



**DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A CADMIO Y NIQUEL EN POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE  
NECHI – ANTIOQUIA**

Investigadoras

**DARMELY SNED CUBIDES AMEZQUITA  
SILVIA MERCEDES TUTALCHÁ GUERRERO**

Trabajo de grado para optar el título de  
MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

**Universidad del Rosario**

**Bogotá, 2022**

**DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A CADMIO Y NIQUEL EN POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE  
NECHI – ANTIOQUIA**

Estudiante(s):

**DARMELY SNED CUBIDES AMEZQUITA  
SILVIA MERCEDES TUTALCHÁ GUERRERO**

Tutor temático

**MARCELA VARONA**

Tutor metodológico

**DANIEL BUITRAGO**

MAESTRÍA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

**Universidad del Rosario**

**Bogotá D.C., 2022**

## 1. RESUMEN ESTRUCTURADO

**INTRODUCCIÓN:** La influencia de las actividades económicas no sostenibles en países en vía de desarrollo y en especial en Colombia, como son la minería ilegal y la industria petroquímica entre otras, usan metales pesados en varios de sus procesos industriales y cuando no poseen un adecuado tratamiento de sus residuos se pueden depositar en las fuentes de agua o se liberan al ambiente, comprometiendo la supervivencia y bienestar de los seres humanos. El río Nechí principal tributario en la parte baja del río Cauca en Colombia, durante todo su trayecto recibe una gran variedad de residuos que contienen una gama de compuestos químicos derivados en su mayor parte productos de la minería aluvial y agrícola que producen contaminación del agua. La disposición de algunos metales pesados como el Cadmio y el Níquel en cantidades por encima de los valores permitidos en seres vivos presentan un gran impacto sobre la salud pública de los habitantes en las zonas rivereñas de este afluente hídrico.

**OBJETIVO:** Determinar la exposición a metales pesados (Cadmio y Níquel) en pobladores del municipio de Nechí (Antioquia).

**METODOLOGIA:** Se realizó un estudio observacional, descriptivo con componente analítico con muestreo por conveniencia no probabilístico, en un grupo de 104 personas las cuales están ambientalmente expuestas a cadmio y níquel en el municipio de Nechí. Se llevaron a cabo mediciones de dichos metales en muestras biológicas (cabello) y en muestras ambientales (agua y pescado). Adicionalmente se hizo caracterización socio – demográfica y se indagó por los antecedentes laborales de exposición ambiental y hábitos en la población estudio. Se calcularon medidas de tendencia central y de dispersión y se buscaron relaciones entre las variables incluidas en el estudio.

**RESULTADOS:** Fueron evaluados 104 individuos cuya edad promedio fue de  $48 \pm 14$  años con rango de edades entre los 21 y 83 años, de los cuales 25 (24%) correspondieron a mujeres y 79 (76%) fueron hombres. El 41,3% refirieron trabajar en minería artesanal de oro de los cuales el 100% (43) usaron mercurio en su actividad laboral, lo mismo que el 6,9% (3) manifestaron el uso de cianuro. El tiempo que declararon haber trabajado con metales pesados en promedio fue de  $226,8 \pm 173,5$  meses. Solo el 9,3% (4) de los trabajadores mineros manifestaron el uso de uniforme de trabajo para la actividad, el 90,7 % (39) informo el uso de ropa de diario en su trabajo, de los cuales 36 (83,7 %) refirió el cambio de ropa al llegar al hogar. La determinación de los niveles de Cadmio y Níquel en cabello se realizó en 84 individuos (80,7%), evidenciando una concentración media de níquel de  $0,410(\mu\text{g/g}) \pm 0,403(\mu\text{g/g})$  y de cadmio  $0,070(\mu\text{g/g}) \pm 0,087(\mu\text{g/g})$ . Se evidencio que 64 individuos presentaron niveles por encima de los valores de referencia para el cadmio y para el níquel 45 de ellos presentaron valores superiores al permitido.

**CONCLUSIÓN:** La población del estudio no tiene una exposición laboral a cadmio y/o níquel, ya que su principal fuente de recursos económicos es la minería artesanal del oro, sin embargo, se encontraron valores detectables de ambos metales en muestras biológicas, posiblemente por la contaminación ambiental con dichos metales pesados, ya que también se reportaron niveles en agua y pescado.

## 2. PALABRAS CLAVES

Contaminación; Minería; Metales Pesados; Cadmio, Níquel.

## 3. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental ha llegado a ser un problema de salud pública seria y es una fuente importante de riesgo para la salud, además contribuye a la carga de enfermedad que impacta los sistemas de salud a nivel mundial (Briggs, 2003). Una de estas fuentes de contaminación ambiental, es la exposición a metales pesados. Los efectos de la exposición e intoxicación a metales pesados en la salud humana pueden llegar a conducirlos hasta la muerte (Sumiahadi & Acar, 2018).

La exposición humana a metales pesados se da por inhalación, ingestión oral o contacto por la piel. De otra parte, los efectos de los metales pesados dependen de su concentración en los organismos vivientes, es por ello que los niveles de estos iones metálicos debe ser mantenidos dentro de los valores límites permisibles ya que pueden producir afectaciones para la salud (Sanaei et al., 2021). Las fuentes de metales pesados más frecuentes en el suelo y en los alimentos provienen de la polución atmosférica, el riego con aguas residuales, el uso indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes, el estiércol de ganado, lodos de desechos industriales y domésticos. Los procesos de urbanización, la transición de las propiedades con fines económicos y el desarrollo industrial particularmente en aquellas densamente pobladas y de países emergentes hacen que la exposición a estos metales pesados sea cada vez mayor (Munir et al., 2022)

La seguridad alimentaria se ha convertido en uno de los principales pilares para la supervivencia en el planeta, dada la aumentada expansión demográfica y la decreciente disponibilidad de recursos alimenticios según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017).

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en Colombia, y particularmente en las poblaciones ribereñas y costeras, el 90 % del consumo de proteína de origen animal proviene del pescado, principalmente como resultado de un acceso muy bajo a otro tipo de proteínas. Sin embargo, los niveles de contaminación que se reportan en ríos como el San Jorge, Cauca y Magdalena, han limitado el consumo de esta fuente alimenticia a la

población y cada vez es más preocupantes sus niveles de contaminación por efectos de labores humanas (Gallego Ríos, Ramírez Botero, López Marín, & Velásquez Rodríguez, 2018). De otra parte, el consumo y la comercialización de alimentos de origen vegetal en especial hortalizas y granos tienen una participación importante en la canasta familiar local de estas zonas. Sin embargo, se ha demostrado que los cultivos hortícolas también son más susceptibles a daños por la influencia de metales pesados en la región Caribe colombiana (Martínez Madrid & Marrugo-Negrete, 2021).

