



Universidad del
Rosario

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A NÍQUEL Y MERCURIO EN POBLACIÓN OCUPACIONAL Y
AMBIENTALMENTE EXPUESTA EN EL MUNICIPIO DE MONTELÍBANO (CÓRDOBA)
EN COLOMBIA

Investigadores

Flor Esperanza González Franco
Sergio Osorio Hidalgo

Trabajo presentado como requisito para optar por el
título de Maestría En Seguridad Y Salud En Trabajo
Universidad del Rosario

Bogotá, 2022

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A NÍQUEL Y MERCURIO EN POBLACIÓN OCUPACIONAL Y
AMBIENTALMENTE EXPUESTA EN EL MUNICIPIO DE MONTELÍBANO (CÓRDOBA)
EN COLOMBIA

Estudiantes:

Flor Esperanza González Franco
Sergio Osorio Hidalgo

Tutor temático:

Dra. Marcela Eugenia Varona Uribe.

Tutor metodológico:

Dra. Gilma Norela Hernández Herrera

Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo

Universidad del Rosario

Bogotá D.C., 2022

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A NÍQUEL Y MERCURIO EN POBLACIÓN OCUPACIONAL Y AMBIENTALMENTE EXPUESTA EN EL MUNICIPIO DE MONTELÍBANO (CÓRDOBA) EN COLOMBIA

Investigadores

Flor Esperanza González Franco
Sergio Osorio Hidalgo

Nombre Tutor Temático: Dra. Marcela Eugenia Varona Uribe

Nombre del tutor Metodológico: Gilma Hernández

Resumen estructurado

Introducción: En Colombia las actividades mineras generan contaminación con metales pesados como el Níquel y el Mercurio, generando efectos sobre la salud humana y sobre el medio ambiente. La contaminación que se produce en el suelo y en el agua se constituye en un determinante importante en la seguridad alimentaria, toda vez que amenaza a la salud humana. En Montelíbano las actividades económicas del municipio están representadas por la ganadería, agricultura y minería, dentro de este último esta la mina de ferroníquel y minería del oro que se hace de forma artesanal

Objetivo: Determinar la exposición a Níquel y Mercurio en población ocupacional y ambientalmente expuesta en el municipio de Montelíbano (Córdoba) en Colombia.

Materiales y métodos: estudio de tipo descriptivo transversal, en el que participaron 100 personas de Montelíbano (Córdoba), el 50% de la muestra fue de personas ocupacionalmente expuestas y 50% ambientalmente expuestas. Se determinaron las características sociodemográficas, antecedentes laborales, ambientales y hábitos alimenticios, y se realizó el análisis de los niveles de Níquel y Mercurio en muestras biológicas (cabello) de la población de estudio y en muestras ambientales (agua y pescado). Se calcularon medidas de tendencia central y de dispersión y se buscaron relaciones entre las variables incluidas en el estudio.

Resultados: Las características sociodemográficas de los participantes resaltan que el 95,2% de los ocupacionales y el 63,9% de los ambientalmente expuestos son de sexo masculino, laboralmente activos en trabajos de minería con una edad promedio de 52 años y que viven en la cabecera municipal. Respecto a los hábitos alimenticios el 96,8% de los expuestos ocupacionales y el 97,2% de los refieren consumir pescado de un tamaño mediano y con una frecuencia de 1 a 2 veces por semana. Con respecto a la utilización de elementos de protección personal lo que más utilizaban los trabajadores fue el respirador (68,3%), los guantes (57,1%) y las botas de cuero (81,0%). La mediana de níquel (Ni) en los expuestos

ocupacionalmente fue de 0,55 ppm y en los expuestos ambientalmente de 0,37 ppm, no siendo esta diferencia estadísticamente significativa, mientras que la de mercurio (Hg) en los individuos expuestos ocupacionalmente fue de 2,22 ppm y 1,76 ppm para los ambientalmente expuestos, diferencia estadísticamente significativa ($p=0,0449$). En las muestras ambientales la mediana de Hg en pescado fue de 0,14418 mg/kg y en agua de 0,00035 $\mu\text{g/mL}$, para Ni de 0,4081 mg/kg en pescado y en agua de 0,0045 $\mu\text{g/mL}$.

Conclusiones: Los grupos poblacionales de este estudio se encuentran expuestos a mezcla de metales pesados como níquel y mercurio por exposición tanto ocupacional por trabajo en minería como ambiental a través de las diferentes matrices como suelo, aire, agua y alimentos.

Introducción

En Colombia las actividades mineras generan contaminación con metales pesados como el Níquel y el Mercurio, generando efectos sobre la salud humana y sobre el medio ambiente (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2005).

La minería ha impactado en las políticas públicas no solo por los ingresos generados de esta práctica, sino por el impacto social y ambiental debido a la realización de este trabajo, en el 44% de los municipios de Colombia ha existido minería ya sea ilegal o no. (Defensoría del pueblo, 2010)

En Colombia, la mayoría de las actividades extractivas de minerales se realiza de manera artesanal. La explotación de oro puede ser aluvial, con dragas de succión y para explotaciones subterráneas, con apiques y galerías con cámaras y equipo mecánico (Ayala M. et al., 2019). Esta práctica genera vapores de mercurio que contaminan el aire y el agua, afectando no solo a quienes realizan este trabajo sino también a las comunidades cercanas a la extracción (Uribe Restrepo et al., 2018).

