados no superaron los 0,19 $\mu\text{g/g}$ (Sousa et al., 2015).

Esta contradicción de los resultados obtenidos en otras investigaciones frente a esta investigación específicamente en As en pescado, puede ser congruente con la incidencia de otros aspectos, dado que, existe literatura que establece que los niveles de metales pesados en pescados estarán relacionados con el entorno de vida del pez, con su hábito alimenticio, con su ciclo de vida y con el hábitat en el que se encuentran (Huang et al., 2019), este último, como factor determinante de las variaciones en las concentraciones de metales pesados en peces (Goutte et al., 2015). De igual manera, podría deberse a que no se encontraron niveles importantes de As en agua en el lugar en donde se tomó la muestra, por lo que la presencia de arsénico en pescado, podría estar relacionada con la presencia de este mismo metal en aguas contaminadas, esto, de acuerdo con lo establecido por Huang e investigadores (2019) en donde menciona que la presencia de metales o metaloides en peces puede reflejar (hasta cierto punto) la contaminación ambiental del agua (Gale et al., 2002) (Liu et al., 2018), En ese orden de ideas, si bien existen investigaciones que han encontrado As en pescado, esto va a depender de un conjunto de factores, previamente mencionados, que permitirán medir estos metales en esta matriz.

Los factores tomados en consideración en la regresión múltiple, se definen debido a que estudios previos reportan que la distribución de metales pesados entre los diferentes grupos de edad se relaciona con el metabolismo, con la exposición ambiental y con factores fisiológicos inherentes al ser humano (Ashraf et al., 1995) (Nakaona et al., 2020). Asimismo, otras investigaciones revelan que la presencia de estas sustancias químicas en muestras de cabello van a variar, dependiendo la edad, el sexo, las diferencias en ubicaciones geográficas, el estado nutricional, los hábitos de fumar y la exposición ambiental (Miekeley et al., 1998) (He et al., 2016). En primera medida y con relación al sexo se plantea en un estudio llevado a cabo en Malasia, que en muestras de cabello, las mujeres contenían un mayor nivel de Ni que los hombres, y concluyen que este comportamiento del metal, podría estar asociado a la exposición ambiental, al metabolismo y la predisposición genética (Aziz et al., 2022). Por otro lado, y referente a la ubicación

geográfica o zona de residencia (asociado también a la exposición ambiental) se sopesaron estudios que revelan que, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales se detectan concentraciones de Níquel relativamente altas (He et al., 2016), esto ocasionado por los flujos de deposición y las concentraciones de material particulado en áreas urbanas (Peng et al., 2014).

Sin embargo, en este contexto, se considera importante aclarar que en la revisión bibliográfica llevada a cabo anteriormente, la información acerca de estudios realizados en zonas afectadas por la minería de Ferroníquel fue limitada, por lo cual, en un escenario similar al que se está estudiando en la presente investigación, no es posible comparar los resultados obtenidos con evidencia científica, se contemplan estudios que relacionen exposición ocupacional y ambiental en diferentes ámbitos.

Finalmente, este estudio presenta diferentes limitaciones. En primer lugar, hubo sesgo de selección en el momento en que se lleva a cabo la aplicación de las encuestas, en segundo lugar, la muestra del estudio, específicamente a quienes se les toma muestras de cabello resulta siendo pequeña, si se tiene en cuenta toda la población del municipio, por consiguiente, en el momento de estimar el error esperado, se obtiene un valor por encima del 5% (6,15%). Asimismo, las muestras de pescado no fueron caracterizadas con las condiciones específicas mencionadas en la discusión, por lo que podría inducir a un sesgo de información, el cual también podría existir, debido a que no se lleva a cabo, una caracterización específica y detallada del puesto de trabajo de quienes están expuestos ocupacionalmente. Finalmente, pese a que se hace análisis de confusores para la exposición ambiental, en el análisis de asociación bivariada se incurre en un sesgo de confusión, puesto que se evidenció una asociación inversa que puede ser atribuida a factores no contemplados en la investigación relacionados con la previamente mencionada caracterización detallada del puesto de trabajo y del uso de los EPP.