Los metales pesados en el medio ambiente se encuentran de manera natural en los suelos, en los cuerpos de agua o por acción de actividades humanas (antropogénicas). Minerales de meteoritos, la erosión y la actividad volcánica son las fuentes naturales más importantes de estos recursos mientras que los recursos antropogénicos más importantes son las aguas de desecho de procesos industriales de la minería, empresas de fundición, galvanoplastia, uso de fertilizantes y plaguicidas, así como fertilizantes en la agricultura, vertimiento de sólidos y lixiviados, descargas industriales y contaminación atmosférica por acción de las industrias (Dixit et al., 2015). Las principales acciones antropogénicas que producen aumento de metales pesados en el ambiente para el caso del Níquel son la producción de fuentes industriales, electrodomésticos de cocina, instrumental quirúrgico, aleaciones de acero y baterías de automóviles. En el caso del cadmio son industrias de pinturas y pigmentos, estabilizantes plásticos, industria de los galvanizados y fertilizantes agrícolas derivados de fosfatos. La mayoría de metales como Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Níquel (Ni) e incluso el Arsénico (As), surgen de procesos industriales y agrícolas de liberación al medio ambiente, producto de fenómenos naturales o actividades antrópicas (Nawab, Khan, & Xiaoping, 2018). La contaminación ambiental por metales pesados se ha incrementado de manera vertiginosamente como una influencia del desarrollo industrial y esto llevo a la exposición tanto ambiental como ocupacional a metales pesados en altos niveles en el área de influencia de puntos de desarrollo económico e industrial (Ali, Khan, & Sajad, 2013).

El níquel en bajas concentraciones es esencial en el desarrollo de las plantas sin embargo, una concentración elevada puede causar clorosis (disminución de la producción de clorofila) e inhibe el desarrollo de las raíces de las plantas (Yusuf, Fariduddin, Hayat, & Ahmad, 2011). En el humano puede producir lesiones dermatológicas como dermatitis atópica, mareos, problemas cardiacos, desordenes respiratorios, cefalea y fatiga crónica. La aplicación de fertilizantes fosfóricos en el suelo es la principal fuente de contaminación por níquel y cromo encontrándose en suelo destinados a la agricultura.

El cadmio (Cadmia en latín y en griego *kadmeia* significa "calamina") fue descrito por primera vez en Alemania en 1817 por Friederich Stromeyer como una impureza del carbonato de cinc. Por lo general el cadmio no se encuentra en el ambiente como material puro, es más abundante en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos junto al cinc, plomo y menas de cobre

(sedimentos rocosos). Las diversas aplicaciones del cadmio en la galvanoplastia, galvanostegia y galvanización, así como su uso en la industria de plásticos, pigmentos para crear tintes, pintura, en la industria de la creación de baterías de Níquel debido a su gran resistencia a la corrosión y sus propiedades electroquímicas (Perez & Azcona, 2012). Se encuentra en conductores eléctricos, materiales de polivinilo (PVC), fotoceldas, llantas, radiadores, calefactores y fertilizantes. También se encuentra de manera natural en emisiones volcánicas, por la quema de combustibles fósiles y de biomasa. Las principales fuentes antropogénicas de cadmio son desechos de estiércol y lodos residuales, en agricultura con el uso de nitrogenados, fertilizantes y fosfatados, industria del galvanizado y de la minería de la plata, minería del cinc, cobre, plomo y otros metales, industria de fundición de metales, incineración y la industria de alimentos fosfatados para animales. Se calcula que cada año se liberan al medio ambiente entre 25.000 y 30.000 toneladas de cadmio de las cuales entre 4 mil y 13 mil toneladas son consecuencia de actividades humanas como la minería y el consumo de combustibles fósiles (Fatima, Raza, Hadi, Nigam, & Mahdi, 2019). El cadmio es el contaminante más importante en el medio ambiente. De manera excesiva y tóxica los niveles de cadmio causan serios problemas no solo en humanos sino también en animales. Este metal pesado puede afectar el sistema cardiovascular, hígado, páncreas, riñones, pulmones y testículos.

En Colombia, principalmente en los departamentos de Antioquia, Bolívar, Chocó y Córdoba, existe una gran cantidad de suelos altamente contaminados por metales pesados provenientes de la minería de metales preciosos, con más de 12.400 minas en explotación y alrededor de 50.000 personas que reciben influencia directa o indirecta de esta labor. El río Cauca es el segundo río más importante de Colombia después del río Magdalena; en su cuenca baja se desarrolla una intensa actividad de minería de oro. Actualmente, el Bajo Cauca antioqueño es una de las zonas de mayor producción de oro en Colombia, encontrándose sitios de extracción minera plenamente identificados los cuales operan con permisos mineros (Enamorado, Tirado Montoya, & Marrugo Negrete, 2021). Sin embargo, es de anotar que también se presenta minería informal en la cual no se da o es muy precario el adecuado tratamiento de residuos contaminantes, del cual todos estos vertimientos son drenados directamente al río Cauca (Correa, 2017).

El río Nechí se ubica al nororiente del departamento de Antioquia, Colombia. Nace en el municipio de Yarumal y desemboca en el río Cauca, en el municipio de Nechí, siendo su tributario más importante. Este río bordea y limita la Serranía de San Lucas, importante zona con gran valor ambiental dados los altos niveles de biodiversidad y especies propias de la región, ambos amenazados por procesos de deforestación y alteración estructural de sus ecosistemas (Salaman, Donegan, González, Bustos, & Cuervo, 2001). Además, en esta región se encuentran los principales yacimientos de oro aluviales del departamento, donde los municipios de El Bagre y

Zaragoza concentran el 43% de la reserva aurífera del distrito minero Nordeste Antioqueño (UPME, 2005).

En Colombia se han realizado varios estudios desde el inicio de la década de los setenta, en donde se dio a conocer el estado de las concentraciones de metales pesados en aguas y sedimentos, posteriormente en peces y más recientemente en vegetación acuática y en mineros que aprovechan el oro de aluvión y de veta, así como en pescadores que aprovechan el recurso pesquero en las aguas de los diferentes ríos. Los estudios iniciales fueron realizados por investigadores del ya desaparecido Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IIT), con el auspicio de Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, específicamente el Fondo Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS) y el apoyo de la industria nacional (Mancera & Álvarez Ricardo, 2006), en donde es importante citar los estudios realizados por Cardeñosa y colaboradores en 1973 sobre la evaluación de la contaminación ambiental, la de Galiano-sedano en 1977 sobre el contenido de mercurio en residuos de aguas en los ríos colombiano. Asimismo, estudios sobre la contaminación de los afluentes del río Magdalena (del cual uno de los tributarios directos son el Cauca e indirectamente el río Nechí) desarrollados en los años noventa, sobre el Grado de contaminación de los recursos hídricos y de especies animales acuáticas en la región de la Mojana, lograron demostrar los efectos de la contaminación. Además del mercurio se analizaron Cobre, Plomo, Cadmio, Níquel, Zinc en aguas, plantas y sedimentos, de los ríos Caribona, Nechí, San Jorge, Cauca y Magdalena (Toro-Suárez et al., 1996; Díaz Granados, 1998).

