



Universidad del
Rosario

**DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A MERCURIO Y CADMIO EN POBLACIÓN
AMBIENTALMENTE EXPUESTA DEL MUNICIPIO DE ARANZAZU (CALDAS)**

Investigador principal

Fabiana Núñez Posso
Aldahir Enrique Parra
Laura Valentina Ríos Moreno

**Trabajo presentado como requisito para optar por el
título de Magister en Seguridad y Salud en el Trabajo
Universidad del Rosario**

Bogotá, 2023

**DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A MERCURIO Y CADMIO EN POBLACIÓN
AMBIENTALMENTE EXPUESTA DEL MUNICIPIO DE ARANZAZU (CALDAS)**

Estudiante(s):

**Fabiana Núñez Posso
Aldahir Enrique Parra Fernández
Laura Valentina Ríos Moreno**

Coinvestigador(es)

Nombre(s) de lo(s) coinvestigador(es)

Asesor temático

Dra. Marcela Varona

Asesor metodológico

Dra. Gilma Hernández

**Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo
Universidad del Rosario**

Bogotá D.C., 2023

DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A MERCURIO Y CADMIO EN POBLACIÓN AMBIENTAL Y OCUPACIONALMENTE EXPUESTA DEL MUNICIPIO DE ARANZAZU (CALDAS), 2023

Núñez Fabiana; Parra Aldahir; Ríos Laura

fabiana.nunez@urosario.edu.co; aldahir.parra@urosario.edu.co; laurava.rios@urosario.edu.co

RESUMEN

Introducción: Los metales pesados como muchos otros elementos químicos están presentes de forma natural en el medio ambiente, los efectos en salud del cadmio (Cd) y mercurio (Hg) han sido ampliamente documentados de forma independiente, pocos estudios se han centrado en evaluar exposición combinada a estos metales, por lo tanto, se debe determinar la presencia y el origen de tales sustancias para reducir las fuentes de exposición.

En algunos territorios del país, se ha propiciado la minería como trabajo esencial, aumentando el contacto con estos metales que, asociados con la actividad agrícola, facilitan la exposición de la población a mezclas de sustancias químicas, lo que ocurre en el departamento de Caldas el cual tiene municipios con trabajo en minería y agricultura.

Objetivo: Determinar la exposición a mercurio y cadmio en población ambiental y ocupacionalmente expuesta del municipio de Aranzazu (Caldas) en Colombia.

Metodología: Estudio descriptivo de corte transversal con una muestra no probabilística de 100 personas de la población de Aranzazu, de las cuales 48 estaban ambientalmente expuestas y 55 ocupacionalmente expuestas. Se tomaron mediciones de metales pesados Mercurio y Cadmio en muestras biológicas (cabello) y en muestras ambientales (agua y pescado). Adicionalmente se hizo caracterización socio – demográfica, se indagó sobre los antecedentes laborales y hábitos en la población estudio.

Se construyeron distribuciones de frecuencias absolutas y porcentajes y se calcularon estadísticos de tendencia central y dispersión de acuerdo con la naturaleza de las variables según el tipo de exposición. Así mismo para las concentraciones de cadmio y mercurio se calcularon estadísticos de resumen y se compararon en los dos grupos de exposición a través de la prueba de Mann Whitney.

Resultados: Ingresaron al estudio 103 personas con un promedio de 44 años de edad. Se encontró que el 68% de participantes presentaron niveles por encima del valor de límite permisible para cadmio en cabello ($0,022 \mu\text{g/g}$) y en mercurio se encontró solo un individuo superando el valor de referencia de $1 \mu\text{g/g}$ (1.0%). Para agua la concentración promedio de cadmio fue de $0,0008 \text{ mg/L}$ y para mercurio de $0,000024 \mu\text{g/L}$. A través de la prueba de Mann Whitney, se evidencia diferencias significativas en las concentraciones de cadmio en cabello por sexo ($p=0.002$) y en mercurio por consumo de pescado ($p=0.001$). **Conclusión:** Aunque la población del estudio no tiene una exposición laboral a cadmio y/o mercurio, ya que su principal fuente de recursos económicos son las actividades agrícolas, se pudo determinar que presentan valores detectables de ambos metales en las muestras de cabello, lo que sugiere una exposición ambiental.