Las principales vías de ingreso del mercurio son la oral por el consumo de pescado y la inhalatoria por la cual ingresan los vapores, afectando principalmente el sistema nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, los pulmones y riñones. Para la Organización Mundial de la Salud, la exposición de Mercurio en las comunidades que practican minería artesanal está relacionado con la disfunción renal y síntomas del sistema nervioso.

Los efectos en la salud están determinados por el tipo de mercurio. La exposición a mercurio inorgánico está asociada con afectaciones del sistema nervioso central, la función renal (Uribe Restrepo et al., 2018), y genera problemas en el psicodesarrollo. Los compuestos orgánicos desencadenan alteraciones sobre sistema nervioso central y periférico. Para la (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017) el mercurio bien sea en su forma elemental o inorgánica, tiene efectos neurológicos adversos y es sobre todo tóxico durante el desarrollo del feto y la niñez.

El estudio realizado por Fernández Villalobos, (2019), mostró que la vía más importante de ingreso es la inhalación del vapor de mercurio que se libera durante la quema de las

amalgamas. Al realizar esta actividad con las manos, parte del mercurio se absorbe directamente a través de la piel dado que casi siempre la amalgamación y el quemado se hacen sin tomar medidas de protección, lo que es corroborado por Santa María, (2017) quien refiere que la exposición minera y metalúrgica al mercurio, sin protección, es un riesgo inherente para la aparición de casos de intoxicación.

Díaz et al., (2018), en su investigación identificó las características demográficas y sociales de una población y arrojó como resultado que el uso de mercurio en la minería artesanal, es un problema de salud pública para la comunidad objeto de estudio, 406 personas tanto ambiental como ocupacionalmente expuestas, tuvieron niveles por encima de los límites permisibles ($> 7 \mu\text{g/l}$ en orina, o $>5 \mu\text{g/l}$ en sangre total, o $> 1 \mu\text{g/g}$ de cabello), con signos y síntomas relacionados con intoxicación por Hg.

Para la (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017), otra forma de exposición de mercurio se puede dar por el consumo de grandes cantidades de pescado contaminado con este metal. En las actividades de minería el mercurio que se evapora durante el proceso de quema se emite a la atmosfera y una vez oxidado se deposita en la tierra y en los cuerpos de agua, transformándose en metilmercurio y acumulándose en la cadena alimenticia afectando pescados y mariscos.

Por su parte el níquel, en la exposición a nivel mundial, se ha demostrado altos niveles de este metal, en orina, sangre y tejidos corporales con énfasis en los pulmones, siendo la inhalación la principal vía de absorción (Genchi et al., 2020). En Colombia existen seis yacimientos de níquel, tres localizados en el departamento de Córdoba y tres en Antioquia. La mena se extrae por minería a cielo abierto –open pit- y se almacenan en pilas según la calidad, de allí se lleva a trituración y mezcla para procesarlo en planta de fundición (Ministerio de Minas y Energía, 2009).

Los principales productores de níquel a nivel mundial son Rusia, Canadá, Australia, Indonesia, Nueva Celedonia y Cuba. Este último país, esta una de las regiones más importantes en la explotación de Níquel, la provincia Holguín en donde se encuentran las mayores reservas de Hierro, Cromo y Níquel (Cano Reynosa et al., 2018).

Para la OIT, los riesgos por exposición ocupacional a níquel se dividen en tres categorías: Alergias, Enfermedades respiratorias y Cánceres de las cavidades nasales, del pulmón y otros órganos. Los trabajadores con un alto grado de exposición a los compuestos solubles de níquel pueden desarrollar alteraciones en la función de los túbulos renales, que se manifiestan por un aumento en la excreción renal de $\beta 2$ -microglobulina ($\beta 2\text{M}$) y N-acetilglucosaminidasa (NAG). («Productos químicos», 1998).

Para (Lightfoot et al., 2010), la carcinogenicidad humana del níquel depende del tipo de níquel, su concentración y la vía de exposición. Si bien, no se ha demostrado que la exposición al níquel o a compuestos de níquel por vías distintas a la inhalación aumente el riesgo de cáncer en humanos, existe evidencia de una asociación entre el cáncer y el procesamiento de metales relacionado con el níquel.

En este marco, los metales pesados como el Níquel, el Mercurio, produce un impacto no solo sobre el medio ambiente, sino también provoca efectos sobre la salud de los seres humanos. (Jan et al., 2015). En el municipio de Montelíbano en Colombia, la población se encuentra expuesta a estos metales pesados y otros, producto de las actividades mineras,

Las actividades económicas del municipio están representadas por el sector primario ganadería, agricultura y minería, dentro de este último esta la mina de ferroníquel y minería del oro que se hace de forma artesanal, el sector secundario conformado por empresas de producción manufacturera y las dedicadas a la transformación de materias primas y el sector terciario por el comercio de bienes y servicios.

Con respecto a las actividades agrícolas y mineras, la contaminación del suelo y del agua es un determinante importante en la seguridad alimentaria, constituyéndose como una amenaza asociada para la salud humana y el medio ambiente (Lu et al., 2015), debido a la concentración de metales pesados como el níquel y el mercurio.

Con el fin determinar la exposición a níquel y mercurio en población ocupacional y ambientalmente expuesta en el municipio de Montelíbano- Córdoba, se realizó determinaciones ambientales de metales en muestras de pescado y agua, y como biomarcadores de efecto se evaluaron los niveles de dichas sustancias químicas en muestras biológicas de cabello.