La alta contaminación del río Magdalena es producto del desarrollo a lo largo y ancho de toda su cuenca de múltiples actividades industriales, entre las cuales sobresalen la minería aurífera y la petroquímica. La región de la Mojana, se ha visto sometida a un proceso de contaminación por mercurio desde tiempos atrás, altamente relacionado con la minería de oro ubicada en las proximidades de sus tres principales afluentes los ríos Cauca, San Jorge y Magdalena. El mayor aporte de contaminantes se da por procesos mineros, particularmente por extracción de oro en la zona nororiental del departamento de Antioquia; estos procesos requieren el uso de mercurio metálico que es incorporado al ecosistema hídrico por deposición atmosférica, luego de la combustión con amalgama oro-mercurio y por la descarga directa de los desechos de la explotación artesanal de oro (Rodríguez & Alvares, 2006). El río Magdalena es utilizado para el abastecimiento de agua de un gran número de ciudades que, además recibe las aguas del río Bogotá cuyas concentraciones de metales pesados están por encima de los niveles máximos permitidos y de afluentes de un parque industrial diversificado, que comprende industrias de equipos eléctricos, curtiembres, metalúrgicas, manufactureras, petroquímicas, entre otras. Adicionalmente, este río tiene problemas por la aplicación excesiva de plaguicidas y fertilizantes que llegan por arrastre hasta sus aguas y registra la problemática por presencia de mercurio en peces de los ríos Magdalena y Meta (Alvarez, Kolok, Jimenez, Granados, & Palacio, 2012).

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo transversal, en el que se incluyó población ambientalmente expuesta para determinar la exposición a metales pesados (Cadmio y Níquel) en pobladores del municipio de Nechí (Antioquia).

Los criterios de inclusión fueron adultos de cualquier edad, sexo, grupo étnico, población expuesta ocupacionalmente que llevarán al menos seis meses utilizando metales y la población expuesta ambientalmente a mezclas de metales que hayan vivido al menos seis meses en la zona tanto de áreas urbanas como rurales del municipio de estudio. Se excluyeron los individuos que hubieran presentado alguna enfermedad neurológica como epilepsia, Parkinson, evento cerebrovascular o trastornos mentales como esquizofrenia o alteración bipolar y los 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 de Nechí (Antioquia), según los datos poblacionales ofrecidos por el DANE (2005), la cual era de 20.668 habitantes. 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 superaron los límites permisibles, según los estudios llevado a cabo por parte de Ministerio de Salud, 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 (MinSalud, 2018). El error aceptable definido por el equipo de investigación fue del 5% con un índice de confianza del 95%.

El tamaño de muestra obtenido fue de 81 personas más 20% de pérdidas eran 97 individuos por lo que se decidió incluir 100 personas en total que fueron seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico.

Con el apoyo de la Secretaría de Salud Municipal, se identificaron las áreas y lugares en donde se llevó a cabo la selección de la población, a la cual se le informó del estudio realizado, explicando sus objetivos y los beneficios que representó su participación.

Dentro del estudio se tuvieron en cuenta las siguientes variables, determinándose que las independientes fueron: laborales (oficio actual, tiempo en el oficio, antecedente de trabajo con metales, frecuencia de uso de sustancias químicas, medidas de higiene y equipos de protección), sociodemográficas (edad, sexo, escolaridad, afiliación al SGSSS), ambientales (residencia en área de influencia minera, hábitos alimenticios (consumo de agua y consumo de pescado), y toxicológicas (condición de fumador y consumo de alcohol). Las dependientes fueron los indicadores de exposición metales en cabello.

Se aplicó a la totalidad de los individuos seleccionados tanto expuestos ocupacionales como los ambientales, una encuesta la cual fue adaptada del instrumento de evaluación en salud del

*Global Mercury Project* (Gunson & Veiga, 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 plaguicidas 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 se le generó una previa explicación de los procedimientos y solo se procedió con su intervención si estaba presente su firma en el consentimiento informado. De igual modo, se le tomó una muestra de sangre venosa. La toma de estas muestras estuvo a cargo de los médicos/bacteriólogos/enfermeros y otros profesionales de salud que participaron en el estudio. Previa explicación de los procedimientos y firma del consentimiento informado, se le tomó una muestra de cabello (región occipital del cuero cabelludo) a cada participante. En estas muestras se determinaron las concentraciones de elementos tóxicos pesados níquel y cadmio y 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 Rio de Janeiro en Brasil.

La determinación 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 obtuvo un volumen de 1 litro para el análisis de los metales de interés. Se tomaron 6 muestras agua para la determinación de metales de ríos cercanos de cada municipio seleccionado para el estudio.

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).

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 le realizó la prueba de formularios, lo cual ayudó a contemplar ajustes, tanto de instrumentos como de tiempos y movimientos. Esta investigación previa 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.

Con respecto al análisis estadístico se recolectó la información en el programa Windows Excel (Microsoft, 2020) y se procesó con el software SPSS versión 25.0 (IBM-SPSS Inc., Chicago, IL). 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 numérica. Las variables medidas en escala nominal se describieron con base en prevalencias con sus intervalos de confianza al 95% y distribuciones porcentuales. Para analizar la asociación estadística entre variables categóricas dicotómicas se utilizaron las pruebas de significación estadística paramétricas y no paramétricas de acuerdo al cumplimiento o no de los supuestos estadísticos para su aplicación: Chi-cuadrado y prueba exacta de Fisher. El análisis estadístico bivariado para la variable desenlace versus las categóricas se hizo con base en el análisis de varianza de una vía o en su defecto con la prueba U de Mann-Whitney. Para todos los análisis se estableció a priori un nivel de significación estadística igual o menor a  $\alpha = 0,05$ .

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.

## 5. RESULTADOS

Ingresaron al estudio 104 individuos con una edad promedio de  $48 \pm 14$  años con rangos de edades entre los 21 y 83 años, de los cuales 25 (24%) correspondieron a mujeres y 79 (76%) fueron hombres. El 100% de los encuestados en el momento del estudio se radicaban en el municipio de Nechí (Antioquia) de los cuales el 44,2% habitaban en la cabecera municipal y el 55,8% residían en el área rural del municipio. Las variables sociodemográficas de la muestra encuestada se relacionan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características sociodemográficas y ocupacionales de la población del municipio de Nechí, Antioquia.

	Mujeres n (%)	Hombres n (%)	Total n (%)
Total	25 (24,1)	79 (75,9)	104 (100)
Area Procedencia			
Cabecera Municipal	12 (11,6)	34 (32,7)	46 (44,3)
Rural	13 (12,5)	45 (43,2)	58 (55,7)
Origen Étnico			
Mestizo	11 (10,5)	43 (41,4)	54 (51,9)
Afrodescendiente	14 (13,5)	36 (34,6)	50 (48,1)
Edad en años			
18-30	3 (2,9)	11(10,6)	14 (13,5)
31-40	6 (5,8)	12(11,5)	18 (17,3)
41-50	9 (8,7)	13 (12,5)	22 (21,2)
51 y mas	7 (6,7)	43(41,3)	50 (48)
Personas en el Hogar			
≤ 3 personas	10 (9,6)	41(39,5)	51 (49,1)
4 – 6 personas	14(13,4)	32(30,8)	46 (44,2)
≥ 7 personas	1 (0,9)	6 (5,8)	7 (6,7)
Afiliación al Sistema Salud			
Régimen Contributivo	9 (8,7)	10 (9,7)	19 (18,4)
Régimen Subsidiado	15 (14,4)	66 (63,4)	81 (77,8)
Sin afiliación	1 (0,9)	3 (2,9)	4 (3,8)
Estado Civil			
Casado (a)	2 (2)	15 (14,5)	17 (16,3)
Unión Libre	12 (11,5)	41 (39,5)	53 (51)
Viudo(a)	1 (0,9)	4 (3,9)	5 (4,8)
Separado (a)	0 (0)	2 (2)	2 (2)
Soltero (a)	10 (9,6)	17 (16,3)	27 (25,9)
Escolaridad			
Analfabeto (a)	0 (0)	13 (12,5)	13 (12,5)
Primaria Incompleta	5 (4,8)	16 (15,3)	21 (20,1)