INTRODUCCIÓN

La disposición de materiales que contienen metales pesados en los suelos es de gran interés por sus implicaciones ambientales. La presencia de metales pesados no solo se debe a la contaminación antropogénica, sino que existe contribución por meteorización de rocas, al que se le denomina nivel basal. Estos metales pueden movilizarse y cambiar su forma química debido a cambios en las condiciones medioambientales, entre los que se pueden citar el uso del suelo o la saturación de la capacidad de taponamiento. El cadmio y el mercurio son dos elementos no esenciales de amplia distribución y bien conocidos por sus efectos altamente tóxicos en los sistemas biológicos. (Arroyave Q et al., 2010)

El cadmio es un metal pesado que se encuentra distribuido en la naturaleza en asociación con distintos minerales, este metal es considerado uno de los más tóxicos. El ser humano ha contribuido en la dispersión de este metal mediante las actividades minero-metalúrgicas y su utilización en el ámbito industrial. Además de su toxicidad, tiene una larga vida media y una capacidad de acumulación por los seres vivos (Barrón & Martínez, s. f.). Asimismo, el mercurio también es uno de los metales más tóxicos que afectan la salud humana y el medio ambiente, este mineral se encuentra de manera antropogénica y natural, es por esto que la contaminación por mercurio se ha convertido en un problema de salud pública en todo el mundo (Tapia Contreras & Marrugo Negrete, 2020).

El municipio de Aranzazu se encuentra en el departamento de Caldas. Cuenta con una población de 12.181 habitantes aproximadamente. La base económica del municipio son las actividades agropecuarias, destacando la producción de café y los cultivos asociados como el plátano, caña panelera, el frijol y el maíz y actualmente con bastante avance de cultivo del aguacate. Lo relevante de este municipio fue su

única mina de mercurio del país denominada "La esperanza" la cual cerró en el año 1970, por los casos de intoxicación por mercurio que fueron reportados. Esta población está expuesta a mezcla de plaguicidas y algunos metales pesados como el mercurio y el cadmio. (Información de Aranzazu.pdf, s. f.).

Las actividades mineras generan contaminación con metales, con potenciales efectos sobre la salud humana y sobre los componentes del ecosistema. Adicionalmente la contaminación del suelo y del agua es un determinante importante en la seguridad alimentaria, constituyéndose como una amenaza asociada para la salud humana. (Lu et al., 2015). En algunos territorios del país se ha propiciado la minería como trabajo esencial aumentando el contacto exagerado con metales los cuales se asocian con la actividad agrícola que facilita la exposición de la población a mezclas de metales y plaguicidas, el departamento de Caldas hace parte de los territorios que tienen municipios con trabajo en minería y agricultura con estas características (Fedesarrollo, 2012).

Por lo anterior, se requiere generar conocimiento sobre los efectos de la exposición a mezclas complejas de sustancias químicas lo que ayudará a orientar recursos para vigilar la población tanto ocupacional como ambientalmente expuesta, es esencial realizar una valoración del efecto de las interacciones entre plaguicidas y metales sobre la salud humana, por lo que se plantea realizar un estudio abarcando marcadores biológicos de efecto y exposición con el fin de establecer el nivel de exposición a mezclas de contaminantes ambientales en la población del municipio de Aranzazu.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo transversal, en el que se incluyó población ambiental y ocupacionalmente expuesta para determinar la exposición de metales mercurio y cadmio en muestras biológicas y ambientales (agua y pescado) en el municipio de Aranzazu del departamento de Caldas. 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).

Se calculó un tamaño de muestra mínimo para estudios descriptivos transversales en el aplicativo Open Epi, utilizando la población de Aranzazu (Caldas) según los datos poblacionales ofrecidos por el DANE (2005) la cual era de 12.815 habitantes. La frecuencia del estudio fue del 30.3%, que corresponde a la proporción de individuos ambiental y ocupacionalmente expuestos con niveles de mercurio cabello que

superan los límites permisibles, según estudio llevado a cabo por parte del Ministerio de Salud en el departamento de Antioquia. Se tomó el mercurio como químico de referencia, dada la importancia de este como contaminante ambiental en Colombia (Min Salud, 2018, p. 7). El error aceptable definido por el equipo de investigación fue del 5%, con un índice de confianza del 95%. Se incluyeron un total de 103 participantes seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico.

Dentro del estudio se tuvieron en cuenta las siguientes variables. 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 a metales en cabello.

Se aplicó a la totalidad de los individuos seleccionados una encuesta (formulario) adaptado del instrumento de evaluación en salud del Global Mercury Project (Veiga M, 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 en la aplicación de las entrevistas, toma y almacenamiento de muestras. 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. 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.