Materiales y métodos

Este estudio es de tipo transversal analítico, en el que se incluyó a población ambiental y ocupacionalmente expuesta, para determinar los niveles de níquel y mercurio en muestras biológicas y ambientales del municipio Montelíbano - Córdoba.

Se entiende por población ocupacionalmente expuesta la dedicada a la actividad minera o agrícola, quienes por su trabajo manipulan metales, por lo que su exposición es directa (población trabajadora) y la ambientalmente expuesta es la que se expone de forma indirecta a través matrices ambientales como son aire, agua, suelos y alimento (población general). Los acercamientos con esta población se realizaron mediante la secretaría de salud municipal, la cual se encargó de la consecución de la muestra.

Como criterios de Inclusión se tuvieron en cuenta: adultos de cualquier edad, sexo, grupo étnico, población expuesta ocupacionalmente con un tiempo de al menos seis meses utilizando metales pesados, población expuesta ambientalmente a mezclas metales pesados que hayan vivido al menos seis meses en la zona y población de áreas urbana y rural del municipio de Montelíbano-Córdoba.

Se excluyeron aquellos individuos que hayan presentado alguna enfermedad neurológica como epilepsia, Parkinson, evento cerebro vascular o trastornos mentales como esquizofrenia o alteración bipolar y a las personas que no firmaron 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 la importancia de este como contaminante ambiental en Colombia (Min Salud, 2018, p. 7).

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.

La variables que se tuvieron en cuenta para este estudio fueron las siguientes: sociales y demográficas (edad, sexo, escolaridad, afiliación al SGSSS), laborales (oficio actual, tiempo en el oficio, antecedente de trabajo en actividades mineras, frecuencia semanal de uso de sustancias químicas, medidas de higiene), ambientales (residencia en área de minería, fuentes vivienda cerca a sitios de quema de amalgama, fuente de agua), hábitos alimenticios (consumo de agua y pescado, cantidad, frecuencia, y tipo de pescado), toxicológicas (condición de fumador y consumo de alcohol), biológicas (cabello como indicadores de exposición).

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). Antes de iniciar la fase de recolección de la información se dio una inducción al personal encargado de diligenciar la encuesta a cada uno de los individuos seleccionados en la muestra. Esta inducción estuvo a cargo del grupo investigador.

Referente a los métodos para el control de la calidad de los datos y sesgos considerados para la investigación, se estableció en primer lugar el sesgo de selección, el cual implementó como estrategia de control la definición de criterios de inclusión y exclusión claros y el cálculo de tamaño de muestra con una confianza del 95%. Sobre el sesgo de información del observador, se incluyó una capacitación y estandarización de 8 horas en la aplicación de las entrevistas, toma y almacenamiento de muestras y posteriormente en campo se realizó un refuerzo de la capacitación y el entrenamiento de encuestadores. Igualmente, alrededor del sesgo de información de instrumentos, se presentaron como estrategia de control, el ensayo piloto de formulario y prueba piloto del formato de recolección de información, el uso de reactivos certificados y el análisis de metales con métodos estandarizados y documentados.

Desde el sesgo de información del observado (sesgo de memoria) se establecieron como estrategias de control aplicar una encuesta estandarizada a todas las personas, lo que implicó el entrenamiento a encuestadores del estudio. Con respecto al sesgo de información, se realizó una prueba piloto para estandarizar instrumentos y problemas logísticos, ajustados antes del inicio del estudio. Por último, para el sesgo de confusión, se determinó la identificación de estos en fase de planeación y en el análisis estadístico se hizo su control.

A cada participante, previa explicación de los procedimientos y firma del consentimiento informado, se le tomó una muestra de cabello (región occipital del cuero cabelludo). La toma de estas muestras estuvo a cargo de los médicos/bacteriólogos/enfermeros y otros profesionales de salud que participaron en el estudio. 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 (aproximadamente 10 mg en total). Las muestras fueron analizadas por ICP-MS en el Laboratorio de ICP-MS (Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente) del Departamento de Química de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro en Brasil.

El análisis de metales en muestras ambientales se realizó por espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío (CVAAS). Para la recolección de la muestra de agua se tomó un volumen de 1 litro y un total de 6 muestras de agua para la de los metales de interés de ríos cercanos del municipio de Montelíbano – Córdoba.

La recolección de muestras de pescado estuvo a cargo de un funcionario de la secretaria de salud municipal, quien seleccionó las estaciones de muestreo (sitios estratégicos de pesca artesanal). En cada sitio se colectaron muestras mayores de 25 cm de longitud, para cada especie, quienes fueron capturadas directamente por pescadores locales.

Se llevó a cabo un estudio piloto en un 10% del total de la muestra de individuos, a quienes se les realizó la prueba de formularios, lo cual ayudó a contemplar ajustes, tanto de instrumentos como de tiempos y movimientos. Se desarrolló aplicando el formulario a través de llamadas telefónicas, en la que tres de los investigadores del estudio, que estaban capacitados para esta actividad, hicieron las preguntas a un total de 10 personas, entre estudiantes pertenecientes a las universidades que hacen parte del estudio y personal operativo y administrativo del sector. Estos participantes no formaron parte de la población muestra seleccionada en la investigación.

Para el análisis estadístico de este estudio se realizó con el software R 4.1.1 y Rstudio 2022.02.3+492 y la estimación de los parámetros se hizo con nivel de confianza del 95% y las pruebas de asociación con nivel de significación del 5%.