Primaria Completa	2 (2)	14(13,3)	16 (15,3)
Secundaria Incompleta	3 (2,9)	7 (6,7)	10 (9,6)
Secundaria Completa	1 (0,9)	12 (11,6)	13 (12,5)
Técnico Incompleto	1 (0,9)	2 (2)	3 (2,9)
Técnico Completo	10 (9,6)	9 (8,9)	19 (18,5)
Universitario Completo	3 (2,8)	6 (5,7)	9 (8,5)
<b>Ocupación</b>			
Administrativo	5 (4,8)	5 (4,8)	10 (9,6)
Agricultura	1(0,9)	10 (8,9)	11 (9,8)
Minería y agricultura	0 (0)	38 (36,8)	38 (36,8)
Pesca	0 (0)	10 (9,6)	10 (9,6)
Servicios Educativos y Salud	3 (2,9)	2 (2)	4 (4,9)
Oficios Varios	3(2,9)	12 (11,6)	15 (14,5)
No trabaja	13 (12,5)	2 (2)	15 (14,5)
<b>Trabajo en Minería</b>			
Si	0 (0)	43 (41,3)	43 (41,3)
No	25(24,1)	36 (34,6)	61 (58,7)

Fuente: Elaboración propia de los autores

Con el fin de caracterizar las variables ocupacionales se procedió a fragmentar la base de datos entre los que habían manifestado exposición al trabajar en minería artesanal de oro (43 individuos), encontrando las siguientes condiciones ocupacionales; el 100% (43) de ellos usaron mercurio en su actividad laboral, lo mismo que el 6,9% (3) manifestaron el uso de cianuro adicional al mercurio para su actividad ocupacional, quienes confirmaron tener una frecuencia de uso de manera diaria el 13,5% (14), semanalmente el 17,3% (18) y mensualmente el 10,6% (11). El tiempo que declararon haber trabajado con metales pesados en promedio fue de 226,8  $\pm$  173, 5 meses.

Solo el 9,3% (4) de los trabajadores mineros manifestaron el uso de uniforme de trabajo para la actividad laboral, el 90,7 % (39) informo el uso de ropa de diario en su actividad laboral, de los cuales 36 (83,7 %) refirió el cambio de ropa al llegar al hogar. En cuanto al tiempo del cambio de la ropa que usa en el sitio de trabajo el 81,4% (35) manifestaron cambio a diario, el 9,3% (4) fue una vez a la semana, el 7 % (3) dos veces a la semana y el 2,3% (1) refieren que no hacen cambio de ropa de trabajo. Al ser interrogados sobre el lugar donde lavan sus ropas de trabajo el 18,6 % refiere las lavó en fuentes hídricas como ríos o arroyos cerca de sitio trabajo o vivienda, el 14 % la lavó en el sitio de trabajo y el 67,4% las lavó en sus hogares. Respecto al hábito de consumo de alimentos en el sitio de trabajo solo el 30,2 % (13) refirieron la toma de los mismos en las zonas donde desempeñan su labor. La caracterización del uso de los elementos de protección laboral utilizados en el desempeño profesional se relaciona en la tabla No.2.

**Tabla 2.** Medidas de higiene y seguridad industrial de la población laboral del municipio de Nechí, Antioquia.

	Si	%	No	%
Uso de Mercuriales en actividad Laboral	43	100	0	0
<b>Protección de cabeza</b>				
Uso de casco	2	4,7	41	95,3
Usa sombrero o Gorra	26	60,5	17	39,5

Uso de visor	6	14	37	86
Uso de Monogafas	5	11,6	38	88,4
Uso Protector Auditivo	0	0	43	100
Usa respirador en su actividad laboral	6	14	37	86
Usa tapabocas desechable	6	14	37	86
Usa Pañuelo Húmedo	0	0	43	100
<b>Protección de Tronco</b>				
Usa peto o delantal para su actividad laboral	2	4,7	41	95,3
Uso chaquetón aluminizado	1	2,3	42	97,7
Uso ropa de carnaza	0	0	43	100
Uso traje de buceo	1	2,3	42	97,7
<b>Protección de Miembros Superiores</b>				
Usa guantes para su actividad laboral	15	34,9	28	65,1
<b>Protección de Miembros Inferiores</b>				
Uso Botas de Caucho	18	41,9	25	58,1
Uso botas de cuero	7	16,3	36	83,7
Uso de Zapatos	3	7	40	93
Uso de Tenis	7	16,3	36	83,7

Fuente: Elaboración propia de los autores

La determinación de los niveles de Cadmio y Níquel en el personal encuestado se realizó en 84 individuos (80,7%) mediante la toma de cabello recolectado de la zona de la nuca, evidenciando una concentración media de níquel de  $0,410(\mu\text{g/g}) \pm 0,403(\mu\text{g/g})$  y de cadmio  $0,070(\mu\text{g/g}) \pm 0,087(\mu\text{g/g})$ . En relación a los valores máximos permisibles en humanos se evidenció que 20 de ellos presentaban valores menores o iguales a  $0,022 (\mu\text{g/g})$  que son los permitidos y 64 fueron mayores a  $0,022 (\mu\text{g/g})$  para el cadmio. Los valores de níquel mostraron que 39 individuos presentaban al momento del examen valores permisibles menores de  $0,22 (\mu\text{g/g})$ , mientras que 45 de ellos presentaron valores superiores al permitido. En la tabla 3 se muestran los valores encontrados de Cadmio y Níquel de muestras de cabello.

**Tabla 3.** Valores de Cadmio y Níquel de muestras de cabello en población del municipio de Nechí, Antioquia.

METAL PESADO	CADMIO		NÍQUEL	
	Hasta $0,022(\mu\text{g/g})^*$	$>0,022(\mu\text{g/g})$	Hasta $0,22(\mu\text{g/g})^{**}$	$>0,22(\mu\text{g/g})$
Frecuencia	20	64	39	45
Media	$0,013(\mu\text{g/g})$	$0,089(\mu\text{g/g})$	$0,130(\mu\text{g/g})$	$0,657(\mu\text{g/g})$
Rango	$(0,0050 - 0,0210)$	$(0,0230 - 0,4760)$	$(0,0540 - 0,2180)$	$(0,2290 - 2,0690)$
Desviación estándar	$0,004(\mu\text{g/g})$	$0,093(\mu\text{g/g})$	$0,047(\mu\text{g/g})$	$0,415(\mu\text{g/g})$

Fuente: Elaboración propia de los autores

\*Valores de referencia ( $\mu\text{g/g}$ ) ppm: Cadmio:  $0.022 \pm 0.054$ . 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.