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 mercurio 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 Río 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 de 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 secretaría 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 el estudio piloto en un 10% del total de la muestra de individuos, en los cuales se realizó la prueba de formularios, con el objeto de hacer posteriormente los ajustes necesarios tanto de instrumentos como de tiempos y movimientos. Se desarrolló aplicando el formulario a través de llamadas telefónicas, en la que los investigadores del estudio, que estuvieron capacitados para esta actividad, hicieron las preguntas a un total de 10 personas. Estos participantes, no formaron parte de la población muestra seleccionada en la investigación.

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 cerebro vascular o trastornos mentales como esquizofrenia o alteración bipolar y los que no firmaran el consentimiento informado.

Análisis estadístico

Para lograr los objetivos propuestos en este estudio el análisis estadístico de los datos incluyó la descripción estadística de las características sociodemográficas, antecedentes laborales, antecedentes de

exposición y hábitos, se calcularon distribuciones de frecuencias absolutas y porcentajes para las variables de naturaleza cualitativa y estadísticos de tendencia central y dispersión para las de naturaleza cuantitativa. Esta descripción se realizó de manera comparativa entre los expuestos ocupacionalmente y los expuestos ambientalmente.

Para la determinación de las concentraciones de mercurio y cadmio por grupo de exposición, se calcularon los estadísticos de tendencia central y percentiles, y se llevó a cabo la comparación de las medianas a través de la prueba de Mann Whitney, posterior al análisis de distribución normal de ambas concentraciones.

Finalmente, para establecer la posible relación entre los niveles de metales en muestras biológicas con la composición socio – demográfica, antecedentes laborales, antecedentes de exposición ambiental y hábitos en la población estudio se llevaron a cabo pruebas de asociación Chi cuadrado o exacta de Fisher según cumplimiento de supuestos.

El análisis se realizó con el software SPSS versión 29 licencia de la Universidad del Rosario y Excel 2016.

Consideraciones éticas

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. 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

En total los participantes de este estudio fueron 103, de los cuales 55 (53.40%) estaban ocupacionalmente expuestos y 48 (46,60%) ambientalmente expuestos. Tenían edades entre 19 y 83 años con un promedio de 44 años. El 76.7% (79) de la población de estudio se situaba en el área rural del Municipio de Aranzazu, mientras que de la cabecera municipal participaron 24 (23.3%) personas. Así mismo, se tuvo en cuenta el Sistema General de Seguridad Social en Salud – SGSSS del que se pudo evidenciar que 74 personas (71.8%) hacían parte del régimen contributivo, 28 (27.2%) personas pertenecían al régimen subsidiado y solo 1 persona no se encontraba afiliada a ningún régimen.

En la tabla 1 se presenta el resumen estadístico de las características sociodemográficas de acuerdo con el tipo de exposición.

Tabla 1. Características sociodemográficas en población ambiental y ocupacionalmente expuesta del municipio de Aranzazu (Caldas), 2023

	Exposición Ocupacional	Exposición Ambiental	P
No.	55	48	
Edad (media, DS) años	39.64 (13.77)	44.25 (16.44)	0.124
Sexo			
Masculino	54 (98.2)	12 (25.0)	<0.001
Femenino	1 (1,8)	36 (75)	
Área			
Rural	37 (67.3)	42 (87.5)	0.029
Cabecera municipal	18 (32,7)	6 (12,5)	
Estado civil			
Casado, Unido	42 (76,4)	33 (68,8)	0.519
Sep, Viudo, Solt	13 (23.6)	15 (31.2)	
Escolaridad			
1	17 (30.9)	9 (18.8)	<0.001
2	29 (52.7)	13 (27.1)	
3	9 (16.4)	26 (54.2)	
SGSSS			
Contributivo	45(81,8)	29(60,4)	0.029
Subs, No afil, Especial	10 (18.2)	19 (39.6)	
Trabajo en agricultura	52(94,5)	0 (0.00)	<0.001

Fuente: Elaboración propia de los autores. η: número de individuos

El tipo de escolaridad se agrupó en 3 categorías. El grupo 1 corresponde a analfabetos y primaria incompleta, el grupo 2 a primaria completa y secundaria incompleta y finalmente el grupo 3 a secundaria completa y demás títulos de educación superior.

Al comparar los grupos por exposición se encontró diferencia estadísticamente significativa en todas las variables sociodemográficas, excepto en estado civil. Es decir que la exposición, difiere por sexo ($p < 0.001$), SGSSS ($p = 0.029$), escolaridad ($p < 0.001$) y si trabaja o no en agricultura ($p < 0.001$).