Se realizó un control de calidad del 100% de los registros incluidos en la base de datos. Esta actividad incluyó un análisis descriptivo de cada variable, para depuración de los datos, identificación de valores perdidos, valores de omisión y casillas en blanco como estrategias para aceptar o rechazar registros que presentasen problemas como errores, datos faltantes y valores fuera de rango (Outliers).

En el análisis estadístico descriptivo se utilizaron medidas de tendencia central y dispersión para aquellas variables de naturaleza cuantitativa. Las variables de naturaleza cualitativa se describieron utilizando distribuciones de frecuencias absolutas y porcentajes. Para analizar la asociación estadística entre variables categóricas con el tipo de exposición se utilizó prueba Chi Cuadrado de asociación o prueba exacta de Fisher según el cumplimiento de

supuestos. Para la comparación de los grupos de exposición en las variables cuantitativas se utilizó la prueba t de Student para comparación de medias, previa revisión de cumplimiento de supuesto de distribución normal y homocedasticidad.

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.

Resultados

El estudio incluyó una muestra total de 99 personas, de las cuales 16 (16,2%) correspondían al género femenino, y 83 (83,8%) al masculino. El 63,6% (63) de los participantes eran individuos expuestos ocupacionalmente y 36 (36,4%) expuestos ambientalmente; los individuos se encontraban en edades entre 21 y 81 años, teniendo como promedio la edad de 52,8 años (DE: 11.2 años). En la población expuesta ocupacionalmente el tiempo promedio de exposición fue de 20 años; de los trabajadores encuestados, 57 (57,6%) de ellos trabaja propiamente en las actividades de minería en la mina de ferróniquel, quienes trabajan con metales como hierro y níquel.

Se encontraron diferencias significativas por sexo ($p < 0.001$) y por tipo de afiliación al SGSSS ($p < 0,003$) entre las personas ambiental y ocupacionalmente expuestas. Con relación al tiempo de habitado en el municipio de Montelíbano por las personas del estudio se observó un promedio de 40 años. El promedio del tiempo que llevan laborando en el oficio fue de más de 20 años.

Las demás variables sociodemográficas por grupo de exposición se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características sociodemográficas por grupo de exposición de las personas de Montelíbano (Córdoba)

VARIABLES		EXPUESTOS OCUPACIONALMENTE		EXPUESTOS AMBIENTALMENTE		p
N		63		36		
Edad		52,3	(8,55)	53,61	(14,95)	0,58
Sexo	Masculino	60	(95,2)	23	(63,9)	0,001
	Femenino	3	(4,8)	13	(76,1)	
Estado civil	Casado/unión libre	53	(84,1)	29	(80,6)	0,86
	Separado /Soltero	10	(15,9)	7	(19,4)	
Escolaridad	Primaria	5	(7,9)	9	(25)	0,0658
	Bachiller	24	(38,1)	11	(30,6)	
	Educación superior	34	(54)	16	(44,4)	
Contributivo	Contributivo	58	(92,1)	24	(66,7)	0,003
	Subsidiado	5	(7,9)	12	(33,3)	
Oficio actual	Oficios varios	2	(3,2)	10	(27,8)	0,0000
	Minería y agricultura	60	(95,3)	1	(2,8)	
	Ninguno	1	(1,6)	25	(69,4)	
Tiempo Oficio (meses)		273,48	(131,76)	206,36	172,22	0,142
Hace cuanto vive en el área de estudio (meses)		453,25	163,59	470,14	(208,0)	0,656
Área	Rural	6	(9,5)	11	(30,6)	0,017
	Cabecera municipal	57	(90,5)	25	(69,4)	

En cuanto a los hábitos de vida de los participantes de este estudio, no se observó diferencias estadísticamente significativas por el consumo de licor ($p: 0,439$), por el hábito de fumar ($p: 0,079$) ni por el consumo de pescado ($p: 1,0$); sin embargo, frente al consumo de pescado, en este estudio se encontró en la mayoría de los participantes, un alto consumo de este alimento, 96,8% en los expuestos ocupacionalmente y 97,2% en los expuestos ambientalmente. En general la mayoría de los expuestos ocupacionales (93,4%) y de los expuestos ambientales (85,7%) refieren consumir pescado de un tamaño mediano y con una frecuencia de consumo entre 1 a 2 veces por semana el 62,3% de los expuestos ocupacionales y del 77,1% de los ambientales, muy pocos mencionaron el consumo de más de 5 veces por semana. Con relación al tipo de pescado, la mayoría de los individuos expuestos ocupacionales (81,0%) y expuestos ambientales (75,0%), reportaron el consumo de Bocachico, seguido de la Cachama, el Bagre y la Tilapia.

Es importante mencionar que si bien la encuesta considero preguntar el hábito de consumo de pescado con relación a si era carnívoro o no, los participantes respondieron sin conocerlo, por lo que es preciso aclarar que las especies de pescado carnívoras corresponden al Atún,

Bagre, Blanquillo, Chango, Mojarra, Robalo, Sierra y Salmón. En las especies no carnívoras están el Barbudo, Bocachico, Cachama, Comelón, Tilapia y Vizcaína.