\*\* Valores de referencia ( $\mu\text{g/g}$ ) ppm: Níquel:  $0.22 \pm 0.08$ . World Health Organization. Environmental Health Criteria 108, Nickel, 1991.

Se llevó a cabo una diferencia entre los niveles de los metales pesados de nuestro interés según el género, la actividad laboral, el hábito tabáquico y el consumo de pescado encontrando únicamente diferencias estadísticamente significativas en los niveles tanto de Cadmio como de Níquel según el género, siendo mayor en los hombres que en las mujeres ( $p=0,007$  y  $p=0,0001$

respectivamente). Las variables y su comparación se resumen con los niveles de significancia en la tabla 4.

**Tabla 4.** Niveles de Níquel y Cadmio y su relación con variables de interés de la población del municipio de Nechi – Antioquia (T-student).

Variable		$\eta$	Níquel	$ds$	Cadmio	$ds$	Valor p
Género	Masculino	61	0,75 $\mu\text{g/L}$	0,432 $\mu\text{g/L}$	0,11 $\mu\text{g/L}$	0,108 $\mu\text{g/L}$	Ni $p=0,001^*$
	Femenino	23	0,29 $\mu\text{g/L}$	0,310 $\mu\text{g/L}$	0,06 $\mu\text{g/L}$	0,073 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0,007^*$
Trabaja en minería	No	47	0,47 $\mu\text{g/L}$	0,418 $\mu\text{g/L}$	0,08 $\mu\text{g/L}$	0,088 $\mu\text{g/L}$	Ni $p=0,144$
	Si	37	0,34 $\mu\text{g/L}$	0,34 $\mu\text{g/L}$	0,07 $\mu\text{g/L}$	0,088 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0,58$
Fuma Actualmente	No	23	0,32 $\mu\text{g/L}$	0,349 $\mu\text{g/L}$	0,05 $\mu\text{g/L}$	0,054 $\mu\text{g/L}$	Ni $p=0,286$
	Si	10	0,48 $\mu\text{g/L}$	0,479 $\mu\text{g/L}$	0,06 $\mu\text{g/L}$	0,027 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0,57$
Consumo de Pescado	No	7	0,41 $\mu\text{g/L}$	0,387 $\mu\text{g/L}$	0,09 $\mu\text{g/L}$	0,110 $\mu\text{g/L}$	Ni $p=0,998$
	Si	77	0,41 $\mu\text{g/L}$	0,407 $\mu\text{g/L}$	0,07 $\mu\text{g/L}$	0,086 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0,50$
Consumo Enlatados	No	43	0,42 $\mu\text{g/L}$	0,416 $\mu\text{g/L}$	0,09 $\mu\text{g/L}$	0,110 $\mu\text{g/L}$	Ni $p=0,802$
	Si	41	0,40 $\mu\text{g/L}$	0,394 $\mu\text{g/L}$	0,06 $\mu\text{g/L}$	0,052 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0,09$

Fuente: Elaboración propia de los autores.  $\eta$ : número de individuos,  $ds$ : desviación estándar, Ni: Níquel, Cd: cadmio. P=valor de significancia

Para la determinación de la presencia de metales pesados en muestras ambientales como el agua y pescado se recolectaron 6 muestras de cada una. Para agua el promedio de la concentración de Níquel fue de 0,0087 mg/L con un rango entre 0,0025 a 0,0159 mg/L, estando por debajo de los valores máximos aceptables (0,02 mg/L) de acuerdo a la resolución 2115 del 2007 los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en las muestras recolectadas. Para cadmio todas las concentraciones se encontraron por debajo del límite de detección. En las muestras de pescado la concentración promedio de Níquel fue de 0.52968333 mg/kg con un rango entre 0.2559 a 0.9382 mg/kg, sin embargo, para este metal pesado no se reportan valores máximos aceptables considerando cualquier concentración como un nivel positivo, mientras que para cadmio todas las concentraciones en las muestras analizadas se encontraron por debajo del límite de detección.

## DISCUSIÓN

En el ámbito de la salud pública el monitoreo biológico se ha convertido en una herramienta importante en el proceso de determinación de los niveles de sustancias químicas a las cuales nos exponemos ya sea por las labores propias de la actividad profesional o por exposición ambiental. El uso de biomarcadores es de gran utilidad para evaluar la dosis interna de exposición, así como para predecir potenciales efectos en la salud a pesar de no encontrarse afectaciones clínicas. El monitoreo mediante el empleo de muestras de cabello humano es una matriz de estudio interesante y novedosa que permite determinar la exposición crónica a metales pesados (Molina et al., 2015).

La población que participo en la presente investigación tenían una edad promedio de 48 años siendo individuos laboralmente activos dedicados a actividades de agricultura y minería con un

nivel educativo de primaria o secundaria incompleta, algunos reportaron ser analfabetos y otros alcanzaron estudios técnicos.

De acuerdo a su actividad laboral la gran mayoría de la población presenta una exposición a mezclas de sustancias químicas como son los metales pesados y los plaguicidas con un tiempo promedio laborado de más de 18 años, mostrando que tienen una exposición crónica. Específicamente para metales pesados se resalta que el municipio de Nechí, se localiza en una zona de influencia minera aurífera artesanal a cielo abierto, teniendo exposición a mercurio, sin embargo, se pudo determinar niveles de cadmio y níquel en cabello, en muestras de agua y de pescado como fuente de proteína de la dieta diaria de la población, mostrando exposición ambiental a dichos metales.

Teniendo en cuenta los niveles de cadmio y níquel encontrados en las muestras biológicas y ambientales, la población podría tener efectos sobre la salud. El cadmio es uno de los contaminantes más importantes del ambiente pudiendo afectar el sistema cardiovascular, hígado, páncreas, riñones, pulmones y testículos. Además, puede generar efectos mutagénicos y ser inductor de daños a nivel de los cromosomas como son las deleciones. Este daño se puede dar por la reducción de grupos sulfidrilos y tioles que se unen a proteínas induciendo generación de radicales libres incluyendo radicales superóxidos ( $O_2$ ), peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) y radicales hidroxilos ( $OH$ ). (Kocadal, Alkas, Battal, & Saygi, 2020).

La exposición ambiental y ocupacional a Cadmio puede incrementar el desarrollo de ciertos tipos de canceres como el de próstata, riñón, hígado, sistema hematopoyético y estomago (Waalkes, 1996).

El contacto con el níquel puede producir efectos secundarios como alergias, enfermedades renales y cardiovasculares, fibrosis pulmonar y cáncer de vías aéreas superiores como nariz, tráquea y pulmón. A través de mecanismos moleculares el níquel induce toxicidad con disfunción mitocondrial y estrés oxidativo que puede jugar un papel importante como rol primario de su acción (Mudgal, Madaan, Mudgal, Singh, & Mishra, 2010).