En cuanto a las características ocupacionales solo se presentan los estadísticos de las 55 personas que estaban expuestas ocupacionalmente con oficios actuales de administrativo, agricultura y oficios varios.

En la tabla 2 se muestran los estadísticos de resumen relacionados con las características laborales de la población ocupacionalmente expuesta.

Tabla 2. Características laborales de la población ocupacionalmente expuesta del municipio de Aranzazu (Caldas), 2023

Características del trabajo	No. (%)
Trabaja en agricultura	49 (89.1)
Tipo de ropa para trabajar	
Ropa de diario	6 (12.2)
Uniforme o ropa de trabajo	43 (87.8)
Se cambia de ropa	45 (93.8)
Elementos de Protección Personal	
Peto o delantal	16 (32.7)
Guantes	40 (81.6)
Respirador	38 (77.6)
Tapabocas desechable	18 (36)
Sombrero o Gorra	48 (98.1)
Visor	16 (32.7)
Monogafas	17 (34.7)
Botas de Caucho	49 (100)
Protector Auditivo	1 (2)

Fuente: Elaboración propia de los autores. N: número de individuos

De acuerdo con los hábitos de la población, se presentan los análisis estadísticos de los expuestos ambiental y ocupacional, donde se observa de manera comparativa algunos hábitos de vida de la población del municipio de Aranzazu según el tipo de exposición a estos metales pesados. En estos análisis se puede evidenciar por los hábitos de vida que los dos grupos de exposición son similares, es decir no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 3. Hábitos de vida y consumo de pescado según el tipo de exposición en el municipio de Aránzazu, (Caldas), 2023

Hábitos	Expuestos Ocupacional	Expuestos Ambiental	p
No.	55	48	
Ha fumado alguna vez	30 (54.5)	17 (35.4)	0.081
Fuma actualmente	17 (56.7)	5 (29.4)	0.135
Consume licor	24 (43.6)	20 (41.7)	0.998
Frecuencia de consumo de licor			1.000
Ocasional	23 (95.8)	19 (95.0)	
Consumo de pescado	42 (74)	32 (66.7)	
Tipo de pescado			0.165
Bagre	4 (7.3)	3 (6.2)	
Bocachico	4 (7.3)	0 (0.0)	
Cachama	0 (0.0)	1 (2.1)	
Mojarra	14 (25.5)	8 (16.7)	
No consume	13 (23.6)	16 (33.3)	
Sabaleta	1 (1.8)	0 (0.0)	
Salmón	0 (0.0)	2 (4.2)	
Tilapia	2 (3.6)	0 (0.0)	
Trucha	17 (30.9)	18 (37.5)	
Tamaño del pescado			0.228
Pequeño	3 (7.1)	0 (0.0)	
Mediano	36 (85.7)	30 (96.8)	
Grande	3 (7.1)	1 (3.2)	
Consumo de enlatados	31 (56.4)	30 (62.5)	0.666

Fuente: Elaboración propia de los autores. N: número de individuos

Para el análisis de la concentración en los contaminantes cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) en muestras de cabello, se realizó una comparación por tipo de exposición empleando la prueba de hipótesis de diferencia de medianas (Mann Whitney), la cual permitió establecer que en las medianas de las concentraciones de cadmio había diferencias estadísticamente significativas por tipo de exposición (valor $p < 0.05$) pero para las medianas de las concentraciones de mercurio no ocurrió lo mismo (valor $p > 0.05$).

Se encontró que 70 de 89 (68%) individuos participantes del municipio de Aranzazu presentaron niveles por encima del valor límite permisible para cadmio en cabello ($0,022 \mu\text{g/g}$), siendo 35 (63.6%) individuos ocupacionalmente expuestos y 35 (72.9%) ambientalmente expuestos. Respecto al contaminante mercurio

se encontró que solo un individuo presentaba concentraciones por encima del valor de referencia en cabello 1 µg/g (1.0%), el cual estaba ocupacionalmente expuesto.

Tabla 4. Niveles de cadmio y mercurio en cabello en la población ambiental y ocupacionalmente expuesta del municipio de Aranzazu, (Caldas), 2023

		Cadmio (Cd) ppm	Mercurio (Hg) ppm
Exposición Ocupacional	Mediana	0.036	0.065
	Mínimo	0.006	0.012
	Máximo	0.4722	1.63
	Percentiles	0.0219; 0.0737	0.044; 0.115
Exposición Ambiental	Mediana	0.0622	0.108
	Mínimo	0.0086	0.014
	Máximo	0.9406	0.8733
	Percentiles	0.037; 0.190	0.060; 0.245

Fuente: Elaboración propia de los autores.