En el grupo de participantes expuestos ocupacionalmente se evaluaron las medidas de higiene y uso de elementos de protección personal, en los cuales se encontró que la mayoría (63,6%), manifestaron utilizar ropa de trabajo y ducharse después de la jornada laboral. Al preguntarles si consumían alimentos en el sitio de trabajo 26 (84,1%) trabajadores respondieron que lo hacían y manifestaron lavarse las manos antes de hacerlo. Para la pregunta si fuma en el sitio de trabajo, se encuentra en el estudio que solo una persona tiene el hábito de fumar, pero no en el sitio de trabajo, por lo que no se encuentra una relación significativa por este factor. Con respecto a la utilización de elementos de protección personal se observa con mayor uso el respirador (68,3%), los guantes de cuero (57,1%) y las botas de cuero (81,0%), solo 9 trabajadores manifestaron utilizar peto o delantal.

Tabla 2. Medidas de higiene y usos de elementos de protección personal utilizados por las personas expuestas ocupacionalmente de Montelíbano (Córdoba).

VARIABLES		EXPUESTOS OCUPACIONALMENTE			
N		63			
MEDIDAS DE HIGIENE Y USO DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	Ropa de trabajo		53	(84,1)	
	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	(84,3)	
	Se lava las manos antes de consumir los alimentos		26	(100)	
	Protección del rostro	Respirador	43	(68,3)	
		Tapabocas	19	(30,2)	
		Visor	11	(17,5)	
		Monogafas	43	(68,3)	
		Sobre gorra	7	(11,1)	
	Protección de miembros superiores	Guantes	Cuero	28	(57,1)
			Caucho	3	(6,1)
			Carnaza	4	(8,1)
			Vaqueta	5	(10,2)
Otros			9	(18,4)	
Protección tronco	Peto o delantal	Cuero	5	(55,6)	
		Caucho	2	(22,2)	
		Carnaza	2	(22,2)	

Protección de miembros inferiores	Calzado	Botas de caucho	4	(6,3)
		Botas en cuero	51	(81,0)
		Zapatos	1	(1,6)
		Tenis	1	(1,6)

En este estudio se midieron concentraciones de níquel y mercurio en cabello con el propósito de identificar niveles de exposición a estos dos metales y realizar la comparación entre las dos poblaciones expuestas anteriormente mencionadas. En la tabla 3 se presentan los estadísticos de resumen de las concentraciones encontradas de níquel y mercurio en cabello en la población, estratificando por tipo de exposición.

Tabla 3. Valores de Níquel y Mercurio de la población ocupacional y ambientalmente expuesta de Montelíbano (Córdoba).

CONCENTRACIONES DE NÍQUEL Y MERCURIO EN CABELLO							
VARIABLES	EXPUESTOS OCUPACIONALMENTE		EXPUESTOS AMBIENTALMENTE		P	Total	Valores de referencia (mg/g) ppm
N	63		36				
Ni (ppm)	0,55	(Q1:0,28; Q3:1,2)	0,37	(Q1:0,25; Q3:0,61)	0,119*	0,45	0,22+-
Mediana						(Q1:0,26; Q3:0,89)	0,8**
Hg (ppm)	2,22	(Q1:1,12; Q3:4,13)	1,76	(Q1:0,78; Q3:2,77)	0,0449*	1,94	1,00***
Mediana						(Q1:1,08; Q3:3,51)	

* Prueba de Mann Whitney

** World Health Organization. Environmental Health Criteria 108, Nickel, 1991

*** United Nations Environment Programme, World Health Organization. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure, 2008

De la tabla 3 se observa en los resultados de los dos metales pesados, que, para los dos grupos de exposición, los valores se encuentran por encima de los valores de referencia. La mediana de Ni encontrado en los expuestos ocupacionalmente fue de 0,55 ppm y en los expuestos ambientalmente de 0,37 ppm, no siendo esta diferencia estadísticamente significativa, mientras que la mediana de Hg encontrado en los individuos expuestos ocupacionalmente fue de 2,22 ppm y 1,76 ppm para los ambientalmente expuestos, diferencia que resulto estadísticamente significativa (p 0,0449)

Respecto a las concentraciones de níquel y mercurio en muestras de pescado y agua, se muestra en la tabla 4 los resultados de las muestras tomadas.

Tabla 4. Concentraciones de níquel (Ni) y mercurio (Hg) en muestras en muestras de agua y pescado de Montelíbano (Córdoba).

		NIQUEL (Ni)	MERCURIO (Hg)
PESCADO ppm (mg/kg)	Min	0,2126	0,0092
	Max	0,8198	0,2863
	Mediana	0,4081 (Q1:0,336; Q3:0,7404)	0,14418 (Q1:0,0901; Q3:0,2032)
	Media	0,5033 (SD:0,2636)	0,1466 (SD:0,1058)
Valores límites permisibles de Hg para pescado.	Carnívoro	(+)	0.5 mg/kg ¹
	No carnívoro	(+)	1 mg/Kg ¹
AGUA ppm (µg/mL)	Min	0,0016	0,00003
	Max	0,0227	0,0007
	Mediana	0,0045 (Q1:0,0038; Q3:0,0048)	0,00035 (Q1:0,00016; Q3:0,0004)
	Media	0,0069 (SD:0,0077)	0,0003 (SD:0,0002)
Valores límites permisibles de Hg en agua para consumo humano.		(+)	1,0 ug/L ¹

(+) Indica presencia del metal en la muestra

Fuente: ¹ (Resolución 122 del 2012- Ministerio de Salud y Protección Social)

Con relación a los niveles de mercurio en agua y en pescado se observa que no sobrepasan los valores límites permisibles, ni para peces carnívoros ni para no carnívoros. Para níquel se considera que cualquier valor distinto de cero, es decir, que cualquier cantidad por mínima que sea se considera positiva para pescado y agua.