Al comparar con investigaciones recientes realizadas a nivel mundial donde se hicieron estudios de biomonitorización en humanos, Qi Wang y colaboradores en el 2015, quienes pertenecen al Instituto de Nutrición y Ciencias de la Alimentación en Yunnan (China), determinaron la exposición a cadmio en sangre, alimentos y agua proveniente del acueducto de áreas de influencia minera por espectrometría por absorción atómica de 103 muestras en sangre y 30 muestras de agua, encontrando niveles de cadmio para hombres de 0,65 ng/ml y para mujeres 0,59 ng/ml. Los valores de cadmio encontrados en agua fueron en promedio entre 0,68 mg/L y 0,25 mg/L en dos zonas donde se realizó este estudio, al compararlos con los valores hallados en los afluentes tributarios del rio Nechí en el presente estudio, se encontraron valores de cadmio por debajo del límite de la detección. Los investigadores compararon los valores obtenidos con

los valores reportados previamente por Ikeda y Becker en el 2000, donde para el agua registraron los siguientes niveles según los estudios reportados para Alemania donde hallaron valores de 0,44 ug/L (Becker et al., 2002), en China 0,61 ug/L, en Corea 1,37 ug/L, en Malasia 0,74 ug/L, en el Japón 1,82 ug/L (Zhang et al., 2000) (Wang et al., 2015).

En 2021 Tong Zhou y colaboradores caracterizaron la contaminación por plomo y cadmio en suelos, alimentos vegetales y en cabello humano en población vecina a una mina de zinc a cielo abierto en pobladores del sur de China (260 muestras de suelos, 33 muestras vegetales de supermercados y 40 muestras de cabello en pobladores de la región) mediante espectrometría de masas acoplada a plasma, encontrando niveles de cadmio en cabello de  $2,28 \pm 4.9 \text{ mg/Kg}^{-1}$  con un rango de (0,17 – 16,2 )  $\text{mg/Kg}^{-1}$  para población dedicada exclusivamente a la minería y de  $0,21 \pm 0,14 \text{ mg/Kg}^{-1}$  con un rango entre (0,038 a 0,7)  $\text{mg/Kg}^{-1}$  para población dedicada a la agricultura (Zhou et al., 2021), que al equiparar con los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede determinar que en relación a la población minera los niveles encontrados en cabello estuvieron muy por debajo, inclusive fueron menores los de la población colombiana a los valores encontrados en población dedicados a la agricultura en el sur de China

Teniendo en cuenta que los niveles de metales pesados usando la matriz de cabello en su detección es muy variable según la población y factores como el género, la edad, la ocupación, la alimentación, en el 2020 Kirichuk Anatoly y colaboradores en la universidad de Yaroslavl en Rusia, determinaron los niveles de metales pesados en cabello y orina de los estudiantes universitarios de primer año de diferentes regiones del mundo (en total 247 muestras), de los cuales 65 eran rusos, 57 de origen asiático, 84 del medio oriente, 40 de africanos y 28 de Latinoamérica, encontrando que los niveles de cadmio hallados fueron de 13,920 ng/g (5.927 ng/g - 22.470 ng/g) en estudiantes provenientes de Rusia, 6.146 ng/g (3.821 ng/g - 12.381 ng/g) para estudiantes del continente Asiático, 5.497 ng/g (3.408 ng/g - 14.736 ng/g) para provenientes del medio oriente, 28.164 ng/g (6.019 ng/g - 54.881 ng/g) para estudiantes africanos y latinoamericanos de 25.023 ng/g (3.744ng/g - 96.189 ng/g) (Kirichuk et al., 2020). Del anterior estudio se puede afirmar que en la población estudiada en Colombia se encontraron valores de cadmio en cabello menores a los hallados en los estudiantes provenientes de África y Latinoamérica; fueron muy similares a los hallados en estudiantes rusos, pero casi tres veces el valor de los niveles de cadmio a los hallados en estudiantes provenientes de asiáticos y del Medio Oriente.

Molina-Villalba I. y colaboradores del departamento de toxicología de la universidad de Medicina de Granada, realizaron la biomonitorización en cabello y orina de los niveles de cadmio en niños que vivían cerca a áreas industriales y minas en el sur occidente de España en 261 menores con edades entre 6 y 9 años encontrando niveles de Cadmio en cabello en la población estudiada menor de  $0,0033 \text{ ug/g}^{-1}$  tanto en hombres como en mujeres, con valor máximo de  $0,320 \text{ ug/g}^{-1}$ , lo que demuestra la gran variabilidad de los niveles que se pueden encontrar según la variable

de la edad y que al ser contrastados con los presente estudio se evidencia que son menores a los hallados en la población colombiana que por su grupo etario y actividad profesional lo que explica las diferencias (Molina et al., 2015).

En un estudio reciente en Zambia usaron el cabello para hacer la valoración de biomarcadores para determinar la exposición a elementos peligrosos para la población que viven cerca de las zonas de vertimientos de minas de cobre, mediante espectrometría de masas acoplado a plasma. Los resultados de determinación en cabello de níquel fueron de  $0,7 \pm 0,2$  mg/Kg y para el cadmio de  $0,13 \pm 0,03$  mg/kg (valores de referencia potencialmente peligrosos en humanos para el Níquel  $1.3 \pm 0,23$  y Cadmio  $0,3 \pm 0,02$  mg/kg). Para este estudio los investigadores tomaron como valores referencia la concentración de metales propuestos por el laboratorio en nutrición y medicina medioambiental de Londres,  $<0,10$  mg/kg para Cadmio mientras que para níquel fue de valores  $<1.40$  mg/Kg (Nakaona et al., 2020). Estos valores contrastados con los obtenidos en el estudio para cadmio de  $0,010$   $\mu\text{g/g}$  y níquel de  $0,410$   $\mu\text{g/g}$  evidencian que están por debajo de los hallados en Zambia y que se podrían explicar por el tipo de actividad minera en los cuales están presentes los derivados tanto del níquel como del cadmio.

En el 2017 Sazakli E. y Leotsinidis M. del laboratorio de salud pública de la Escuela de Medicina de la Universidad de Patras, realizaron al biomonitorización mediante cabello a una población expuesta a níquel al tener influencia habitacional y ocupacional en zonas industrializadas en el sur este de Grecia, para ello reclutaron a 135 hombre y 155 mujeres con el objetivo de realizar la biomonitorización encontrando determinaciones de níquel  $0,40$   $\mu\text{g/kg}$  , cadmio  $0,020$   $\mu\text{g/kg}$  en hombres y de  $0.50$  para níquel y de  $0,021$   $\mu\text{g/kg}$  para cadmio en mujeres, valores que están muy correlacionados y cercanos a los hallados en el presente estudio. Los factores que afectan las concentraciones de níquel en el estudio fue el género, (mayor en mujeres) el consumo de carne, yogurt, comida rápida, arroz y pasta, consumo de café y para los niveles de cadmio los factores que afectan sus valores fueron el hábito tabáquico de (paquete/año), consumo de pescado y acetite de oliva para este estudio. Además, este estudio mostro la comparación de dichos metales con los valores hallados en otros estudios en diferentes países de continente Euroasiático. En Rusia los niveles de cadmio para hombres fueron  $0,009$ - $0,088$   $\mu\text{g/Kg}$ , para mujeres  $0,005$ - $0,042$   $\mu\text{g/Kg}$ , para níquel en hombres  $0,13$ - $0,54$   $\mu\text{g/Kg}$ , en mujeres  $0,13$ - $0,54$   $\mu\text{g/Kg}$ ; en España los niveles de cadmio para hombres estaban entre  $0,260$ - $0,870$   $\mu\text{g/Kg}$ , para mujeres entre  $0,240$ - $0,930$   $\mu\text{g/Kg}$ , para níquel en hombres  $0,14$ - $1,58$   $\mu\text{g/Kg}$  , en mujeres  $0,11$ - $0,98$   $\mu\text{g/Kg}$ ; en Italia los niveles de cadmio para hombres fueron  $0,0004$ - $0,240$   $\mu\text{g/Kg}$ , para mujeres  $0,0072$ - $0,160$   $\mu\text{g/Kg}$ , para níquel en hombres de  $0,04$ - $1,74$   $\mu\text{g/Kg}$ , en mujeres de  $0,19$ - $1,79$   $\mu\text{g/Kg}$ ) (Poulsont, 1997) (Sazakli & Leotsinidis, 2017).