5. Conclusión

En primera medida, en la zona de estudio se presenta exposición ambiental y ocupacional a mezclas de metales pesados, de manera directa al Níquel por la presencia de la mina, y de forma indirecta al Arsénico por las diferentes fuentes existentes en la zona que pueden determinar la razón por la cual hay concentraciones de este metal en el cabello de población del municipio. En segundo lugar, respecto a las matrices ambientales, no hay resultados significativos, sin embargo, en pescado se encuentran concentraciones de Níquel importantes, específicamente en el Bocachico que es el pescado que más se consume en el municipio. En tercer lugar, en poblaciones ocupacionalmente expuestas se evidencian mayores concentraciones de metales en cabello, que en poblaciones ambientalmente expuestas. Finalmente, es imprescindible evaluar aspectos como la edad, el sexo, la ubicación geográfica y los hábitos de vida en estas poblaciones, como factores asociados y clave para el análisis de las muestras de metales.

6. Recomendaciones

Los resultados de este estudio indican que la población de Montelíbano (Córdoba) se encuentra expuesta a mezclas de metales pesados y a plaguicidas por las actividades de minería y agricultura por lo que se requiere llevar a cabo actividades educativas y de capacitación para concientizar a la población sobre los riesgos a los cuales están expuestos por el contacto con sustancias químicas.

Para las matrices ambientales, se recomienda realizar una vigilancia activa que incluya la medición de forma periódica de sustancias químicas en matrices como pescado y agua, así como acciones que disminuyan la exposición y evalúen los posibles efectos sobre la salud y el ambiente.

Para la población ocupacionalmente expuesta se recomienda la inclusión en programas de vigilancia epidemiológica ocupacional, procesos de educación y capacitación relacionada con sus labores, y con cumplimiento de las normas de higiene, seguridad industrial y protección individual.

Por su parte, también se recomienda que en futuras investigaciones se realice el estudio con una muestra mayor que permita analizar y evidenciar la exposición de estos metales en cabello, y en otro tipo de matrices biológicas.