Discusión

Las actividades mineras generan contaminación debido a la utilización de sustancias químicas, observándose como un problema que no solo afecta la salud humana sino también al medio ambiente [PNUMA], 2005). Este estudio muestra la exposición a níquel (Ni) tanto de las personas trabajadoras de la mina de ferroníquel, quienes manipulan este metal, como la comunidad cercana a la mina. Por lo anterior, las personas ocupacionalmente expuestas de este estudio corresponden a aquellas que trabajan en la mina de ferroníquel utilizando níquel con una exposición directa, y las personas ambientalmente expuestas, son aquellas que residen a los alrededores de la mina y área de estudio.

Así mismo en estudio realizado por Bolaños, 2017 se puede concluir que hay un efecto importante sobre la población de Montelíbano y más sobre las personas que se encuentran cerca de la mina, dentro de los efectos clínicos del estudio se reportan manifestaciones

irritativas de la vía superior conjuntiva ocular, irritación en vía aérea inferior, esto como principales efectos por contacto con níquel, también se pueden evidenciar alteración funcional del sistema nervioso, inmunitario, endocrino, cardiovascular, digestivo, urinario entre otros; al contacto con la piel causa dermatitis con inflamación, erupciones cutáneas y úlceras. (Salazar 2018)

Los individuos de los grupos de exposición de esta investigación se encuentran en una edad media de 55 años, representando población laboralmente activa y llevan viviendo en promedio 40 años en la zona de estudio. Los expuestos ocupacionalmente, en su mayoría eran hombres, esto se debe a que son los trabajadores de la mina de ferroníquel, así mismo se observa que el nivel educativo de las personas que hicieron parte del estudio contaban con estudios universitario, técnico o con bachillerato.

Con respecto al oficio la gran mayoría de la población objeto informó que se dedica tanto a la minería con a la agricultura, por lo tanto, se presenta una exposición a mezclas de sustancias químicas como son los metales pesados y los plaguicidas con un tiempo promedio laborado de más de 20 años, mostrando que hay una exposición crónica. Con relación a los hábitos alimenticios, se evidencia un alto porcentaje en el consumo de pescado en los dos grupos de población expuesta, no obstante, los resultados de las muestras ambientales realizadas en agua y pescado, en los cuales las concentraciones de mercurio no sobrepasaron los valores límites permisibles, se puede considerar que el alto consumo de pescado puede ser un factor de riesgo para la salud por contaminación de metil-mercurio, teniendo en cuenta que este metal se bioacumula y se biomagnifica en los peces carnívoros y que las concentraciones son influenciadas por el tamaño de la especie, propiciando la bioacumulación del metal. (Pérez 2008)

En cuanto al níquel, cualquier valor que se encuentre tanto en pescado como en agua, confirma la contaminación con este metal, esto se debe a la afectación de las matrices ambientales proveniente de la empresa que explota el ferroníquel, posiblemente los residuos de estas sustancias químicas que se emplean en la minería estén contaminando estas matrices y por tal razón, tanto pescado como agua presentan niveles de concentración de níquel, por ende la población ambientalmente expuesta reporta niveles de níquel por encima del valor límite permisible o valor de referencia. Igualmente puede haber contaminación de otras matrices ambientales como aire, pudiendo estar expuesta toda la población. Se observan también altas concentraciones de mercurio en muestras biológicas para las personas expuestas ocupacionalmente que llevan trabajando en minería más de 15 años y en las ambientalmente expuestas que llevan la mayor parte de su vida viviendo en la zona, tanto los expuestos ocupacionales como los ambientales tienen valores por encima de los valores de referencia, se considera que estos niveles de mercurio corresponden a la contaminación ambiental a través de matrices como aire, agua, suelos y alimentos teniendo en cuenta que Colombia es el país con mayor contaminación por mercurio per-cápita en el mundo (Cordy P. 2011).

Dado los niveles de concentración de níquel encontrados en las muestras biológicas y ambientales y los niveles de concentración de mercurio en las muestras biológicas de la población objeto de estudio, la Organización Mundial de la Salud (2017) indica que estos metales pueden afectar la salud provocando principalmente disfunción renal y síntomas en el sistema nervioso central. Los trabajadores con un alto grado de exposición a los compuestos solubles de níquel pueden desarrollar alteraciones en la función de los túbulos renales («Productos químicos», 1998), además existe la evidencia de carcinogenicidad por la manipulación de níquel, razón por la cual varios compuestos de este metal están clasificados en el grupo 1 y en el grupo 2B de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, 2022).