Respecto a las medidas de higiene y seguridad industrial de los trabajadores que laboran en actividades agrícolas y de minería, algunos reportaron utilizar elementos de protección personal, sin embargo, muchos de ellos no son los adecuados para las actividades que desarrollan como

son el uso de tapabocas desechables, guantes de caucho y zapatos o tenis. Esto puede provocar que estas sustancias penetren por vía inhalatoria y dérmica con graves consecuencias en la salud.

## **CONCLUSIONES**

Aunque la población del estudio no tiene una exposición laboral a cadmio y/o níquel, ya que su principal fuente de recursos económicos es la minería artesanal y la actividad agrícola, se pudo determinar que presentan valores detectables de ambos metales en las muestras de cabello, lo que sugiere una exposición ambiental. Adicionalmente, la población se encontraba expuesta a mezclas de metales pesados y plaguicidas por el trabajo en minería y en la agricultura.

La población informó vivir y trabajar en la zona por más de 20 años lo que indica que tienen una exposición crónica a mezclas de metales pesados y plaguicidas, pudiendo generar efectos en la salud.

Las concentraciones de níquel en agua y pescado indican que hay exposición a través de matrices ambientales de la población del municipio del estudio.

La biomonitorización de los metales pesados en estas poblaciones es importante para caracterizar los niveles de los mismos y poder generar recomendaciones de salud pública, sin embargo, se requiere tener en cuenta factores como el sexo, la edad, la actividad laboral, el consumo de ciertos alimentos provenientes de zonas de influencia de algunos tipos de minas, el tiempo de exposición, entre otras variables, las cuales juegan un papel importante en el ingreso de estas sustancias químicas al organismo.

## **RECOMENDACIONES**

Los resultados de este estudio indican que se deben 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.

A través de la Secretaría de Salud de Nechí, se recomienda realizar vigilancia activa de la exposición a mezclas de sustancias químicas (metales y plaguicidas) así como acciones que disminuyan la exposición y evalúen los posibles efectos sobre la salud y el ambiente en forma conjunta con los Ministerios de Trabajo y Ambiente.

Se requiere también la inserción de los trabajadores al sistema general de riesgos laborales y procesos de educación y capacitación relacionada con sus labores, y con cumplimiento de las normas de higiene, seguridad industrial y protección individual.

## 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.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Rikaby, A. A. (2021). Hematologic Evaluation and Histopathological Alteration of Nickel Nitrate Exposure in Male Rabbits. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(4), 1307–1319.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. Retrieved from <http://www.elsevier.com/authorsrights>
- Alvarez, S., Kolok, A. S., Jimenez, L. F., Granados, C., & Palacio, J. A. (2012). Mercury concentrations in muscle and liver tissue of fish from marshes along the Magdalena river, Colombia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(4), 836–840. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0782-9>
- Bandara, J. M. R. S., Wijewardena, H. V. P., Bandara, Y. M. A. Y., Jayasooriya, R. G. P. T., & Rajapaksha, H. (2011). Pollution of River Mahaweli and farmlands under irrigation by cadmium from agricultural inputs leading to a chronic renal failure epidemic among farmers in NCP, Sri Lanka. *Environmental Geochemistry and Health*, 33(5), 439–453. <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9344-4>
- Becker, K., Kaus, S., Krause, C., Lepom, P., Schulz, C., Seiwert, M., & Seifert, B. (2002). German Environmental Survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in blood of the German population. *International journal of hygiene and environmental health*, 205(4), 297–308.
- Briggs, D. (2003). Environmental pollution and the global burden of disease. *British Medical Bulletin*, 68, 1–24. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg019>
- Correa, R. (2017). Desarrollo socio-económico regional : Impactos de la minería artesanal en el Bajo Cauca antioqueño. *Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo*, 4(1), 46–61.
- Dávalos, L. M. (2001). The San Lucas mountain range in Colombia: How much conservation is owed to the violence? *Biodiversity and Conservation*, 10(1), 69–78. <https://doi.org/10.1023/A:1016651011294>
- Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., ... Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of

- principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), 2189–2212. <https://doi.org/10.3390/su7022189>
- Dohnalova, L., Bucek, P., Vobornik, P., & Dohnal, V. (2017). Determination of nickel in hydrogenated fats and selected chocolate bars in Czech Republic. *Food Chemistry*, 217, 456–460. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.066>
- Enamorado, G., Tirado Montoya, J., & Marrugo Negrete, J. (2021). Metales pesados (Hg, As, Cd, Zn, Pb, Cu, Mn) en un trayecto del río Cauca impactado por la minería de oro. *Revista EIA*, 19(37), 1–15. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i37.1481>
- Fatima, G., Raza, A. M., Hadi, N., Nigam, N., & Mahdi, A. A. (2019). Cadmium in Human Diseases: It's More than Just a Mere Metal. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 34(4), 371–378. <https://doi.org/10.1007/s12291-019-00839-8>
- Fuentes-Gandara, F., Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2018). Human health impacts of exposure to metals through extreme consumption of fish from the Colombian Caribbean Sea. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 229–242. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9896-z>
- Fuentes, F., Pinedo, J., & Marrugo, J. (2018). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia. *Revista Espacios*, 39(03).
- Gallego Ríos, S. E., Ramírez Botero, C. M., López Marín, B. E., & Velásquez Rodríguez, C. M. (2018). Evaluation of mercury, lead, and cadmium in the waste material of crevalle jack fish from the Gulf of Urabá, Colombian Caribbean, as a possible raw material in the production of sub-products. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6480-2>
- González-Martínez, C. (2020). *Minería y Salud Ambiental* (Primera). Retrieved from <https://tinyurl.com/bib99551>
- Hwua, Y. S., & Yang, J. L. (1998). Effect of 3-aminotriazole on anchorage independence and mutagenicity in cadmium- and lead-treated diploid human fibroblasts. *Carcinogenesis*, 19(5), 881–888. <https://doi.org/10.1093/carcin/19.5.881>
- IARC. (1993). Beryllium, Cadmium, Mercury and Exposures In The Glass Manufacturing Industry. In *IARC Monographs On The Evaluation Of Carcinogenics Risk to Humans* (Vol. 58, pp. 119–130).
- Jin, T., Nordberg, G., Ye, T., Bo, M., Wang, H., Zhu, G., ... Bernard, A. (2004). Osteoporosis and renal dysfunction in a general population exposed to cadmium in China. *Environmental Research*, 96(3), 353–359. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.02.012>
- Kasprzak, K. S., Sunderman, F. W., & Salnikow, K. (2003). Nickel carcinogenesis. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 533(1–2), 67–97. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2003.08.021>
- Kayode, O. T., Ogunyemi, E. F., Odukoya, A. M., & Aizebeokhai, A. P. (2022). Assessment of chromium and nickel in agricultural soil: implications for sustainable agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 993(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/993/1/012014>
- Kirichuk, A. A., Skalny, A. A., Rusakov, A. I., Tinkov, A. A., & Skalny, A. V. (2020). Arsenic, cadmium, mercury, and lead levels in hair and urine in first-year RUDN University students of different geographic origins. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(27), 34348–34356.
- Kocadal, K., Alkas, F. B., Battal, D., & Saygi, S. (2020). Cellular pathologies and genotoxic effects