7. Bibliografía

- Adriano, D. C. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals*. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>
- Ashraf, W., Jaffar, M., Anwer, K., & Ehsan, U. (1995). Age- and sex-based comparative distribution of selected metals in the scalp hair of an urban population from two cities in Pakistan. *Environmental Pollution*, 87(1), 61-64. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)80008-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)80008-6)
- Aziz, M. Y., Hussain, S. H., Ishak, A. R., Abdullah, M. A., Mohamed, R., Ruzi, I. I., Yahaya, N., Samad, N. A., & Edinur, H. A. (2022). Heavy Metal Concentrations in Malaysian Adults' Hair and Associated Variables in Bukit Mertajam, Penang, Malaysia. *Biological Trace Element Research*, 200(8), 3475-3481. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02942-5>
- Beeravolu, N., McKee, C., & Chaudhry, G. R. (2017). Mechanism of arsenite toxicity in embryonic stem cells. *Journal of Applied Toxicology*, 37(10), 1151-1161. <https://doi.org/10.1002/jat.3469>
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2005). Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403-412. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.02.001>
- Carpenter, D. O., Arcaro, K., & Spink, D. C. (2002). Understanding the human health effects of chemical mixtures. *Environmental Health Perspectives*, 110(Suppl 1), 25-42. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241145/>
- Chatterjee, S., Datta, S., & Gupta, D. K. (2017). Studies on Arsenic and Human Health. En *Arsenic Contamination in the Environment* (pp. 37-66). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54356-7_3
- Cifuentes, J., & Guiza, L. (2021). *El rostro de la mujer minera en Colombia: Un análisis a partir del enfoque de género**. [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CDR/18%20\(2021\)/11768326005/](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CDR/18%20(2021)/11768326005/)
- Dunia, M., & Heredia, R. (2017). ARTÍCULO DE REVISIÓN Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. En *MEDISAN* (Vol. 21, Número 12).
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26, 141-153. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1137-66272003000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Gale, N. L., Adams, C. D., Wixson, B. G., Loftin, K. A., & Huang, Y.-W. (2002). Lead concentrations in fish and river sediments in the old lead belt of Missouri. *Environmental Science & Technology*, 36(20), 4262-4268. <https://doi.org/10.1021/es020545o>
- Goutte, A., Cherel, Y., Churlaud, C., Ponthus, J.-P., Massé, G., & Bustamante, P. (2015). Trace elements in Antarctic fish species and the influence of foraging habitats and dietary habits on mercury levels. *The Science of the Total Environment*, 538, 743-749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.103>
- He, M.-J., Wei, S.-Q., Sun, Y.-X., Yang, T., Li, Q., & Wang, D.-X. (2016). Levels of five metals in male hair from urban and rural areas of Chongqing, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21), 22163-22171. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7448-9>
- Huang, X., Qin, D., Gao, L., Hao, Q., Chen, Z., Wang, P., Tang, S., Wu, S., Jiang, H., & Qiu, W. (2019). Distribution, contents and health risk assessment of heavy metal(loid)s in fish from different water bodies in Northeast China. *RSC Advances*, 9(57), 33130-33139. <https://doi.org/10.1039/c9ra05227e>
- Idrovo, J., Rubio, C. R., & Castellanos, C. A. (2017). Perception of pollution and arsenic in hair of indigenous living near a ferronickel open-pit mine (Córdoba, Colombia): Public health case report. *Salud UIS*, 49(1), Article 1. <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017011>
- Juncos, R., Arcagni, M., Rizzo, A., Campbell, L., Arribére, M., & Guevara, S. R. (2016). Natural origin arsenic in aquatic organisms from a deep oligotrophic lake under the influence of volcanic eruptions. *Chemosphere*, 144, 2277-2289. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.092>
- Liu, Y., Liu, G., Yuan, Z., Liu, H., & Lam, P. K. S. (2018). Heavy metals (As, Hg and V) and stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in fish from Yellow River Estuary, China. *The Science of the Total Environment*, 613-614, 462-471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.088>
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). *LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL*. 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Lotah, H. N. A., Agarwal, A. K., & Khanam, R. (2022). Heavy metals in hair and nails as markers of occupational hazard among welders working in United Arab Emirates. *Toxicological Research*, 38(1), 63-68. <https://doi.org/10.1007/s43188-021-00091-4>

- Mahecha Pulido, J. D., Trujillo González, J. M., & Torres Mora, M. A. (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Orinoquia*, 21(1 Sup), 83-93.
<https://doi.org/10.22579/20112629.434>
- Marrugo-Negrete, J. L., Ruiz-Guzmán, J. A., & Ruiz-Fernández, A. C. (2018). Biomagnification of Mercury in Fish from Two Gold Mining-Impacted Tropical Marshes in Northern Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(1), 121-130. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0459-9>
- Martínez, Z., González, M. S., Paternina, J., & Cantero, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), Article 2.
<https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.941>
- Miekeley, N., Dias Carneiro, M. T. W., & Porto da Silveira, C. L. (1998). How reliable are human hair reference intervals for trace elements? *Science of The Total Environment*, 218(1), 9-17.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00185-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00185-5)
- Resolución 2115 del 2007, (de junio). <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>
- Mosquera, A., José, H., Leal, C., Galvis, C., Judith, A., Uribe, C., Rodríguez, C., Milena, S., Muegue, D., Carlos, L., Marcela, L., Vargas, G., Alfredo, G., Rubio, G., Cuastumal, I., Nolan, S., Cruz, L., Manuel, J., Gómez, M., ... Alberto, J. (2019). *DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL RESPECTO A LA ACTIVIDAD MINERA Y LA EXTRACCIÓN ILÍCITA DE MINERALES EN EL PAÍS*. 372.
<http://www.humboldt.org.co/images/documentos/2-diagnostico-actividad-minera-y-explotacin-ilicita-expertos.pdf>
- Nakaona, L., Maseka, K. K., Hamilton, E. M., & Watts, M. J. (2020). Using human hair and nails as biomarkers to assess exposure of potentially harmful elements to populations living near mine waste dumps. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(4), 1197-1209. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00376-6>
- Nouioui, M. A., Araoud, M., Milliand, M.-L., Bessueille-Barbier, F., Amira, D., Ayouni-Derouiche, L., & Hedhili, A. (2018). Evaluation of the status and the relationship between essential and toxic elements in the hair of occupationally exposed workers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(12), 731.
<https://doi.org/10.1007/s10661-018-7088-2>