*Valores de referencia (µg/g) ppm:

Cadmio: 0.022 ± 0.054 ppm. 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.

Mercurio: 1,00 ppm. United Nations Environment Programme, World Health Organization. *Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure*, 2008.

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 cadmio fue de 0,0008 mg/L con un rango entre 0,0001 a 0,0017 mg/L, estando por debajo de los valores de referencia (0,03 mg/L) y para mercurio el promedio de la concentración fue de 0,000024 µg/L encontrándose todas las concentraciones por debajo del límite de referencia (1,0 µg/L) de acuerdo con la resolución 2115 del 2007 los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En las muestras de pescado todas las concentraciones para cadmio estuvieron por debajo del límite de referencia (0.05 mg/kg), mientras que para mercurio la concentración promedio fue de 0,048 mg/kg con un rango entre 0.01105 a 0.07035 mg/kg reportándose también por debajo de los valores de referencia (0.5 mg/kg) de acuerdo con la resolución 0148 de 2017 del INVIMA.

Adicional al análisis de las concentraciones de mercurio y cadmio por tipo de exposición, se llevaron a cabo comparaciones de las concentraciones encontradas en estos contaminantes según variables sociodemográficas (sexo), variables ocupacionales (trabaja en agricultura) y variables de hábitos y consumo de pescado y enlatados con el fin de explorar la posible relación entre estas variables y los contaminantes estudiados. En la tabla 5 se presentan los estadísticos de resumen de las concentraciones de mercurio y cadmio según las variables mencionadas con el respectivo valor p, resultado de la comparación de medianas a través de la prueba de Mann Whitney, en la que se evidencia diferencias significativas en cadmio por sexo ($p=0.002$) y en mercurio por consumo de pescado ($p=0.001$).

Tabla 5. Niveles de cadmio y mercurio y su relación con variables de interés en la población ambiental y ocupacionalmente expuesta del municipio de Aranzazu, (Caldas), 2023 (T-student).

Variable		n	Mercurio Mediana	Q1:Q3	Cadmio	Q1:Q3	Valor p
Sexo	Masculino	34	0.13 $\mu\text{g/L}$	0.6:0.23 $\mu\text{g/L}$	0.08 $\mu\text{g/L}$	0.05:0.23 $\mu\text{g/L}$	Hg $p=0.814$
	Femenino	53	0.06 $\mu\text{g/L}$	0.04:0.11 $\mu\text{g/L}$	0.04 $\mu\text{g/L}$	0.02:0.07 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0,002$ *
Trabaja en Agricultura	No	47	0.10 $\mu\text{g/L}$	0.05:0.22 $\mu\text{g/L}$	0.06 $\mu\text{g/L}$	0.03:0.17 $\mu\text{g/L}$	Hg $p=0.872$
	Si	40	0.07 $\mu\text{g/L}$	0.04:0.11 $\mu\text{g/L}$	0.04 $\mu\text{g/L}$	0.02:0.08 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0.074$
Fuma Actualmente	No	19	0.10 $\mu\text{g/L}$	0.04:0.20 $\mu\text{g/L}$	0.04 $\mu\text{g/L}$	0.02:0.13 $\mu\text{g/L}$	Hg $p=0.218$
	Si	19	0.09 $\mu\text{g/L}$	0.05:0.25 $\mu\text{g/L}$	0.05 $\mu\text{g/L}$	0.04:0.15 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0.726$
Consumo de Pescado	No	25	0.05 $\mu\text{g/L}$	0.03:0.08 $\mu\text{g/L}$	0.04 $\mu\text{g/L}$	0.02:0.07 $\mu\text{g/L}$	Hg $p=0.001$ *
	Si	62	0.10 $\mu\text{g/L}$	0.06:0.23 $\mu\text{g/L}$	0.05 $\mu\text{g/L}$	0.03:0.13 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0,416$
Consumo Enlatados	No	34	0.06 $\mu\text{g/L}$	0.04:0.14 $\mu\text{g/L}$	0.03 $\mu\text{g/L}$	0.02:0.16 $\mu\text{g/L}$	Hg $p=0,802$
	Si	53	0.09 $\mu\text{g/L}$	0.06:0.22 $\mu\text{g/L}$	0.05 $\mu\text{g/L}$	0.03:0.10 $\mu\text{g/L}$	Cd $p=0.467$

Fuente: Elaboración propia de los autores. n : número de individuos, ds : desviación estándar, Hg: mercurio, Cd: cadmio. P=valor de significancia

DISCUSIÓN

La población presenta una exposición a mezclas de sustancias químicas como son los metales pesados por la contaminación ambiental y los plaguicidas por su actividad laboral, con un tiempo promedio laborado de más de 8 años, mostrando que tienen una exposición crónica que puede generar efectos sobre la salud.