En lo concerniente a las medidas de higiene y seguridad industrial es de suma importancia para los trabajadores que laboran en la explotación de ferroníquel debido a la manipulación de metales pesados como el níquel, con respecto al uso de elementos de protección personal, si bien los trabajadores expuestos ocupacionalmente manifestaron utilizarlos, algunos elementos no son los adecuados para la actividad de minería como tapabocas desechables, guantes de caucho o látex y zapatos o tenis, también se evidencia la falta de elementos de protección como casco y protección auditiva. Esto puede provocar que estas sustancias penetren por vía inhalatoria y dérmica, afectando la salud de las personas expuestas que trabajan en la mina. Los elementos de protección personal deben cumplir con las especificaciones técnicas nacionales o internacionales que garanticen su calidad y eficiencia, el equipo básico de protección personal debe estar constituido por: casco de seguridad para la protección de caída de materiales y rocas, guantes protectores adecuado para la manipulación de metales pesados, calzado de seguridad botas con puntera reforzada, protección auditiva preferiblemente de copa, protección ocular adecuado para evitar la proyección de partículas y salpicadura de productos químicos y protección respiratoria con filtro para retener polvos (Gándara, 2009).

Conclusiones

En este estudio la población se encontraba expuesta a mezclas de metales pesados y plaguicidas por trabajo en minería y en la agricultura, procedían tanto de la zona rural como urbana, en su mayoría pertenecían al sexo masculino, con un rango de edad muy amplio, lo que indica que es población laboralmente activa, que inician su exposición en una edad temprana y permanecen trabajando durante casi toda su vida, lo que genera una exposición crónica a estas sustancias.

La exposición es tanto ocupacional como ambiental por lo que toda la población está expuesta a mezclas de estos metales pesados.

Los hallazgos de este trabajo evidenciaron la presencia de mercurio y níquel en las personas tanto ocupacional como ambientalmente expuestas, teniendo en cuenta las concentraciones de referencia, ya que en varios casos las superan.

Las concentraciones de níquel en agua y pescado indican que hay exposición a través de matrices ambientales de los dos grupos de exposición incluidos en el estudio.

Recomendaciones

Los resultados de este estudio indican que se debe minimizar la exposición a níquel (Ni); y maximizar las actividades educativas y de capacitación para concientizar a los trabajadores sobre los riesgos a los cuales están expuestos por el contacto con metales pesados

Realizar un control y selección de los elementos de protección personal para la población ocupacionalmente expuesta y determinar que sean los adecuados para la realización de la actividad, así mismo sensibilizar al personal en el uso y mantenimiento de los mismos.

Es importante hacer monitoreo periódico a las matrices agua y pescado para determinar los niveles de metales pesados incentivando el desarrollo de procedimientos como la fitorremediación que permitan de manera gradual la descontaminación

Fortalecer los sistemas de gestión ocupacionales, ambientales y de salud pública que permitan mitigar gradualmente los impactos sobre la salud de los trabajadores y de la población general expuesta a mezclas de sustancias químicas.

Conflicto de intereses

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.

Referencias Bibliográficas

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR]. (2005). *Resumen de Salud Pública: Níquel (Nickel)*. ATSDR en español. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.html

Ayala Mosquera, Helcías José; Cabrera Leal, Mauricio; Cadena Galvis, Ana Judith,, Castaño Uribe, Carlos; Contreras Rodríguez, Sandra Milena; Diaz Muegue, Luis Carlos,, Espitia – Pérez, Lyda Marcela; Gil Vargas, Gonzalo Alfredo; Gómez -Fernández, Santiago,, González Rubio, Héctor; Ipaz Cuastumal, Sandro Nolan; Larrahondo Cruz, Joan Manuel,, Macías Gómez, Luis Fernando; Madriñán Valderrama, Luis Francisco; Mantilla Castro, Ludwing; Medina Moncayo, Yaniro Gabriel; Molina-Castaño, Carlos Federico; Montoya, Nuñez, Carlos Eduardo; Pantoja Timarán, Freddy Hernán; Peña Ortiz, Javier Ignacio,, Perez Sanchez, Ezequiel Lucas; Pinto Martínez, Elías; Quiroz Arcentales, Jorge Leonardo,, Restrepo Baena,

Oscar Jaime; Roa Fuentes, Camilo Andrés; Rodríguez Villamizar, Laura, Andrea; Saldarriaga Isaza, Carlos Adrián; Salgado Bonnet, Jorge; Sarmiento Pinzón, Janeth Patricia; Torres Acuña, Julisa; Torres Rodríguez, Gerardo Andrés; Valencia, Núñez, Amílcar José; Valladares Salinas, Riguey Ysabel; Vasquez Ochoa, Olga Yaneth;, & Velásquez Villegas, Jorge Alberto. (2019). *Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita de minerales en el país*. <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/2-diagnostico-actividad-minera-y-explotacin-ilicita-expertos.pdf>

Braun, J. M., Froehlich, T. E., Daniels, J. L., Dietrich, K. N., Hornung, R., Auinger, P., & Lanphear, B. P. (2008). Association of environmental toxicants and conduct disorder in U.S. children: NHANES 2001-2004. *Environmental Health Perspectives*, 116(7), 956-962. <https://doi.org/10.1289/ehp.11177>

Bolaños Maje, D. F., González Sánchez, P. A., & Reyes Barahona, M. F. (2017). Análisis de las causas del impacto socioeconómico y ambiental de la minería a cielo abierto en la región del Alto San Jorge–Córdoba Colombia. Caso Cerro Matoso.

Cano Reynosa, Y., Che Viera, A. C., & García Bruzón, Y. (2018). Formación de una cultura de prevención de riesgos laborales en los trabajadores de la industria del níquel en MOA. *Revista de Innovación Social y Desarrollo*, 3(1), 38-47.