- Pastor, K., Acevedo, A., & Acosta, D. (2020). *Minería y salud ambiental: Un análisis desde la producción de carbón, ferroníquel y oro en Colombia*.
- Pedraza, M. L., & Ramírez, A. J. E. (2022). EL LEGADO DEL ARSÉNICO Y MERCURIO EN EL COMPLEJO CENAGOSO RAMSAR DE AYAPEL, (CÓRDOBA, COLOMBIA): APROXIMACIÓN A LA MACROCUENCA MAGDALENA-CAUCA. *Acta Biológica Colombiana*, 27(2), Article 2. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n2.89084>
- Peng, Y.-L., Wang, Y.-M., Qin, C.-Q., & Wang, D.-Y. (2014). [Concentrations and deposition fluxes of heavy metals in precipitation in core urban areas, Chongqing]. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 35(7), 2490-2496.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz-Lagos, M., & González-Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
- Rodriguez-Levy, I. E., Van Damme, P. A., Carvajal-Vallejos, F. M., & Bervoets, L. (2022). Trace element accumulation in different edible fish species from the Bolivian Amazon and the risk for human consumption. *Heliyon*, 8(11), e11649. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11649>
- Rosso, J. J., Schenone, N. F., Pérez Carrera, A., & Fernández Cirelli, A. (2013). Concentration of arsenic in water, sediments and fish species from naturally contaminated rivers. *Environmental Geochemistry and Health*, 35(2), 201-214. <https://doi.org/10.1007/s10653-012-9476-9>
- Skalny, A. V., Kaminskaya, G. A., Krekesheva, T. I., Abikenova, S. K., Skalnaya, M. G., Bykov, A. T., & Tinkov, A. A. (2018). Assessment of hair metal levels in aluminium plant workers using scalp hair ICP-DRC-MS analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 50, 658-663. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.06.014>
- Sousa, E. A. de, Miranda, M. R., dos Santos, M. H., Costa Júnior, W. A., Lauthartte, L. C., Mussu, M. H., de Holanda, I. B. B., & Bastos, W. R. (2015). Assessment of trace metals in Amazonian fish exposed to untreated urban sewage: High chromium concentrations in fish tissues. *Revista Ambiente & Água*, 10, 499-509. <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/MJ7BnNNChkJxtK3dgWXqHGn/?format=html&lang=en>

Suzuki, T., Watanabe, H., Kita, K., Honma, T., & Ochi, T. (2018). Arsenite-induced histone H3 modification and its effects on *EGR1* and *FOS* expression in HeLa cells. *Journal of Applied Toxicology*, 38(5), 734-743.

<https://doi.org/10.1002/jat.3581>

Thiel, I. (2017). *Metales pesados*.

<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm>

Veiga, M. M., Baker, R. F., Fried, M. B., & Withers, D. (2004). *Protocols for environmental and health assessment of mercury released by artisanal and small-scale gold miners*. Global Mercury Project, UNIDO.

Wang, X., Yang, Y., Wang, X., & Xu, S. (2006). The Effect of Occupational Exposure to Metals on the Nervous System Function in Welders. *Journal of Occupational Health*, 48(2), 100-106.

<https://doi.org/10.1539/joh.48.100>