- arising secondary to heavy metal exposure: A review. *Human and Experimental Toxicology*, 39(1), 3–13. <https://doi.org/10.1177/0960327119874439>
- Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., & Appel, L. J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, 106(21), 2747–2757. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000038493.65177.94>
- Lasat, M. M. (1999). Phytoextraction of Metals from Contaminated Soil: A Review of Plant/Soil/Metal Interaction and Assessment of Pertinent Agronomic Issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, 2(1). <https://doi.org/10.4148/1090-7025.1015>
- Liang, G., Pan, L., & Liu, X. (2017). Assessment of typical heavy metals in human hair of different age groups and foodstuffs in Beijing, China. *International journal of environmental research and public health*, 14(8), 914.
- Molina-Villalba, I., Lacasaña, M., Rodríguez-Barranco, M., Hernández, A. F., Gonzalez-Alzaga, B., Aguilar-Garduño, C., & Gil, F. (2015). Biomonitoring of arsenic, cadmium, lead, manganese and mercury in urine and hair of children living near mining and industrial areas. *Chemosphere*, 124, 83-91.
- Monroy, D. M., & Armenteras, D. (2017). Cambio de cobertura del suelo por minería aluvial en el río Nechí, Antioquia (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 20(1), 50–61. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n1.61513>
- Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, R. B., & Mishra, S. (2010). Effect of toxic metals on human health. *The open Nutraceuticals journal*, 3(1).
- Munir, N., Jahangeer, M., Bouyahya, A., Omari, N. El, Ghchime, R., Balahbib, A., ... Shariati, M. A. (2022). Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su14010161>
- Nawab, J., Khan, S., & Xiaoping, W. (2018). Ecological and health risk assessment of potentially toxic elements in the major rivers of Pakistan: General population vs. Fishermen. *Chemosphere*, 202, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.082>
- 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.
- Nickel, I. P. C. S. (1991). International Program on Chemical Safety (Environmental Health Criteria 108). World Health Organization: Geneva, Switzerland.
- Nunes, J. A., Batista, B. L., Rodrigues, J. L., Caldas, N. M., Neto, J. A. G., & Barbosa, F. (2010). A simple method based on ICP-MS for estimation of background levels of arsenic, cadmium, copper, manganese, nickel, lead, and selenium in blood of the Brazilian population. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 73(13–14), 878–887. <https://doi.org/10.1080/15287391003744807>
- 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>
- Perez, P. E., & Azcona, M. I. (2012). Artículo de revisión Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico Quirúrgicas*, 17(3), 199–205.
- Poulson, O. M., Holst, E., & Christensen, J. M. (1997). Calculation and application of coverage intervals for biological reference values (technical report). Pure and Applied Chemistry,

69(7), 1601-1612.

- Rahimzadeh, M. R., Rahimzadeh, M. R., Kazemi, S., & Moghadamnia, A. A. (2017). Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian Journal of Internal Medicine*, 8(3), 135–145. <https://doi.org/10.22088/cjim.8.3.135>
- Resolución 631 del 17 de marzo del 2015, del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible de la republica de Colombia. Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015.
- Rodriguez, N., & Alvares, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuicolas de colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11, 22. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028578001.pdf>
- Salaman, Donegan, González, Bustos, & Cuervo. *Colombian Eba Project: Presenting the First Biological Assessment of Serranía De San Lucas*. , (2001).
- Sanaei, F., Amin, M. M., Alavijeh, Z. P., Esfahani, R. A., Sadeghi, M., Bandarrig, N. S., ... Rezakazemi, M. (2021). Health risk assessment of potentially toxic elements intake via food crops consumption: Monte Carlo simulation-based probabilistic and heavy metal pollution index. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1479–1490. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10450-7>
- Sazakli, E., & Leotsinidis, M. (2017). Hair biomonitoring and health status of a general population exposed to Nickel. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 43, 161-168.
- Schulz, C., Wilhelm, M., Heudorf, U., & Kolossa-Gehring, M. (2011). Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission. *International journal of hygiene and environmental health*, 215(1), 26-35.
- Toro-Peréz, C., & Julio Fierro-Morales, Sergio Coronado, T. R. (2015). Minería, territorio y conflicto en Colombia. In *Memoria y Sociedad* (Vol. 19).
- Valko, M., Morris, H., & Cronin, M. T. D. (2005). Metals, Toxicity and Oxidative Stress. *Current Medicinal Chemistry*, 12, 1–48. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.498.2796&rep=rep1&type=pdf%0Apapers2://publication/uuid/97E9BFFF-9F78-4BBD-AFFB-7954D25F7473>
- Waalkes, M. P. (1996). Cadmium carcinogenicity and genotoxicity. *Toxicology of metals*, 231-244.
- Wang, Q., Feng, Y. M., Wang, S. M., Du, Y. Q., Yin, J. Z., & Yang, Y. L. (2015). Assessment of the cadmium exposure in the blood, diet, and water of the Pumi people in Yunnan, China. *Biological trace element research*, 168(2), 349-355.
- Yang, A. M., Lo, K., Zheng, T. Z., Yang, J. L., Bai, Y. N., Feng, Y. Q., ... Liu, S. M. (2020). Environmental heavy metals and cardiovascular diseases: Status and future direction. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 6(4), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2020.02.005>
- Yusuf, M., Fariduddin, Q., Hayat, S., & Ahmad, A. (2011). Nickel: An overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0171-1>
- Ikeda, M., Zhang, Z. W., Shimbo, S., Watanabe, T., Nakatsuka, H., Moon, C. S., ... & Higashikawa, K. (2000). Urban population exposure to lead and cadmium in east and south-east Asia. *Science of the Total Environment*, 249(1-3), 373-384.
- Zhai, Q., Narbad, A., & Chen, W. (2015). Dietary strategies for the treatment of cadmium and lead toxicity. *Nutrients*, 7(1), 552–571. <https://doi.org/10.3390/nu7010552>
- Zhou, T., Wang, Z., Christie, P., & Wu, L. (2021). Cadmium and lead pollution characteristics of soils, vegetables and human hair around an open-cast lead-zinc mine. *Bulletin of*

Environmental Contamination and Toxicology, 107(6), 1176-1183.