La población que participó en la presente investigación tenía una edad promedio de 44 años siendo individuos laboralmente activos dedicados a actividades de agricultura con un nivel educativo de primaria o secundaria incompleta, algunos reportaron ser analfabetos y otros alcanzaron títulos de educación superior.

De acuerdo con los hallazgos encontrados para el presente estudio, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los hábitos de vida y consumo de pescado en las poblaciones ocupacional y ambientalmente expuesta, ambos grupos reportaron fumar actualmente, aunque los ocupacionalmente expuestos con mayor frecuencia, lo que puede aumentar el ingreso de sustancias químicas que emplean en su trabajo por vía inhalatoria. Adicionalmente, ambos grupos de exposición reportaron ingerir especies de pescado carnívoras (trucha y mojarra), donde hay mayor bioacumulación de metales pesados como el mercurio.

Se logró identificar niveles de mercurio y cadmio en muestras biológicas (cabello) en los dos grupos de exposición, los cuales pueden ser por exposición ambiental principalmente, ya que la actividad económica de la población de Aranzazu es la agricultura y no la minería. Sin embargo, el que se presentó con mayor frecuencia fue el cadmio. Ramírez A (2002) indica que la absorción, distribución y excreción del cadmio en el ser humano por exposición ambiental, se incrementa con la edad, pudiendo llegar a 40 miligramos la carga corporal en adultos de 50 años, dependiendo de la situación geográfica y sobre todo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble.

Se encontró una relación entre los niveles de metales y las características sociodemográficos de los participantes, se puede apreciar que la escolaridad de las personas ocupacionalmente expuestas es con mayor frecuencia primaria completa y secundaria incompleta, esto dificulta el conocimiento que pueden tener respecto a las sustancias químicas que utilizan en su trabajo y a los efectos que se pueden desarrollar sobre su salud.

En el presente estudio la determinación de los niveles de mercurio y cadmio se realizó en cabello, esta muestra ha sido utilizada desde hace más de 50 años (Pereira et al., 2004), por ser un vehículo de excreción de metales, siendo la más útil para la valoración de intoxicaciones crónicas por su afinidad en los grupos tiólicos de la cisteína presente en la queratina, pudiendo alcanzar concentraciones hasta 10 veces

superiores a las de sangre y orina. Asimismo, su condición de almacenamiento, su fácil recolección no invasiva, hacen que su toma sea segura y precisa (Bermejo-Barrera et al., 2000; Chojnacka et al., 2006; Evrenoglou et al., 2013; Wolowiec et al., 2013).

También indica Ramírez (2002) que el Cadmio en la raíz del cabello, es un parámetro muy variable cuando valora diferentes niveles de exposición, pero refleja más adecuadamente las exposiciones ambientales.

Respecto al mercurio, un estudio realizado en Suiza evaluó a 64 madres y a 107 niños que residían en una zona con suelos contaminados con mercurio, realizando la medición de este metal en muestras biológicas (cabello y orina). Los resultados se compararon con los valores de referencia evidenciando que las madres y los niños tenían en promedio 0,22 $\mu\text{g Hg/g}$ de creatinina en orina (percentil 95 (P95) = 0,85 $\mu\text{g Hg/g}$) y 0,16 $\mu\text{g Hg/g}$ (P95 = 0,56 $\mu\text{g Hg/g}$), respectivamente. En el cabello, las madres y los niños tenían un promedio de 0,21 $\mu\text{g Hg/g}$ (P95 = 0,94 $\mu\text{g/g}$) y 0,18 $\mu\text{g/g}$ (P95 = 0,60 $\mu\text{g/g}$), respectivamente (Imo et al., 2018). Los valores del mencionado estudio superan los resultados obtenidos en el municipio de Aranzazu.,