Defensoria del pueblo. (2010). *La Minería de Hecho en Colombia*. https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/F11B784C597AC0F005257A310058CA31/%24FILE/La-miner%C3%ADa-de-hecho-en-Colombia.pdf

Díaz, S., Muñoz Guerrero, M., Palma Parra, M., Becerra Arias, C., & Fernández Niño, J. (2018). Exposure to Mercury in Workers and the Population Surrounding Gold Mining Areas in the Mojana Region, Colombia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2337. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112337>

Díaz, M. (2009). *Manual de salud y seguridad en trabajos de minería*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Aulas y Andamios

Fedesarrollo. (2012). *Impacto socioeconómico de la minería en Colombia*. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/375/Impacto%20socioeconomico%20de%20la%20miner%C3%ADa%20en%20Colombia%20-%20Informe_Impacto_de_la_mineria_Final%2026%20abril.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Fernández Villalobos, N. (2019). Exposición a mercurio de las personas que trabajan en la minería artesanal de oro, Costa Rica, 2015-2016. *Población y Salud en Mesoamérica*, 17(1), 67-94. <https://doi.org/10.15517/psm.v17i1.37789>

Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>

Instituto Nacional de Salud. (2018). *Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia. Informe técnico especial 10. ONS*.

Iglesias A, V., Burgos D, S., Marchetti P, N., Silva Z, C., & Pino Z, P. (2008). Nivel de níquel urinario en niños residentes en ciudades cercanas a megafuentes. *Revista Médica de Chile*, 136(8). <https://doi.org/10.4067/S0034-98872008000800013>

International Agency for Research on Cancer. (2022). *Agents Classified by the IARC Monographs*, Volumes 1–132. <https://www.certifico.com/component/attachments/download/29948>

Jan, A., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., Choi, I., & Haq, Q. (2015). Heavy Metals and Human Health: Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(12), 29592-29630. <https://doi.org/10.3390/ijms161226183>

La Asociación Médica Mundial (AMM). (2015). *Declaración de HELSINKI de la Asociación Médica Mundial*. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/6.pdf

Lightfoot, N. E., Pacey, M. A., & Darling, S. (2010). Gold, Nickel and Copper Mining and Processing. *Chronic Diseases and Injuries in Canada*, 29(Supplement 2), 101-124. <https://doi.org/10.24095/hpcdp.29.S2.03>

Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A. J., Jenkins, A., Ferrier, R. C., Li, H., Luo, W., & Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environment International*, 77, 5-15. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.010>

Mager Stellman, J. (1998). Productos químicos. En C. Pawlowsky (Trad.), *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (4.^a ed.). Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. <https://www.insst.es/tomo-ii>

Ministerio de Minas y Energía. (2009). *El níquel en Colombia*. http://www.upme.gov.co/Docs/Niquel_Colombia.pdf

Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., & Negrete-Marrugo, J. (2011). Relationship Between Localization of Gold Mining Areas and Hair Mercury Levels in People from Bolivar, North of Colombia. *Biological Trace Element Research*, 144(1–3), 118–132. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9046-5>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2017). *Riesgos para la salud relacionados con el trabajo y el medioambiente asociados a la extracción de oro artesanal o a pequeña escala*. OMS. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/259452>

Panduro, G., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, K., Iannacone, J., Alvariño, L., & Crnobrna, B. (2020). Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3), e18177-e18177. <https://doi.org/10.15381/rivrep.v31i3.18177>

Pérez, T., & Pouilly, M. (2008). Bioacumulación y biomagnificación del Mercurio en los peces de la cuenca Iténez. Pouilly M., Pérez T., Ovando A., Guzmán F., Paco P., Duprey JL, Chinchero

J., Caranza B., Barberi F. & Gardon J. Diagnóstico de la contaminación por el Mercurio en la cuenca Iténez. Informe IRD-WWF. La Paz, Bolivia. 96p.

Pinichka, C., Makka, N., Sukkumnoed, D., Chariyalertsak, S., Inchai, P., & Bundhamcharoen, K. (2017). Burden of disease attributed to ambient air pollution in Thailand: A GIS-based approach. *PLOS ONE*, 12(12), e0189909. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189909>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2005). *Evaluación mundial sobre el mercurio*. PNUMA Productos Químicos. https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/1401/Evaluacion_Mundial_Mercurio.pdf

Ascencio Salazar, H. (2018). Análisis de las concentraciones de Mercurio (Hg), Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Níquel (Ni) generados por la minería aurífera en el occidente y norte de Colombia, con el fin de realizar una propuesta de niveles permisibles en los sedimentos de actividades extractivas de minerales.

Santa María, L. A. (2017). Taki Onqoy: Epidemia De Intoxicación Por Exposición Al Mercurio En Huamanga Del Siglo Xvi. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 34(2), 337-342.

Singh, N., Gupta, V. K., Kumar, A., & Sharma, B. (2017). Synergistic Effects of Heavy Metals and Pesticides in Living Systems. *Frontiers in Chemistry*, 5, 70. <https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00070>

Uribe Restrepo, J. P., González Ortiz, I. D., Cárdenas Gamboa, D. I., Burgos Bernal, G., Vargas, S. L. G., Casas Cruz, H. M., Estrada Estrada, A., Guzman, S. L., Cediel, S. I., Ocampo, P. R., Combariza Bayona, D. A. C., & Cortes, C. (2018). *Evaluación del grado de contaminación por mercurio y otras sustancias tóxicas, y su afectación en la salud humana en las poblaciones de la cuenca del río Atrato, como consecuencia de las actividades de minería*. 66.

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.