Algunos trabajos similares al presente estudio, reportan concentraciones inferiores a las obtenidas por el mismo, en el estudio realizado por Olivero J et al, sobre niveles de mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia, se observa que las concentraciones oscilan entre 0,11 y 29,2 $\mu\text{g/g}$ con un valor medio de 2,834 $\mu\text{g/g}$, más altas que las presentadas en Aranzazu en donde solo un trabajador expuesto ocupacionalmente sobrepasó los valores límite permisibles para mercurio, lo que se explica por la actividad laboral del municipio que es agrícola en su mayoría. . (Olivero J; Mendonza C; Maestre J (2015)

Con relación a la población laboral que se desempeña en actividades agrícolas, en este estudio se evidenció el uso deficiente de elementos de protección personal y el empleo de algunos que no son los adecuados para el manejo de sustancias químicas como los plaguicidas, lo cual puede derivar en efectos sobre salud. Según Rendón J. et al en su estudio mencionan la importancia de las medidas de higiene y seguridad industrial las cuales juegan un papel muy importante en la prevención de los efectos generados por la exposición. Además, resalta la importancia de incluir jornadas de capacitación y sensibilización acerca de los peligros de orden químico, físico y condiciones de seguridad que se deben tener en cuenta al manipular sustancias químicas.

El estudio aporta conocimiento sobre la situación actual respecto a la exposición a mezclas de contaminantes químicos, con potenciales efectos sobre la salud humana y sobre los componentes del ecosistema.

CONCLUSIONES

Aunque la población del estudio no tiene una exposición laboral a cadmio y/o mercurio, ya que su principal fuente de recursos económicos son las actividades agrícolas, se pudo determinar que presentan valores detectables de ambos metales en las muestras de cabello, lo que sugiere una exposición ambiental.

La población se encontraba expuesta a mezclas de sustancias químicas como metales pesados por exposición ambiental y plaguicidas por su ocupación, siendo esta exposición crónica, ya que las personas residen y laboran en la zona hace muchos años, pudiendo presentar efectos sobre la salud.

Aunque no se encontraron valores elevados de cadmio y mercurio en las muestras tomadas de agua y pescado, la población si presentó niveles de estos metales y específicamente de cadmio por encima de los valores límites permisibles en muestras de cabello.

La población ocupacionalmente expuesta no emplea elementos de protección personal adecuados y se reportaron fallas en las medidas de higiene.

RECOMENDACIONES

Se deben llevar a cabo actividades educativas y de capacitación dirigidas a los trabajadores y a la población general sobre los riesgos a los cuales están expuestos por el contacto con sustancias químicas.

A través de la Secretaría de Salud de Aranzazu 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.

Con respecto a los ocupacionalmente expuestos, se requiere revisar las condiciones de contratación e inserción de los trabajadores al sistema de riesgos laborales y seguridad social y la protección efectiva ante la exposición a los plaguicidas.

BIBLIOGRAFÍA

Doria Mesquidaz, E., Marrugo Negrete, J., & Pinedo Hernández, J. (2013). Exposición a mercurio en trabajadores de una mina de oro en el norte de Colombia. *Revista Salud Uninorte*, 29(3), 534-541.

INFORMACION DE ARANZAZU.pdf. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2022, de <https://site.caldas.gov.co/media/pdf/2014/infomunicipios/INFORMACION%20DE%20ARANZAZU.pdf>

Martí, M. A. C. (2007). *Principios de Ecotoxicología*. Editorial Tebar.

Arroyave Q, C., Araque M, P., & Pelaez J, C. A. (2010). Evaluación de la bioacumulación y la toxicidad del cadmio y el mercurio en pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura*). *Vitae*, 17(1), 45-49.

Briceño L, Pena CE, Varona M, Guzmán IA, Hernández MM, Trillos MC, Anzoategui CC, González-Rodríguez JL, Velásquez JC, Bayona DA, Flórez LJ. *Medicina Preventiva Ocupacional y Ambiental*.

Díaz, Sonia M., Sánchez, F., Varona, M., Eljach, V., & Muñoz G, M. N. (2017). Niveles de colinesterasa en cultivadores de papa expuestos ocupacionalmente a plaguicidas, Totoró, Cauca. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*, 49(1), 85–92. <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017008>

Díaz, Sonia Mireya, Muñoz-Guerrero, M. N., Palma-Parra, M., Becerra-Arias, C., & Fernández-Niño, J. A. (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). <https://doi.org/10.3390/ijerph15112337>

García, P. E. P., & Cruz, M. I. A. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199-205.

Combariza, B.D.A. 2009. Contaminación por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) pp.1– 115. Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.

Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A. J., 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>

Machado, C. S., Fregonesi, B. M., Alves, R. I. S., Tonani, K. A. A., Sierra, J., Martinis, B. S., ... Segura-Muñoz, S. (2017). Health risks of environmental exposure to metals and herbicides in the Pardo River, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20160–20172. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9461-z>

MinAmbiente. (2012). Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental. Retrieved from [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico de salud Ambiental compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.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

Ortiz, D. Parrado, D (2020) Determinación de la relación entre la presencia de cadmio y plomo en el sistema de abastecimiento de agua potable y la percepción en salud de la población para el casco urbano del municipio de Guatavita Tomado de: <https://1library.co/document/6qmnw14z-determinacion-relacion-presencia-abastecimiento-percepcion-poblacion-municipio-guatavita.html>

Ramírez A (2002), Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos <https://www.redalyc.org/pdf/379/37963107.pdf>

Rendon J, Palma R, Hernández G y Varona M (2015) relación entre las condiciones de higiene y seguridad y la exposición ambiental a solventes orgánicos en pintores de automóviles de la localidad de barrios unidos, Bogotá 2015 <https://repository.urosario.edu.co/items/d5194e07-bab8-42ad-8657-ce4f62299f3d>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jiménez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 16(2), 66-77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

Rey, A. R., Luna, L. C., Cantillo, G. M., & Espinosa, M. E. S. (2017). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(3), 251-271. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=70505>

Rodríguez Heredia, D. (2021). Metales pesados y salud. *Correo Científico Médico*, 25(4). Recuperado de <http://www.revcoemed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/3702>

Alfred B. Kobal, Milena Horvat, Marija Prezelj, Alenka Sešek Briški, Mladen Krsnik, Tatjana Dizdarevič, Darja Mazej, Ingrid Falnoga, Vekoslava Stibilj, Niko Arnerič, Darja Kobal, Joško Osredkar, The impact of long-term past exposure to elemental mercury on antioxidative capacity and lipid peroxidation in mercury miners, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Volume 17, Issue 4, 2004, Pages 261-274, ISSN 0946-672X,

[https://doi.org/10.1016/S0946-672X\(04\)80028-](https://doi.org/10.1016/S0946-672X(04)80028-2)

[2.\(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0946672X04800282\)](https://doi.org/10.1016/S0946-672X(04)80028-2)

Echeverry, G., Zapata, A. M., Paéz, M. I., Méndez, F., & Peña, M. (2015). Evaluation of human health risk for a population from Cali, Colombia, by exposure to lead, cadmium, mercury, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and diuron associated with water and food consumption. *Biomédica*, 35, 110-11. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2464>

Evans J. *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología; 2003.

Olivero J; Mendonza C; Maestre J (2015) Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia [SciELO - Brasil - Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia](#)

Ortega-Villasante, C., Hernández, L.E., Rellán-Álvarez, R., Del Campo, F.F. and Carpena-Ruiz, R.O. (2007), Rapid alteration of cellular redox homeostasis upon exposure to cadmium and mercury in alfalfa seedlings. *New Phytologist*, 176: 96-107. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02162.x>

I. Falnoga, M. Tušek-Žnidarič, M. Horvat, P. Stegnar, Mercury, Selenium, and Cadmium in Human Autopsy Samples from Idrija Residents and Mercury Mine Workers, *Environmental Research*, Volume 84, Issue 3, 2000, Pages 211-218,

ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4116>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935100941161>)

Tapia Contreras, E., & Marrugo Negrete, J. L. (2020). Concentraciones de metales pesados (mercurio, plomo, cadmio y arsénico) en sangre de habitantes de la región de La Mojana, Colombia. <https://doi.org/10.15332/dt.inv.2021.01861>

Intoxicación por metales pesados | Datos Abiertos Colombia. (s. f.). Recuperado 24 de febrero de 2023, de <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/Intoxicacion-por-metales-pesados/7smd-zhh3>

PortalSivigila2019 inicio. (s. f.). Recuperado 24 de febrero de 2023, de <http://portalsivigila.ins.gov.co/>

Pereira R, Ribeiro R, Gonçalves F. Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S. Domingos mine, Portugal). *Sci Total Environ* 2004; 327: 81-92.

Imo, D., Muff, S., Schierl, R., Byber, K., Hitzke, C., Bopp, M., Maggi, M., Bose-O'Reilly, S., Held, L., & Dressel, H. (2018). Human-biomonitoring and individual soil measurements for children and mothers in an area with recently detected mercury-contaminations and public health concerns: a cross-sectional study. *International journal of environmental health research*, 28(4), 391–406. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1479517>